

GUIDE AGRONOMIQUE DES GRANDES CULTURES

Publication 811F



GUIDE AGRONOMIQUE DES GRANDES CULTURES

Publication 811F



Guide agronomique des grandes cultures

Publication 811F

Rédactrice en chef

Christine Brown, MAAARO

Corédacteurs

Joanna Follings, MAAARO

Meghan Moran, MAAARO

Ben Rosser, MAAARO

Auteurs collaborateurs

Équipe des grandes cultures du MAAARO : Joel Bagg, Bonnie Ball, Scott Banks, Tracey Baute, Horst Bohner, Christine Brown, Mike Cowbrough, James Dyck, Thomas Ferguson, Joanna Follings, Brian Hall, Adam Hayes, Peter Johnson, Jack Kyle, Ian McDonald, Meghan Moran, Jake Munroe, Gilles Quesnel, Nicole Rabe, Ben Rosser, Helmut Spieser, Greg Stewart, Albert Tenuta, Anne Verhallen.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes pour leur contribution à la présente publication : Keith Reid, Owen Wally, Tom Welacky (AAC), Jonathan Brinkman, Bill Deen, Hugh Earl, Duane Falk, Rebecca Hallett, Ken Janovicek, John Lauzon (Université de Guelph), Chris Gillard, Dave Hooker, Art Schaafsma, Christy Shropshire, Peter Sikkema, Jocelyn Smith (Université de Guelph, campus de Ridgeway).

Des examinateurs externes ont relu chacun des chapitres pour repérer l'information manquante, vérifier les concepts techniques et assurer la lisibilité du document. Nous tenons à les remercier pour leur travail, qui a permis d'améliorer la présente publication.

Chad Anderson, Anderson Agronomy Services, Mooretown; Tom Bruulsema, International Plant Nutrition Institute (IPNI), Guelph; Deb Campbell, CCA-ON, Agronomy Advantage, Dundalk; Dale Cowan, CCA-ON, agronome principal, Agri Cooperative, Chatham; Jennifer Doelman, Barclay Dick & Son Farm Supply, Douglas; Blair Freeman, agronome, DuPont Pioneer, Centre de l'Ontario; Alan McCallum, McCallum Agronomic Services, comté d'Elgin; Adam Pfeffer, Monsanto, Chatham; Eric Richter, Syngenta, Thorndale; Craig Reid, agronome, Sprucedale Agromart, Sprucedale; Aaron Stevanus, CCA-ON, Semences PRIDE; Paul Sullivan, CCA-ON, P.T. Sullivan Agro inc., Kinburn; Bob Thirlwall, agronome Dekalb, Monsanto, Glencoe; Walt Vermunt, Hensall District Co-operative, Hensall; Kate Withers, études de troisième cycle, Université de Guelph.

Les renseignements fournis dans la base de données Tillage Ontario, qui se trouve à l'adresse www.tillageontario.com, sont le fruit de l'initiative et du financement conjoints de l'Innovative Farmers Association of Ontario, du MAAARO, de l'Université de Guelph, ainsi que de la collaboration du Canada et de la province de l'Ontario par l'intermédiaire du Programme Canada-Ontario pour la recherche et le développement.

Besoin d'information technique et commerciale?

Communiquez avec le Centre d'information du MAAARO au 1 877 424-1300 ou à l'adresse ag.info.omafr@ontario.ca.

Vous cherchez de l'information relative aux grandes cultures sur Internet?
ontario.ca/cultures

Vous y trouverez tous les articles, fiches techniques et photos dont vous avez besoin sur la production et l'entretien des grandes cultures.

Pour obtenir un exemplaire de la présente publication ou de toute autre publication du MAAARO, vous pouvez passer une commande :

- en ligne, à l'adresse ontario.ca/publications;
- par téléphone, à l'InfoCentre ServiceOntario, du lundi au vendredi, de 8 h 30 à 17 h (HE), en composant un des numéros suivants :
 - 416 326-5300;
 - 416 326-3408 (ATS);
 - 1 800 668-9938, sans frais en Ontario;
 - 1 800 368-7095 (ATS), sans frais en Ontario.

Publié par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales

© Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2017

Toronto, Canada

ISBN 978-1-4606-9018-5 (impression) ISBN 978-1-4606-9020-8 (HTML) ISBN 978-1-4606-9022-2 (PDF)

Introduction

En Ontario, les grandes cultures sont produites dans une grande diversité de conditions climatiques et édaphiques. L'objectif est une production culturale viable qui s'appuie sur des techniques éprouvées (dépistage et lutte contre les ravageurs, gestion des sols et de la fertilisation, travail du sol, choix des cultivars, pratiques de semis et de récolte) qui tiennent compte de l'utilisation responsable des richesses naturelles. Alliées à des essais en champ, elles aident les producteurs à choisir les pratiques à adopter. Le recours à de bonnes pratiques agronomiques est indispensable à la production d'aliments, de fibres et de carburants dans les exploitations agricoles de l'Ontario. La réussite des productions culturales passe par la mise en œuvre de nombreuses pratiques de gestion interdépendantes. Évidemment, il est toujours utile de compter sur un peu de chance et des conditions météorologiques favorables.

La publication 811F, le *Guide agronomique des grandes cultures*, se veut une ressource technique pour la production de grandes cultures. Cette troisième édition remplace celle de 2009. Des études et des lignes directrices actuelles sur ce type de production en Ontario y ont été ajoutées avec l'approbation du Comité ontarien de la recherche et des services en matière de gestion des sols, qui est représenté par des chercheurs, l'industrie, des producteurs agricoles et des vulgarisateurs.

Certaines données utilisées dans le *Guide agronomique des grandes cultures* proviennent d'autres sources, notamment l'Université de Guelph, l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario (AASRO), l'Innovative Farmers Association of Ontario (IFAO), des fournisseurs de semences, le département de l'Agriculture des États-Unis (USDA), des universités américaines et d'autres établissements de recherche. Les données – nouvelles ou anciennes – contenues dans la présente publication constituent l'information la plus pertinente et la plus récente disponible.

Le *Guide agronomique des grandes cultures* est disponible intégralement sur le site Web du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales (MAAARO). De l'information supplémentaire et des mises à jour concernant bon nombre des sujets abordés dans le

présent guide se trouvent souvent sur le site Web du MAAARO à l'adresse ontario.ca/cultures ou sur le site fieldcropnews.com.

La présente publication ne fournit pas de renseignements sur les pesticides, qui servent à combattre les insectes, les maladies et les mauvaises herbes. Pour en savoir plus à ce sujet, voir la publication 812F, *Guide de protection des grandes cultures*, et la publication 75F, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, du MAAARO.

Systèmes intégrés de culture

Production culturale viable

La publication 811, le *Guide agronomique des grandes cultures*, est organisée par culture et domaine. Chaque chapitre présente des renseignements détaillés à jour et adaptés à l'Ontario qui favorisent une production culturale viable. Une production culturale ne concerne pas seulement une culture ou un domaine en particulier (p. ex. lutte contre les ravageurs); en fait, elle nécessite une approche intégrée qui tient compte de toutes les facettes des pratiques agricoles et culturales tout en assurant la conservation ou l'amélioration du sol.

Une production culturale viable peut se définir comme la création et l'utilisation de systèmes de production culturale qui répondent aux besoins des producteurs agricoles actuels sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs (adaptation de la définition de G. Brundtland, directeur général de l'Organisation mondiale de la Santé).

La viabilité d'une production culturale se doit d'être économique, sociale et environnementale.

La viabilité économique repose sur :

- les bénéfices ou pertes d'exploitation;
- l'offre et la demande (attrait commercial des produits);
- les capacités opérationnelles et la disponibilité à long terme des ressources (p. ex. le sol);
- le maintien de la viabilité de l'entreprise.

La viabilité sociale est axée sur :

- la planification du passage du flambeau à la prochaine génération;

- la capacité de consulter et d'appuyer la communauté (rurale ou urbaine);
- le maintien d'un équilibre viable entre le travail et la vie familiale.

La viabilité environnementale se fonde sur :

- la pérennité des ressources, pour soutenir les productions culturelles;
- la capacité de faire savoir au public que des pratiques de production viables et propices aux suivis sont utilisées;
- la préservation de la santé du sol et la réduction des effets négatifs des cultures sur l'environnement (p. ex. gestion des éléments nutritifs et lutte contre les ravageurs).

Viabilité = Pensée systémique

Qui dit production culturelle viable dit approche systémique intégrée. Chaque champ possède des caractéristiques uniques et propres à son emplacement qui en influencent la gestion, les intrants et la rentabilité. Une gestion intégrée des cultures tient compte de toutes les facettes de la production culturelle, soit notamment :

- la gestion du sol (la texture et le travail du sol nécessaires);
- la rotation des cultures;
- la fertilité des champs;
- la gestion des éléments nutritifs (déchets);
- la gestion de l'eau;
- la protection des cultures;
- la gestion de la faune;
- la gestion du site;
- le dépistage et la tenue de registres;
- la gestion du travail et du matériel;
- la consommation d'énergie;
- l'analyse des aspects économiques (p. ex. détermination des seuils d'intervention, des coûts de production et du rendement du capital investi).

Le *Guide agronomique des grandes cultures* aborde bon nombre de ces éléments devant être pris en compte dans une production culturelle. Le chapitre 1, *Maïs*, présente les différentes facettes du travail du sol, alors que le chapitre 8, *Gestion assurant la santé du sol*, traite de la gestion du sol, de la rotation des cultures et de l'amélioration de la santé du sol. Le dépistage et la tenue de registres sont abordés au chapitre 10, *Dépistage*, et la fertilité des champs et la gestion des éléments nutritifs, au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*. Enfin, la protection des cultures est traitée

en détail aux chapitres 13 (*Lutte contre les mauvaises herbes*), 14 (*Lutte intégrée contre les ravageurs et protection de leurs ennemis naturels et des pollinisateurs*), 15 (*Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*) et 16 (*Maladies des grandes cultures*).

Les paragraphes ci-dessous résument comment les éléments susmentionnés s'intègrent à la production de grandes cultures en Ontario.

Il faut d'abord un sol sain

La santé du sol est souvent décrite comme la capacité du sol à assurer la croissance des cultures sans se dégrader ou nuire à l'environnement. Elle est évaluée au moyen d'indicateurs physiques (stabilité des agrégats, capacité de rétention de l'eau disponible, structure du sol, compactage du sol), chimiques (teneurs en éléments nutritifs, pH du sol) et biologiques (matière organique du sol, respiration microbienne, présence d'organismes vivants dans le sol).

En bref, un sol sain :

- présente une bonne structure, est peu compacté et résiste à l'encroûtement;
- se draine bien, favorise la circulation de l'eau, et retient bien l'eau;
- présente un pH ainsi qu'une teneur en éléments nutritifs et en matière organique optimaux;
- résiste à l'érosion éolienne et hydrique ainsi qu'à l'érosion causée par le travail du sol;
- favorise la levée de jeunes pousses et la croissance des racines;
- assure une croissance uniforme des cultures;
- contient des vers de terre en abondance;
- dégage une bonne odeur;
- décompose rapidement les résidus.

La plupart des caractéristiques d'un sol sain sont associées directement ou indirectement à d'autres aspects de la gestion intégrée des cultures. Pour en savoir plus sur les sols sains, voir le chapitre 8, *Gestion assurant la santé du sol*.

Rotation des cultures

La rotation des cultures fait partie intégrante de toute production culturelle. Quand elle est bien planifiée, elle :

- augmente les rendements;
- contribue à maintenir ou à améliorer la structure du sol et sa teneur en matière organique;
- protège le sol contre l'érosion;

- améliore la capacité du sol à s'adapter à des conditions météorologiques extrêmes;
- permet de récupérer l'azote résiduel provenant des légumineuses;
- facilite la lutte contre les insectes et les maladies;
- réduit la pression exercée par les mauvaises herbes;
- étale la charge de travail.

Toute rotation des cultures repose sur la règle de base suivante : la même culture ne devrait jamais se succéder à elle-même. La monoculture mènera au développement de maladies et à la prolifération des insectes nuisibles à cette culture, et se traduira éventuellement par des infestations plus importantes et des rendements moindres. Plus la même culture est semée souvent dans un champ, plus le risque est élevé.

La rotation des cultures atteint son efficacité maximale lorsque les producteurs font succéder des cultures – y compris des cultures couvre-sol – de familles différentes, comme des monocotylédones (graminées) et des dicotylédones (latifoliées). Les systèmes racinaires fasciculés des céréales et des plantes fourragères (y compris le trèfle rouge) sont excellents pour la structure du sol. L'ajout de blé dans la rotation procure des avantages qui s'étendent souvent au-delà de l'année où la céréale est cultivée. Le tableau Intro-1, *Points à considérer dans le choix des rotations des cultures*, illustre l'amélioration de cultures grâce à la rotation. Pour en savoir plus sur la rotation des cultures, voir le chapitre 8, *Gestion assurant la santé du sol*.

Tableau Intro-1. Points à considérer dans le choix des rotations des cultures

Culture	Culture précédente					
	Maïs	Soya	Céréales	Cultures fourragères	Haricots comestibles	Canola
Maïs	• Volume important de résidus à gérer • Baisse de rendement • Moins d'options de rotation des herbicides et de lutte contre les mauvaises herbes • Larves de chrysomèle des racines du maïs (culture en semis direct à court terme)	• Plus d'options de rotation des herbicides et de lutte contre les mauvaises herbes • Risque accru de hanneton européen (sol à texture légère)	• Volume important de résidus dans une culture en semis direct (si la paille n'est pas retirée, elle peut garder le sol plus frais) • Plus d'options de rotation des herbicides et de lutte contre les mauvaises herbes • Plus d'options de cultures couvre-sol	• Risque accru de vers fil-de-fer dans le gazon de graminées	• Aucun problème	• Réduction des mycorhizes = baisse de l'absorption du phosphore • Risque de diminution de la croissance de la plante
Soya	• Volume important de résidus à gérer • Plus d'options de rotation des herbicides et de lutte contre les mauvaises herbes • Limaces (culture en semis direct à court terme)	• Baisse de rendement • Faible apport des résidus (baisse de la teneur en matière organique du sol) • Moins d'options de rotation des herbicides et de lutte contre les mauvaises herbes • Risque accru de maladies des racines du soya, de pourriture à sclérotés et de nématode à kyste du soya	• Possibilités de rotation des herbicides • Problème potentiel de limaces (couvre-sol pour l'hiver)	• Risque accru de vers fil-de-fer	• Risque accru de pourriture à sclérotés • Dégradation du sol	• Risque accru de pourriture à sclérotés • Risque de diminution de la croissance de la plante

Tableau Intro-1. Points à considérer dans le choix des rotations des cultures

Culture	Culture précédente					
	Maïs	Soya	Céréales	Cultures fourragères	Haricots comestibles	Canola
Céréales d'automne	• Risque accru de fusariose de l'épi	• Problèmes liés aux dates de semis selon la durée de la croissance du cultivar	• Risque accru de maladies des plantules, des racines et des feuilles • Moins d'options d'herbicides et de possibilités de rotation	• Risque accru de dégâts causés par le ver fil-de-fer	• Récolte hâtive qui facilite les semis rapides	• Risque de légère diminution de la croissance
Céréales de printemps	• Volume important de résidus qui peut nuire à la préparation des lits de semence	• Aucun problème	• Risque accru de maladies des plantules, des racines et des feuilles	• Risque accru de vers fil-de-fer	• Aucun problème	• Aucun problème
Fourrages	• Volume important de résidus qui peut nuire à la préparation des lits de semence	• Possibilités limitées de lutte contre les mauvaises herbes • Risque de rémanence des herbicides	• Possibilités limitées de lutte contre les mauvaises herbes	• Autotoxicité si replantés trop tôt • Possibilités limitées de lutte contre les mauvaises herbes	• Aucun problème	• Aucun problème
Haricots secs comestibles	• Aucun problème	• Risque accru de pourriture des racines et de pourriture à sclérotés	• Limaces pouvant causer des dommages en semis direct	• Limaces dans les cultures en semis direct • Moins d'options d'herbicides	• Dégradation du sol • Risque accru de pourriture des racines et de pourriture à sclérotés • Baisse de rendement	• Pourriture à sclérotés • Risque de légère diminution de la croissance
Canola	• Limaces pouvant causer des dommages en semis direct • Récolte trop tardive pour les semis de canola d'automne • Risque de rémanence des herbicides	• Risque accru de pourriture des racines et de pourriture à sclérotés	• Aucun problème	• Limaces pouvant réduire la densité du peuplement	• Risque accru de pourriture à sclérotés	• Baisse de rendement • Risque accru de pourriture des racines et de pourriture à sclérotés • Déstructuration du sol

Facettes économiques de la rotation

On évalue généralement la réussite d'une culture en fonction de son rendement économique, en soustrayant aux profits bruts les intrants et les frais fixes. Il s'agit d'une évaluation annuelle dans la majorité des cas, et la plante à cultiver est choisie notamment selon la demande sur le marché. Une façon plus viable d'envisager les facettes économiques des cultures consiste à évaluer le rendement économique selon la rotation. On additionne alors les intrants et les frais fixes pour toutes les cultures en rotation, puis on divise cette somme par les profits bruts associés à ces mêmes cultures. Il est ainsi possible d'évaluer les cultures à long terme, ce qui révèle souvent des avantages au-delà de la récolte même, notamment sur les plans de la gestion des ravageurs, des possibilités de rotation des herbicides ou des pratiques d'enrichissement du sol. B. Deen, de l'Université de Guelph, montre ci-dessous le gain de rendement que peut engendrer l'ajout du blé dans une rotation de cultures de maïs et de soya.

Justification économique de l'ajout du blé dans une rotation de cultures de maïs et de soya

Exemple : Ajout du blé dans une rotation de cultures de maïs et de soya¹

- Gain de 2 % à 6 % de rendement du maïs
6,5 bo/ac à 4,50 \$/bo = 29,25 \$
- Gain de 9 % à 14 % du rendement du soya
5 bo/ac à 12,00 \$/bo = 60,00 \$
- Réduction des besoins en azote dans le cadre de la rotation
26,4 lb/ac à 0,60 \$/lb = 15,84 \$
- Autres avantages
 - Réduction du travail du sol
 - Rendement stable
 - Possibilité de vendre de la paille
 - Réduction potentielle de la compaction
 - Amélioration de la structure du sol
 - Étalement de la charge de travail

Estimation prudente = 10,00 \$

Le blé génère des profits additionnels d'environ 115,00 \$/ac.

Voici quelques bonnes raisons de diversifier une rotation des cultures :

- Gain subséquent des rendements du maïs (4 % en moyenne);
- Gain subséquent des rendements du soya (11 % en moyenne);
- Occasion d'ajouter des cultures couvre-sol;
- Possibilité d'épandre du fumier;
- Possibilité de vendre de la paille de blé;
- Étalement de la charge de travail sur la saison de croissance.

Quand on évalue la rentabilité en fonction d'une rotation complète, le producteur accepte souvent une baisse de ses profits par acre en raison des économies d'échelle.

¹ Source : B. Deen, Université de Guelph. Aucune donnée n'est fournie, car cet exemple n'est présenté qu'à titre indicatif.

Intégration de cultures couvre-sol dans une rotation

Il est possible de maximiser le rendement de cultures résistantes en améliorant la santé du sol, notamment grâce à l'utilisation de cultures couvre-sol. Des adeptes de longue date de cette pratique ont constaté que l'ajout de cultures couvre-sol dans leur rotation permettait d'introduire beaucoup plus de carbone dans le sol.

Il faudrait envisager l'utilisation de cultures couvre-sol dans le cadre d'une rotation globale, en particulier dans les champs à faible teneur en matière organique, ou dans les champs où l'intervalle entre les rotations est court et où l'apport de résidus de culture ou de fumier est faible. En effet, ces cultures peuvent contribuer à protéger adéquatement le sol hors de la saison de croissance. Il est important d'en connaître l'utilité et les avantages potentiels. Le tableau *Cultures couvre-sol recommandées selon leur fonction* montre diverses raisons d'inclure des cultures couvre-sol dans une rotation et dresse la liste de cultures potentielles en fonction de leur utilité. Voir le chapitre 8, *Gestion assurant la santé du sol*, pour en savoir plus sur les cultures couvre-sol.

Cultures couvre-sol recommandées selon leur fonction

Fonction de la culture couvre-sol	Cultures couvre-sol recommandées
• Production d'azote	• Légumineuses : trèfle rouge et autres sortes de trèfle, luzerne, pois, vesce.
• Récupération d'azote	• Prélèvement à l'automne : radis oléagineux et autres brassicacées, avoine, orge. • Prélèvement en hiver et au printemps : seigle, blé d'automne.
• Élimination des mauvaises herbes	• Plantes à croissance rapide qui donnent de l'ombrage : radis oléagineux et autres brassicacées, seigle d'automne, sarrasin.
• Amélioration de la structure du sol	• Plantes au système racinaire fasciculé : avoine, orge, seigle, blé, triticale, ray-grass ou trèfle.
• Réduction de la compaction	• Les racines de la plupart des cultures couvre-sol contribueront à réduire la compaction. • Compaction modérée : radis. • Si le sol est très compacté, il faut des plantes aux racines pivotantes vigoureuses et denses qui croissent avec le temps : luzerne, mélilot.
• Apport de biomasse dans le sol	• Semis d'automne : céréales de printemps, radis oléagineux. • Semis d'été : millet, sorgho, sorgho herbacé, sorgho-Soudan.
• Protection contre l'érosion (éolienne et hydrique)	• La plupart des cultures couvre-sol, une fois bien établies : seigle d'automne, blé d'automne, ray-grass, céréales de printemps semées tôt.
• Culture fourragère d'urgence	• Automne : avoine, orge, blé, seigle, brassicacées fourragères. • Été : millet, sorgho, sorgho herbacé, sorgho-Soudan (voir le tableau 3-2 pour davantage de plantes fourragères annuelles).
• Élimination des nématodes	• Moutarde Cutlass, sorgho-Soudan (Sordan 79, Trudan 8), millet perlé (CFPM 101), souci (Crackerjack, Creole), radis oléagineux (Adagio, Colonel). Ce ne sont pas toutes les cultures couvre-sol qui peuvent éliminer les populations de nématodes; certaines sont des plantes-hôtes. Il existe des interactions précises entre le type de couvre-sol et l'espèce de nématode.

Travail du sol et gestion des résidus

Facteurs en faveur du travail du sol

Outre l'accélération de l'assèchement, bien d'autres facteurs jouent en faveur du travail du sol pour les productions culturales :

- Lutte contre les mauvaises herbes;
- Extermination des vers fil-de-fer et des asticots;
- Nivelage du sol améliorant l'uniformité des lits de semence;
- Intégration de résidus de culture;
- Épandage d'engrais et de fumier;
- Préparation des lits de semence.

La découverte des herbicides a grandement réduit la nécessité de sarcler le sol (sauf en production biologique). Par ailleurs, l'invention de matériel permettant de semer dans les résidus fait en sorte qu'il est possible de planter des cultures en travaillant peu ou pas le sol. De manière générale, un sol travaillé en majeure partie au printemps sera moins vulnérable à l'érosion que s'il est travaillé à l'automne. Il vaut mieux travailler le sol juste assez pour atteindre ses objectifs, ce qui contribuera à maintenir le sol en place et à prévenir les déversements dans les cours d'eau.

Si toutes les composantes de la production sont prises en compte, la méthode de travail du sol gagnera en efficacité. Voici quelques exemples.

- Un étalement uniforme des résidus et de la paillette au moment de la récolte améliorera le travail du sol et les semis.
- Une rotation de cultures variées peut réduire les problèmes d'insectes et les maladies et ainsi augmenter le rendement potentiel, et ce, même si le sol est moins travaillé.
- L'adaptation du semoir à un type particulier de texture du sol ou de résidu de culture, autrement que par l'ajout de coutres ou de tasse-résidus, améliorera la mise en place des semences.

Les différentes méthodes de travail du sol employées en Ontario sont d'ailleurs résumées ci-dessous. Pour de plus amples renseignements, voir la section Travail du sol du chapitre 1, Maïs.

Méthode traditionnelle

La méthode traditionnelle de travail du sol en Ontario consiste généralement à passer la charrue à socs ou le chisel à l'automne, puis à travailler superficiellement le

sol au printemps, habituellement à l'aide d'un cultivateur ou d'un pulvérisateur tandem. La plupart du temps, le labour se fait à une profondeur de 15 cm (6 po), car si le sol est travaillé plus profondément, le sous-sol se mélange souvent au lit de semence, ce qui n'est pas souhaitable. Plus un champ est uniforme et nivelé après le labour d'automne, plus il est possible de réduire les coûts du travail superficiel du sol et d'améliorer l'efficacité du semoir. La méthode traditionnelle a comme désavantage de ne pas laisser suffisamment de résidus à la surface du sol, lequel est donc davantage exposé à l'érosion éolienne et hydrique. Sur les terres présentant de nombreuses pentes, le simple fait de travailler le sol risque de provoquer le déplacement de grandes quantités de terre arable vers le bas (érosion causée par le travail du sol).

Travail réduit du sol à l'automne

Le chisel, la défonceuse à disques et le pulvérisateur (tandem ou déporté) sont les outils de travail du sol les plus couramment utilisés à l'automne en Ontario. Ils laissent habituellement davantage de résidus au sol tout en libérant la surface à l'automne, ce qui permet de faire les semis par un seul passage au printemps (sans travail superficiel du sol).

Travail du sol vertical

Le travail du sol vertical sert à réduire le compactage et l'effet de lissage pouvant être causé par la machinerie. Beaucoup d'outils à cet effet visent à réduire les résidus en fragments plus petits et à les répartir, mais leur utilisation brise la structure du sol dans une certaine mesure et mélange les résidus à la surface au reste du sol. Divers outils pour le travail du sol conviennent au travail du sol vertical, même s'ils comportent des disques légèrement concaves, des socs bineurs bas et de grandes herbes qui travaillent davantage le sol, car ils respectent le principe de cette méthode, et ce, sans retourner ou lisser le sol de façon importante.

Travail réduit du sol au printemps

Le meilleur moyen de réduire l'érosion et les coûts des intrants consiste à ne pas travailler le sol à l'automne. Certains producteurs hésiteront peut-être à opter pour cette solution dans le cas de sols à texture fine où une culture de maïs ou de blé, par exemple, a laissé de grandes quantités de résidus. Par contre, après une culture de soya ou de haricots secs comestibles, le travail du sol à l'automne présente peu d'avantages dans la plupart des champs de l'Ontario. Après d'autres

cultures, il faut tenir compte du risque d'érosion, de la disponibilité du matériel de gestion des résidus au printemps, et du drainage des champs. Par l'expérience, les producteurs ont découvert que le travail réduit de sols non dérangés au printemps engendre de meilleurs résultats lorsqu'ils utilisent des dents à haut dégagement, des dents étroites ou des socs d'enterrage, ou passent un rouleau en même temps que le cultivateur.

Travail du sol par bandes superficiel à l'automne

La méthode de travail du sol d'automne limitée à des bandes étroites destinées à recevoir les rangs de maïs l'année suivante suscite énormément d'intérêt depuis quelques années. On prépare des bandes de sol en les ameublissant, en les débarrassant des résidus et souvent en les surélevant, tout en laissant le reste du champ couvert de résidus de culture qui le protègent. Le printemps suivant, ces bandes sont plus sèches et moins denses, et se prêtent mieux au semis direct.

Le travail du sol par bandes superficiel permet également d'épandre les engrais par bandes alors que dans une culture en semis direct, l'application doit se faire à la volée. L'épandage d'engrais à l'aide de la méthode de travail du sol par bandes superficiel remplace aussi parfois l'application d'engrais de démarrage au semoir. L'épandage de phosphore et de potassium sur des sols travaillés par bandes superficiellement à l'automne, s'ils sont suffisamment fertiles, peut générer des rendements supérieurs à ceux de cultures en semis direct où un volume similaire d'engrais a été appliqué à la volée.

Travail du sol par bandes superficiel au printemps

Le travail du sol par bandes superficiel au printemps permet de préparer des lits de semence à texture fine et sans résidus qui sont propices à l'utilisation d'un semoir. Cette méthode est utilisée la plupart du temps dans des sols à texture fine, mais peut parfois convenir à des sols à texture moyenne bien drainés. En général, elle est appliquée au maximum de 6 à 12 heures avant l'utilisation du semoir pour éviter que la zone de germination s'assèche trop. Les producteurs se servent aussi de cette méthode pour appliquer une partie ou la totalité des amendements d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K) dont les cultures de maïs ont besoin.

Sur le plan de la conservation des sols, cette méthode a aussi l'avantage d'éliminer des bandes présentes à l'automne qui peuvent faire passer l'eau et être

susceptibles à l'érosion, en particulier si elles se trouvent en haut et en bas d'une pente.

Travail du sol en profondeur

Avec l'accroissement de la charge par essieu des machines agricoles, et comme de façon générale les sols sont de plus en plus compactés, la méthode du travail en profondeur est de plus en plus employée. La raison qui est le plus souvent invoquée en faveur de cette méthode est que l'ameublissement des couches de sous-sol compacté et l'élimination des semelles de labour favorisent une croissance rapide et profonde des racines tout en améliorant le drainage. Cependant, en Ontario, les sous-sols qui sont ameublissent par le travail en profondeur sont souvent compactés de nouveau au passage de la machinerie. De plus, comme cette opération détruit les pores naturels créés par les vers et les racines des cultures précédentes, les sols ainsi travaillés et sur lesquels passe la machinerie pourraient finalement être moins bien drainés. Le travail en profondeur de sols secs, conjugué à des cultures aux racines profondes (luzerne, mélilot), est le meilleur moyen de décompacter le sol.

Semis direct

Dans les cultures en semis direct, il n'y a aucun travail du sol des lits de semence. Immédiatement avant le passage de l'ouvre-sillon, on ameublit le sol de façon superficielle sur une bande étroite avec un coultre ou des tasse-résidus montés sur le semoir. La production culturale par semis direct repose en partie sur l'utilisation efficace de nouvelles techniques et méthodes de gestion des champs tenant compte des facteurs limitant le rendement qui, en d'autres circonstances, seraient corrigés par le travail du sol.

Pour réussir une culture en semis direct, il est important :

- que le sol soit bien drainé et que l'eau s'y infiltre bien;
- d'assurer une rotation de différentes cultures;
- de gérer les résidus pour que le sol soit couvert toute l'année;
- d'employer des techniques de lutte contre les mauvaises herbes ne nécessitant pas de travail du sol;
- de gérer les maladies et les insectes;
- d'ajuster la fertilité du sol et d'envisager l'utilisation d'engrais;
- de réduire la compaction du sol.

Dépistage et lutte intégrée contre les ravageurs

La lutte intégrée contre les ravageurs est une façon de gérer les mauvaises herbes, les insectes et les maladies faisant appel à tous les moyens possibles de les maintenir sous le seuil de nuisibilité économique. Le système cultural résiste ainsi mieux aux échecs, car le producteur n'utilise pas que des pesticides pour lutter contre les ravageurs. Les techniques de lutte intégrée contre les mauvaises herbes comprennent le dépistage, le travail du sol, la gestion des éléments nutritifs, la rotation des cultures et l'utilisation de cultures couvre-sol.

En surveillant ses champs et ses cultures tout au long de la saison de croissance et au-delà, le producteur peut déceler les problèmes et prendre rapidement les mesures nécessaires pour réduire toute perte de nature économique tout en améliorant l'efficacité du travail au champ. Il se peut que certains problèmes ne puissent être résolus quand on les détecte, mais il est tout de même possible de consigner des renseignements en vue d'une utilisation ultérieure.

Traditionnellement, le dépistage ne vise que la surveillance et la gestion des ravageurs, mais il procure de nombreux autres avantages, notamment les suivants :

- Détection de problèmes de drainage pendant des inspections dans les champs avant les semis;
- Inspections dans les champs après les semis visant à évaluer l'efficacité du matériel (densité désirée des semences, profondeur, répartition dans l'ensemble du champ);
- Gestion des éléments nutritifs (zones présentant des signes de carences en éléments nutritifs);
- Sélection des cultivars (évaluation du rendement des variétés faite dans le champ);
- Dépistage au moyen d'échantillonnage du sol qui permet d'évaluer l'état du champ (érosion, drainage) sous un autre angle.

Pour en savoir plus sur le dépistage, voir le chapitre 10, *Dépistage*.

Tenue de registres

De nouveaux outils enrichissent le dépistage et facilitent la tenue de registres. En effet, il existe de nombreuses applications d'aide au dépistage offertes sur tablettes et téléphones intelligents. Les applications que l'on choisit doivent cibler toutes les données d'intérêt et pouvoir s'intégrer aux autres logiciels ou au matériel informatique de l'exploitation agricole. Une application ne vaut pas grand-chose si les données restent confinées

dans l'appareil. Beaucoup de systèmes de gestion des cultures et des exploitations agricoles dans leur ensemble comportent des applications pour le terrain qui s'intègrent à leurs programmes principaux. Bon nombre de ces applications exploitent aussi les fonctionnalités d'un système de localisation GPS, donnant ainsi la possibilité aux utilisateurs de mieux indiquer l'endroit où des problèmes sont découverts. La figure Intro-1, *Exemple d'une application ontarienne de dépistage et de tenue de registres pour téléphone intelligent*, présente plusieurs captures d'écran de *Gestion des ravageurs*, une application conçue pour aider les producteurs de l'Ontario à dépister les ravageurs. Elle leur permet de gérer les champs de manière instantanée et de cartographier les endroits où des ravageurs ont été découverts en vue de tenir des registres.



Figure Intro-1 – Exemple d'une application ontarienne de dépistage et de tenue de registres pour téléphone intelligent

L'application *Gestion des ravageurs* est un très bon outil de dépistage et de tenue de registres dans le domaine de la lutte contre les ravageurs. Ciblant les maladies, les mauvaises herbes et les insectes nuisant aux cultures de soya, de maïs et de céréales, elle permet aux utilisateurs de cartographier les zones où des ravageurs ont été repérés dans les champs. Cet outil facilite l'identification de chaque ravageur (insecte, mauvaise herbe, maladie) et fournit des renseignements détaillés sur son cycle de vie, ses effets, les seuils d'intervention et les techniques de lutte (p. ex. biologiques, culturales et chimiques). Par ailleurs, l'information contenue dans cette application ne s'applique qu'à l'Ontario. Au moment d'utiliser des pesticides, il importe de toujours lire et respecter les étiquettes et les avertissements. Cette application est gratuite et compatible avec les systèmes d'exploitation iOS, Android et BlackBerry 10.

Gestion systémique des éléments nutritifs

La gestion des éléments nutritifs dépendra de nombreuses autres facettes des activités de l'exploitation agricole. Le concept du 4R en gestion des éléments nutritifs (les 4R étant le bon produit, au bon dosage, au bon moment et au bon endroit) est adopté à l'échelle

mondiale par l'industrie, les chercheurs, les organismes gouvernementaux, les producteurs et leurs conseillers. Cette approche, essentielle au développement d'une agriculture durable, peut améliorer la production alimentaire de manière viable sur le plan économique tout en protégeant l'environnement.

Le concept du 4R en gestion des éléments nutritifs est une approche systémique qui tient compte de ce qui suit :

1. Stocks d'éléments nutritifs sur place

Il peut s'agir par exemple de matières organiques (fumier) ou inorganiques, des éléments nutritifs dont a besoin la culture et de ceux déjà présents dans le sol.

2. Caractéristiques du champ et de l'exploitation agricole

Les éléments nutritifs sont gérés en fonction des terres disponibles, des objectifs de production, de la proximité de ressources en eau, de l'organisation de l'exploitation agricole, de la disponibilité du matériel et de la sécurité.

3. État du site lors de l'application des éléments nutritifs

Les doses optimales sont fixées en fonction des besoins des cultures et de la fertilité de base, qui sont déterminés au moyen d'analyses de sol régulières. Au moment de l'application, on évalue l'état du champ pour sélectionner la meilleure source d'éléments nutritifs et la meilleure méthode de mise en place. Lorsque du fumier ou d'autres amendements organiques sont épandus, on accorde une attention spéciale à l'odeur, aux pertes potentielles d'éléments nutritifs et au maintien d'une bonne distance avec les zones sensibles.

4. Restes d'éléments nutritifs provenant des cultures précédentes

Quand des légumineuses sont cultivées en rotation, ou que du fumier ou d'autres amendements organiques sont épandus régulièrement, on tient compte de l'apport de ces éléments nutritifs et on le soustrait aux engrais commerciaux requis.

5. Utilisation efficace des éléments nutritifs

Utiliser les éléments nutritifs efficacement, c'est s'assurer que les éléments sont disponibles lorsque la plante en a besoin, ce qui réduit les pertes d'éléments nutritifs et maintient la fertilité du sol.

6. Production et bénéfices

Comme un rendement maximal n'est pas toujours ce qui rapporte le plus, les pratiques de production culturale doivent toujours viser à maximiser le rendement économique.

7. Autres points à considérer pour la gestion de l'exploitation agricole

La gestion des éléments nutritifs fait partie d'un système de production culturale global comprenant la gestion du sol et de l'eau, la rotation des cultures, le choix des cultivars, les techniques de semis, les méthodes de travail du sol et la lutte contre les ravageurs. Elle dépendra de ces autres composantes des activités de l'exploitation agricole, ainsi que d'aspects sociaux, comme les besoins et autres intérêts de la famille. Pour en savoir plus, voir le chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Table des matières

Introduction

Systèmes intégrés de culture	v
Rotation des cultures	vi
Travail du sol et gestion des résidus	xi
Méthode traditionnelle	xi
Travail réduit du sol à l'automne	xi
Travail du sol vertical	xi
Travail réduit du sol au printemps	xi
Travail du sol par bandes superficiel à l'automne	xii
Travail du sol par bandes superficiel au printemps	xii
Travail du sol en profondeur	xii
Semis direct	xii

1. Maïs

Travail du sol	1
Texture et drainage du sol	1
Rotation des cultures	1
Autres facteurs en faveur du travail du sol	2
Méthode traditionnelle	2
Travail réduit du sol à l'automne	2
Travail du sol vertical	3
Travail réduit du sol au printemps	3
Travail du sol par bandes superficiel à l'automne	4
Travail du sol par bandes superficiel au printemps	5
Travail du sol en profondeur	5
Semis direct	6
Choix des hybrides	9
Évaluation de la maturité	9
Choix des hybrides les plus rentables	11
Semis	14
Date de semis	14
Densité de peuplement	15
Profondeur de semis	16
Croissance du maïs	17
Stades de croissance foliaire	20
Uniformité de la levée	20
Uniformité de l'écartement	20
Écartement des rangs	22
Reprise des semis	22
Gestion de la fertilisation	23
Azote (N)	23
Phosphate et potasse	30
Doses maximales sûres d'éléments fertilisants	32
Phosphore (P) : épandage en bandes ou à la volée	32

Éléments nutritifs secondaires et oligo-éléments	33
Analyse des tissus végétaux	35
Fertilisation foliaire	35
Récolte et entreposage	35
Récolte du maïs	35
Entreposage du maïs	36
Autres problèmes liés aux cultures	38
Insectes et maladies	38
Froid	40
Stress dû à la chaleur	41
Grêle	41
Inondation	43
Sécheresse	43
Dommages causés par les oiseaux	43

2. Soya

Méthodes de travail du sol	45
Semis direct et travail réduit du sol	45
Gestion des résidus de culture	46
Choix des cultivars	48
Groupe de maturité (MG)	48
Couleur du hile	50
Semis et croissance de la culture	51
Qualité des semences	51
Date de semis	53
Semis retardés	54
Écartement des rangs et matériel de semis	56
Taux de semis	57
Traitement des semences	59
Profondeur de semis	59
Reprise des semis	61
Compensation et écartement des plants (vides)	61
Croissance des plants	63
Gestion de la fertilisation	63
Azote et soufre	63
Phosphate et potasse	66
Méthodes d'application	67
Analyse des tissus végétaux	67
Oligo-éléments	67
Récolte et entreposage	68
Limiter les pertes à la récolte	68
Qualité et préservation de l'identité	69
Séchage du soya	70
Autres problèmes liés aux cultures	72
Insectes et maladies	72
Dommages causés par le gel et la grêle	72
Dommages causés par le froid et le gel en fin de saison	74

Dommmages dus à la foudre	74
Graines de soya vertes à maturité	75

3. Cultures fourragères

Espèces	77
Légumineuses vivaces	77
Graminées vivaces	80
Choix des espèces	82
Fourrages annuels	85
Graminées annuelles de saison chaude	86
Établissement (semis)	90
Préparation du lit de semence	90
Taux et profondeur de semis	90
Matériel de semis	91
Semis direct ou semis avec culture-abri	93
Période des semis	94
Autotoxicité de la luzerne	95
Semis sur sol gelé dans les pâturages	95
Inoculation	95
Gestion de la fertilisation	96
Azote	96
Phosphate et potasse	96
Oligo-éléments	98
Analyse des tissus végétaux	99
Chaulage	100
Récolte et entreposage	100
Gestion des pâturages	100
Qualité du fourrage	101
Mesure de l'énergie digestible de l'ensilage de maïs	101
Période de récolte du fourrage	101
Méthodes de récolte des céréales fourragères	103
Ensilage préfané et ensilage de maïs	109
Autres problèmes liés aux cultures	116
Destruction des cultures fourragères par l'hiver	116
Facteurs influençant la survie à l'hiver	118

4. Céréales

Travail du sol	123
Méthodes de travail du sol	123
Semis direct	123
Méthode traditionnelle	124
Semis de céréales de printemps sur sol gelé	124
Semis aérien du blé d'automne	125
Semis à la volée	126
Choix des cultivars	126
Tolérance à la germination sur pied	126
Résistance à l'hiver et tolérance au froid	127
Facteurs propres aux cultures de céréales	127
Espèces céréalières	128
Biotechnologie et cultures céréalières	132

Semis et croissance de la culture	132
Profondeur de semis	132
Croissance des céréales	133
Dates de semis	134
Reprise des semis	136
Taux de semis	137
Écartement des rangs	139
Rotations incluant le blé d'automne	139
Autres possibilités à explorer	140
Régulateurs de croissance	140
Fongicides	141
Fusariose de l'épi	142
L'essentiel sur les traitements aux pesticides : lutte contre la fusariose dans le blé	142
Maximiser la couverture des épis de blé	142
Gestion de la fertilisation	144
Azote	144
Phosphate et potasse	148
Syndrome du rang de maïs	150
Analyse des tissus végétaux	153
Oligo-éléments	153
Récolte et entreposage	155
Réglage optimal de la moissonneuse-batteuse	155
Grain endommagé par <i>Fusarium</i>	155
Récolte de céréales versées	156
Blé infecté par la carie	156
Séchage et entreposage du blé	157
Systèmes de séchage	157
Autres problèmes liés aux cultures	159
Insectes et maladies	159
Destruction par l'hiver	159
Déchaussement par le gel	161
Glace	161
Dommmages causés par le froid	161

5. Haricots secs comestibles

Méthodes de travail du sol	163
Sélection du site et rotation des cultures	163
Type de sol et structure du sol	164
Présence de maladies dans le passé	164
Lutte contre les mauvaises herbes	164
Choix des cultivars	165
Semis	165
Qualité des semences	165
Date des semis	166
Taux de semis	166
Profondeur des semis	167
Écartement des rangs	168
Inoculation	168
Sol croûté	168
Évaluation du peuplement et décisions concernant la reprise des semis	169
Croissance des plants	169

Gestion de la fertilisation	170
Azote.....	170
Phosphate et potasse	171
Analyse des tissus végétaux.....	172
Oligo-éléments.....	172
Récolte et entreposage	173
Impuretés et criblures	173
Arrachage, andainage et moissonnage-battage	174
Coupe directe par moissonneuse-batteuse ..	174
Maintien de la qualité à la récolte	175
Autres problèmes liés aux cultures	175
Insectes et maladies	175
Dommages causés par le gel et la grêle.....	175
Plantules exfoliées.....	176
Compaction et structure du sol.....	176
Insolation et bronzage	178

6. Canola de printemps et d'automne

Méthodes de travail du sol.....	179
Méthode traditionnelle	179
Travail réduit du sol et semis direct.....	179
Sélection du site et rotation des cultures.....	179
Choix des cultivars	180
Semis	181
Qualité des semences	181
Traitement des semences	181
Plantation de canola d'automne	181
Plantation de canola de printemps.....	181
Conditions de semis	182
Taux de semis	183
Vérification du calibrage d'un semoir traditionnel	184
Étoffement des semences	185
Profondeur de semis.....	185
Tassage.....	186
Évaluation des peuplements de canola et décisions concernant la reprise des semis	186
Croissance de la culture	186
Gestion de la fertilisation	188
Épandage et calendrier	188
Azote.....	189
Phosphate et potasse	190
Besoins en phosphore (P)	190
Doses maximales sûres pour l'épandage d'éléments nutritifs au moment du semis du canola	191
Soufre	191
Bore	192
Analyse des tissus végétaux.....	192
Récolte et entreposage	192
Récolte par coupe directe.....	192
Andainage	193
Herbicides pré-récolte pour faciliter la récolte du canola.....	193
Moissonnage-battage du canola	193

Entreposage du canola	194
Autres problèmes liés aux cultures	194
Insectes et maladies	194
Gel.....	194
Dommages causés par la grêle.....	195
Graines brunes (endommagées par la chaleur)	196
Stress dû à la chaleur (échaudage).....	196
Graines vertes	197
Destruction par l'hiver	197
Pollinisation croisée	197

7. Autres cultures

Sarrasin.....	199
Exigences de production.....	199
Travail du sol et préparation du lit de semence.....	199
Choix des cultivars.....	200
Semis.....	200
Gestion de la fertilisation	200
Récolte et entreposage	201
Lutte contre les mauvaises herbes	202
Insectes et maladies	202
Caméline.....	203
Exigences de production.....	203
Semis.....	203
Gestion de la fertilisation	203
Récolte et entreposage	203
Insectes et maladies	203
Lin	204
Exigences de production.....	204
Travail du sol et préparation du lit de semence.....	204
Choix des cultivars.....	204
Semis.....	204
Croissance de la culture	204
Gestion de la fertilisation	205
Récolte et entreposage	205
Enlèvement de la paille	205
Lutte contre les mauvaises herbes	205
Insectes et maladies	206
Chanvre	206
Exigences de production.....	206
Description.....	206
État du sol	206
Travail du sol et préparation du lit de semence.....	206
Semis.....	207
Gestion de la fertilisation	207
Lutte contre les mauvaises herbes	207
Récolte et entreposage	207
Rouissage et retournement des andains	208
Mise en balles et entreposage.....	208
Insectes et maladies	208
Miscanthus Commun.....	209
Exigences de production.....	209
Choix des cultivars.....	209

Semis	209
Gestion de la fertilisation	209
Récolte et entreposage	210
Lutte contre les mauvaises herbes	211
Insectes et maladies	211
Quinoa	211
Exigences de production	211
Semis	211
Gestion de la fertilisation	211
Récolte et entreposage	212
Lutte contre les ravageurs	212
Mauvaises herbes	212
Insectes et maladies	212
Tournesol	212
Exigences de production	212
Choix des cultivars	213
Rotation	213
Travail du sol et préparation du lit de semence	213
Semis	213
Gestion de la fertilisation	214
Récolte et entreposage	214
Lutte contre les mauvaises herbes	215
Insectes et maladies	216
Panic érigé	216
Exigences de production	216
Rotation	216
Travail du sol et préparation du lit de semence	216
Semis	217
Gestion de la fertilisation	217
Récolte et entreposage	218
Insectes et maladies	218
Lutte contre les mauvaises herbes	218
Autres cultures sources de biomasse	219

8. Gestion assurant la santé du sol

Les sols sains sont productifs	221
Bonne gestion des sols	221
Comment créer un sol sain	222
Rotation des cultures	222
La rotation des cultures permet de stabiliser le rendement pendant les années difficiles	223
La rotation des cultures augmente la teneur en matière organique du sol	225
La rotation des cultures augmente la productivité et le recyclage des éléments nutritifs	225
Cultures couvre-sol	226
Choix d'une culture couvre-sol	227
Caractéristiques des cultures couvre-sol	227
Réduction du travail du sol	231
Gestion de la fertilisation	233
Épandage de matières organiques (résidus)	233

Prévention de la dégradation du sol	236
Compactage du sol	238
Santé du sol : évaluer pour gérer	239
Évaluation de la santé du sol	239
Fondements de la gestion du sol	242
Biologie du sol	244
Structure du sol	244
Structure granulaire	244
Structure lamellaire	245
Structure anguleuse	245
Structure colonnaire ou prismatique	245
Absence de structure	245
Stabilité des agrégats	246
Qualité et genèse du sol	246
Qualité du sol	246
Formation du sol	246
Variabilité des sols	247

9. Fertilité et éléments nutritifs

Principes de gestion optimale des éléments nutritifs	249
Analyse de sol	249
Autres méthodes d'évaluation des besoins en éléments nutritifs	249
Programme d'analyse de sol du MAAARO	249
Technologies d'échantillonnage du sol	251
Échantillonnage fondé sur des données géoréférencées ou dirigé	251
Zones d'échantillonnage du sol (zones de gestion)	253
Utilisation des résultats des analyses de sol	253
Fréquence de l'échantillonnage	254
Moment de l'année	254
Analyse des oligo-éléments	254
Analyse des tissus végétaux	255
Directives relatives aux engrais	255
Acidité du sol et chaulage	255
Qualité de la chaux	256
Magnésium	260
Calcium	260
Soufre	260
Oligo-éléments	260
Manganèse	260
Zinc	261
Cuivre	261
Bore	262
Fer et molybdène	262
Ajustement des directives relatives aux engrais	262
Ajustement des engrais après l'enfouissement de légumineuses	262
Ajustement des engrais après l'épandage de fumier	263
Gestion des fumiers	266
Valeur du fumier	266

Plans de gestion des éléments nutritifs	266
Biodisponibilité de l'azote provenant du fumier.....	266
Analyse du fumier.....	270
Valeur à long terme du fumier	275
Besoins des cultures	275
Problèmes environnementaux liés au fumier	277
Atténuation des risques liés à l'azote	278
Évaluation des risques liés au phosphore	278
Fumier et semis direct	279
Calibrage des épandeurs	280
Utilisation de matières de source non agricole dans les champs	280
Engrais.....	281
Sels solubles dans les terres agricoles.....	282
Toxicité des engrais.....	283
Engrais foliaires.....	286
Calcul des besoins en engrais.....	287
Citations	287

10. Dépistage

Dépistage	289
Dépistage traditionnel	289
Moment opportun.....	289
Outils et techniques de dépistage	290
Nouveaux outils de dépistage.....	290
Dépistage des insectes.....	291
Utilisation d'une toile	291
Utilisation de pièges	291
Utilisation d'un filet fauchoir	291
Nombre de points d'échantillonnage.....	292
Schémas de dépistage	292
Densité de peuplement et niveaux d'infestation.....	293
Consignation des observations	294
Manipulation et soumission des échantillons	295
Utilisation des degrés-jours de croissance et des unités thermiques de croissance	295
Degrés-jours de croissance	295
Unités thermiques de croissance	296
Calcul des valeurs d'UTC quotidiennes	297
Outils cartographiques.....	298

11. Agriculture de précision

Outils de précision	299
Cinématique en temps réel et système de localisation GPS	299
Applications de l'agriculture de précision	299
Application à taux variable	300
Défis technologiques.....	301
Gestion en temps réel	301
Téledétection.....	301
Véhicule aérien sans pilote / système d'aéronef sans pilote	302

12. Gestion des grains entreposés sur place

Entreposage des grains dans des cellules	305
Suggestions pour une bonne gestion des cellules de stockage	305
Vérification des cellules de stockage	306
Maîtrise des insectes dans les grains entreposés sur place.....	307
Garder les lieux propres	307
Maintenir les installations d'entreposage en bon état	307
Entreposer des grains propres et secs	308
Surveiller la température d'entreposage et dépister les insectes.....	308
Identifier les ravageurs correctement	309
Insectes des grains entreposés.....	309
Technique de dépistage des insectes des grains entreposés	309

13. Lutte contre les mauvaises herbes

Pertes de rendement dues aux mauvaises herbes	313
Stratégies de lutte intégrée contre les mauvaises herbes	313
Concurrence de la culture aux mauvaises herbes	317
Lutte mécanique.....	318
Résistance aux herbicides.....	320
Blessures causées par les herbicides	320
Signes de dommages causés par différents groupes herbicides.....	322
Bibliographie	332

14. Lutte intégrée contre les ravageurs et protection de leurs ennemis naturels et des pollinisateurs

Lutte intégrée contre les ravageurs	333
Utilisation et protection des ennemis naturels	334
Prédateurs.....	335
Vertébrés	337
Parasitoïdes	337
Agents pathogènes	338
Protection des pollinisateurs et des insectes utiles	339
Renseignements connexes	341

15. Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures

Ravageurs terrioles des grandes cultures ...	343
Espèces d'asticots nuisibles	345
Ravageurs du maïs.....	354
Ravageurs du maïs terrioles	355
Ravageurs du maïs de surface.....	355

Pentatomes	360
Insectes s'attaquant aux épis	367
Ravageurs du soya	371
Ravageurs terricoles du soya	372
Ravageurs du soya de surface	372
Évaluation de la défoliation du soya	379
Insectes s'attaquant aux gousses	380
Ravageurs des cultures fourragères	383
Ravageurs terricoles des cultures fourragères	383
Ravageurs des cultures fourragères de surface	385
Ravageurs des céréales	390
Ravageurs terricoles des céréales	392
Ravageurs des céréales de surface	392
Ravageurs des céréales s'attaquant aux épis et aux tiges	396
Ravageurs des haricots secs comestibles	398
Ravageurs terricoles des haricots secs comestibles	398
Ravageurs des haricots secs comestibles de surface	398
Évaluation de la défoliation des haricots secs comestibles	399
Insectes s'attaquant aux gousses	400
Ravageurs du canola	403
Ravageurs terricoles du canola	404
Ravageurs du canola de surface	404
Insectes s'attaquant aux gousses	407
Punaise terne	409

16. Maladies des grandes cultures

Généralités sur les pourritures des semences et la fonte des semis dans les grandes cultures	411
Maladies du maïs	412
Maladies des plantules de maïs	412
Maladies foliaires du maïs	413
Maladies du soya	422
Maladies des plantules	422
Maladies des feuilles et des tiges	425
Maladies des gousses et des semences	433
Maladies des fourrages	436
Maladies des plantules	436
Maladies foliaires	439
Maladies des céréales	441
Fonte des semis causée par Fusarium – Piétin fusarien	442
Maladies des feuilles et des tiges	444
Maladies de l'épi et du grain	449
Maladies de l'orge	454
Maladies de l'avoine	455
Maladies des haricots secs comestibles	456
Brûlures bactériennes	457
Maladies du canola	461

Annexes

Annexe A – Fournisseurs de matériel pour le dépistage d'insectes	465
Annexe B – Feuille de calcul des doses d'azote pour le maïs (unités métriques) et explications détaillées	466
Annexe C – Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario	468
Annexe D – Laboratoires d'analyse : aliments pour animaux, moisissures et mycotoxines	469
Annexe E – Laboratoires de dépistage du nématode à kyste du soya	469
Annexe F – Laboratoires offrant des tests de germination sur demande en Ontario	470
Annexe G – Réglementation des néonicotinoïdes en Ontario	471
Annexe H – Calculs afférents à la détermination du seuil de nuisibilité économique de la pyrale du maïs	474
Annexe I – Autres ressources	475
Annexe J – Longueur de rang équivalent à un millième d'acre	476
Annexe K – Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations d'ennemis à l'aide d'un cadre	476
Annexe L – Teneurs en eau, poids spécifiques et taux de semis des semences de céréales commerciales	477
Annexe M – Le Système international d'unités (système métrique)	478
Annexe N – Rapport de dépistage	481
Annexe O – Services de diagnostic	483

Tableaux

1. Maïs

Tableau 1-1 – Comparaison des effets de deux méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain.....	2
Tableau 1-2 – Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain.....	4
Tableau 1-3 – Travail du sol par bandes superficiel à l'automne en vue d'une culture de maïs après du blé d'automne (paille retirée)	4
Tableau 1-4 – Effets de trois méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain.....	6
Tableau 1-5 – Effets des méthodes de travail du sol sur les rendements du maïs cultivé après du blé d'automne	6
Tableau 1-6 – Effets de différentes quantités de paille de blé sur le rendement du maïs en semis direct	7
Tableau 1-7 – Équivalences approximatives entre trois systèmes de mesure de l'apport de chaleur pendant une saison de croissance	11
Tableau 1-8 – Dates recommandées pour cesser de semer des hybrides de pleine saison dans différentes zones d'unités thermiques de croissance	14
Tableau 1-9 – Poids spécifique du maïs-grain et probabilités d'impuretés	14
Tableau 1-10 – Rendement en grain prévu selon les dates de semis.....	15
Tableau 1-11 – Densité de peuplement selon l'espacement des semences.....	15
Tableau 1-12 – Stades végétatifs du maïs	18
Tableau 1-13 – Stades reproductifs du maïs	19
Tableau 1-14 – Comparaison des stades de croissance	20
Tableau 1-15 – Effets de l'écartement des plants et de la variabilité de la levée sur le rendement du maïs.....	20
Tableau 1-16 – Effets de la vitesse du semoir sur l'écart type par rapport à l'écartement voulu, la densité et le rendement du maïs	21
Tableau 1-17 – Rendement en grain prévu selon les densités de peuplement.....	23
Tableau 1-18 – Directives relatives aux apports d'azote selon la quantité d'azote des nitrates au printemps ($\text{NO}_3\text{-N}$)....	25

Tableau 1-19 – Directives relatives aux apports d'azote selon la quantité d'azote des nitrates avant l'épandage en bandes latérales ($\text{NO}_3\text{-N}$).....	26
Tableau 1-20 – Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour le maïs.....	30
Tableau 1-21 – Doses de potasse (K_2O) recommandées pour le maïs.....	31
Tableau 1-22 – Rendement moyen du maïs-grain et augmentation des profits résultant d'un épandage de phosphate à la volée et en bandes.....	32
Tableau 1-23 – Effet des épandages de potassium à la volée et de diverses options concernant les engrais de démarrage sur le rendement du maïs	33
Tableau 1-24 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le maïs.....	35
Tableau 1-25 – Températures maximales de l'air suggérées pour le séchage du maïs destiné à diverses utilisations	36
Tableau 1-26 – Teneur en eau à l'équilibre du maïs exposé à l'air.....	38
Tableau 1-27 – Risques estimatifs de baisse du rendement et de la qualité du maïs-grain associés aux dommages causés par le gel en fin de saison	41
Tableau 1-28 – Pourcentage estimatif de pertes de rendement du maïs-grain après une défoliation à divers stades de croissance	42

2. Soya

Tableau 2-1 – Rendement du soya selon la méthode de travail du sol	46
Tableau 2-2 – Effet du travail réduit du sol au printemps sur le rendement du soya.....	47
Tableau 2-3 – Effets du travail du sol et de la gestion des résidus de blé sur le rendement du soya	47
Tableau 2-4 – Effets du travail du sol et de la rotation sur le rendement du soya....	48
Tableau 2-5 – Dates de maturité physiologique du soya et nombre de jours avant sa maturité.....	49

Tableau 2-6 – Effets des dates de semis sur le rendement.....	54
Tableau 2-7 – Rendement d'un cultivar adapté par rapport à celui d'un cultivar de saison longue avec des semis précoces.....	54
Tableau 2-8 – Effet de l'écartement des rangs sur le nombre de jours avant la formation d'un couvert complet (semis en mai).....	56
Tableau 2-9 – Incidence de l'écartement des rangs sur le rendement.....	57
Tableau 2-10 – Rendements obtenus avec un semoir à céréales et un semoir de précision.....	58
Tableau 2-11 – Taux de semis recommandés pour le soya.....	58
Tableau 2-12 – Effets du traitement des semences sur la densité de peuplement et le rendement du soya ¹	60
Tableau 2-13 – Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits.....	61
Tableau 2-14 – Stades végétatifs du soya.....	64
Tableau 2-15 – Stades reproductifs du soya.....	65
Tableau 2-16 – Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour le soya.....	66
Tableau 2-17 – Doses de potasse (K_2O) recommandées pour le soya.....	66
Tableau 2-18 – Effet de l'application d'azote au printemps dans des sols à teneur faible sur le rendement du soya....	67
Tableau 2-19 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le soya.....	68
Tableau 2-20 – Teneur en eau à l'équilibre (% à l'état humide) du soya exposé à l'air.....	71
Tableau 2-21 – Pourcentage de perte de rendement des cultivars de soya indéterminés selon la surface foliaire endommagée et le stade de croissance.....	74

3. Cultures fourragères

Tableau 3-1 – Caractéristiques des espèces fourragères vivaces cultivées en Ontario.....	78
Tableau 3-2 – Mélanges suggérés pour le fourrage entreposé et le pâturage.....	84
Tableau 3-3 – Caractéristiques des cultures fourragères annuelles en Ontario ..	89
Tableau 3-4 – Taux de semis recommandés pour les peuplements de légumineuses et les peuplements de graminées purs.....	91

Tableau 3-5 – Doses d'azote recommandées sur les cultures fourragères vivaces ...	96
Tableau 3-6 – Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour les cultures fourragères.....	97
Tableau 3-7 – Doses de potasse (K_2O) recommandées pour les cultures fourragères.....	98
Tableau 3-8 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour la luzerne.....	99
Tableau 3-9 – Digestibilité et teneur en protéines de la luzerne et du brome à divers stades de maturité.....	102
Tableau 3-10 – Pertes potentielles à la fenaison.....	104
Tableau 3-11 – Guide des teneurs en eau à l'entreposage et poids approximatif des balles.....	106
Tableau 3-12 – Concentrations typiques des produits dérivés de la fermentation de l'ensilage (matière sèche)	115
Tableau 3-13 – Densités souhaitables des peuplements de luzerne.....	121

4. Céréales

Tableau 4-1 – Rendement du blé d'automne selon la méthode de travail du sol.....	124
Tableau 4-2 – Comparaison des semis de céréales de printemps sur sol gelé et sur sol sec.....	125
Tableau 4-3 – Comparaison de la quantité et de la qualité de la paille.....	127
Tableau 4-4 – Éléments nutritifs de la paille	128
Tableau 4-5 – Caractéristiques de diverses classes de céréales.....	129
Tableau 4-6 – Calcul du potentiel de rendement pour plusieurs densités de peuplement.....	137
Tableau 4-7 – Densités de peuplement recommandées pour les cultures céréalières.....	138
Tableau 4-8 – Calcul du taux de semis nécessaire en fonction de l'écartement des rangs pour atteindre la densité de peuplement visée	138
Tableau 4-9 – Calcul du taux de semis nécessaire en fonction du nombre de semences pour atteindre la densité de peuplement visée	138
Tableau 4-10 – Aspects de la gestion des cultures de blé après diverses cultures dans les rotations.....	140

Tableau 4-11 – Effets des régulateurs de croissance des plantes	141
Tableau 4-12 – Effets du fongicide en fonction de la date du traitement	142
Tableau 4-13 – Besoins en azote des cultures céréalières	144
Tableau 4-14 – Besoins en azote du blé de qualité pâtissière (dose d'azote la plus rentable).....	145
Tableau 4-15 – Augmentation de la teneur en protéines.....	145
Tableau 4-16 – Épandage d'azote à l'automne...	146
Tableau 4-17 – Directives relatives aux apports d'azote (dose la plus rentable) pour l'orge de printemps selon la teneur du sol en azote des nitrates	146
Tableau 4-18 – Pertes de rendement liées à des schémas d'épandage d'azote erronés	147
Tableau 4-19 – Le NAU comme support pour herbicides.....	148
Tableau 4-20 – Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour les céréales.....	149
Tableau 4-21 – Doses de potasse (K_2O) recommandées pour les céréales.....	149
Tableau 4-22 – Syndrome du rang de maïs.....	151
Tableau 4-23 – Effet de l'engrais de démarrage sur le rendement.....	151
Tableau 4-24 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour les céréales.....	153
Tableau 4-25 – Influence de la vitesse de rotation du ventilateur sur le rendement du blé.....	155
Tableau 4-26 – Débit d'air suggéré pour le séchage du blé à l'air ambiant et à basse température	157
Tableau 4-27 – Températures maximales de l'air recommandées pour le séchage du blé de meunerie et de semence	158
Tableau 4-28 – Teneur en eau à l'équilibre du blé tendre d'automne exposé à l'air.....	159

5. Haricots secs comestibles

Tableau 5-1 – Dates de semis recommandées .	166
Tableau 5-2 – Taux de semis pour les haricots blancs et noirs	167
Tableau 5-3 – Taux de semis pour les haricots colorés.....	167

Tableau 5-4 – Stades végétatifs et reproductifs des haricots secs comestibles...	170
Tableau 5-5 – Directives relatives au phosphate (P_2O_5) pour la culture des haricots secs comestibles	171
Tableau 5-6 – Directives relatives à la potasse (K_2O) pour la culture des haricots secs comestibles	172
Tableau 5-7 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux de haricots secs comestibles	172

6. Canola de printemps et d'automne

Tableau 6-1 – Taux de semis du canola	184
Tableau 6-2 – Nombre approximatif de degrés-jours de croissance requis pour que le canola de printemps atteigne divers stades de développement.....	187
Tableau 6-3 – Doses d'azote recommandées pour le canola de printemps	189
Tableau 6-4 – Directives relatives à l'épandage d'azote au printemps pour le canola d'automne (doses les plus profitables).....	189
Tableau 6-5 – Directives relatives au phosphate (P_2O_5) pour le canola	190
Tableau 6-6 – Directives relatives à la potasse (K_2O) pour le canola.....	190
Tableau 6-7 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le canola.....	192
Tableau 6-8 – Pourcentage de perte de rendement due à la destruction des ramifications pendant la floraison du canola.....	196

7. Autres cultures

Tableau 7-1 – Besoins en azote du sarrasin	201
Tableau 7-2 – Directives relatives au phosphate (P_2O_5) pour le sarrasin et le lin ...	201
Tableau 7-3 – Directives relatives à la potasse (K_2O) pour le sarrasin et le lin....	201
Tableau 7-4 – Taux de prélèvement des éléments nutritifs chez les cultivars de miscanthus commun récoltés à l'automne et hivernant cultivés en Ontario (Engbers 2012) et comparaison avec les données d'études	210
Tableau 7-5 – Directives relatives au phosphate (P_2O_5) pour le tournesol	214
Tableau 7-6 – Directives relatives à la potasse (K_2O) pour le tournesol.....	215

8. Gestion assurant la santé du sol

Tableau 8-1 – Effets du travail du sol et de la rotation sur le rendement du soya.....	223
Tableau 8-2 – Effet de la rotation des cultures et du travail du sol sur le rendement du maïs	224
Tableau 8-3 – Cultures couvre-sol recommandées selon leur fonction	226
Tableau 8-4 – Choix d'une culture couvre-sol ...	227
Tableau 8-5 – Caractéristiques des cultures couvre-sol cultivées en Ontario...	228
Tableau 8-6 – Teneur en matière organique de sols de différentes textures.....	233
Tableau 8-7 – Effets de l'apport de fumier pendant 11 ans sur la teneur en matière organique.....	234
Tableau 8-8 – Ratio carbone-azote de différentes matières organiques	235
Tableau 8-9 – Types de compactage du sol	239

9. Fertilité et éléments nutritifs

Tableau 9-1 – Analyses de sol reconnues par le MAAARO	250
Tableau 9-2 – Directives d'échantillonnage visant à tenir compte des éléments nutritifs appliqués en bandes	251
Tableau 9-3 – Capteurs servant à définir les zones de gestion et paramètres mesurés.....	252
Tableau 9-4 – Directives de chaulage pour les cultures de l'Ontario	256
Tableau 9-5 – Quantité de chaux nécessaire pour corriger l'acidité du sol en fonction du pH et du pH tampon	257
Tableau 9-6 – Exemple de calcul de la finesse de mouture de la chaux	257
Tableau 9-7 – Interprétation des résultats sur le manganèse.....	261
Tableau 9-8 – Interprétation des résultats sur le zinc	261
Tableau 9-9 – Réduction des besoins en azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses	263
Tableau 9-10 – Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques	263
Tableau 9-11 – Proportions approximatives d'azote ammoniacal par rapport à l'azote total par type de fumier.....	267

Tableau 9-12 – Estimation de la proportion (facteur) d'azote ammoniacal du fumier qui est préservée pendant l'année d'épandage.....	268
Tableau 9-13 – Estimation de l'azote biodisponible provenant de fumier épandu à la fin de l'été et à l'automne, sous forme de proportion (facteur) de l'azote total épandu.....	270
Tableau 9-14 – Interprétation des résultats d'analyses de fumier.....	270
Tableau 9-15 – Prélèvement moyen d'éléments nutritifs (N, P ₂ O ₅ , K ₂ O) par certaines grandes cultures	276
Tableau 9-16 – Calibrage des épandeurs de fumier.....	280
Tableau 9-17 – Densité de différents types de fumier	280
Tableau 9-18 – Engrais – Éléments nutritifs primaires et secondaires	282
Tableau 9-19 – Engrais – Éléments nutritifs secondaires et oligo-éléments ...	282
Tableau 9-20 – Densités des engrais liquides les plus répandus.....	283
Tableau 9-21 – Interprétation des résultats de conductivité du sol.....	285
Tableau 9-22 – Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais	286

10. Dépistage

Tableau 10-1 – Nombre de points d'échantillonnage recommandés selon la taille du champ et l'ennemi.....	292
Tableau 10-2 – Longueur de rang équivalant à un millièmètre d'acre	293
Tableau 10-3 – Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations d'ennemis à l'aide d'un cadre.....	294
Tableau 10-4 – Accumulations quotidiennes d'unités thermiques de croissance en fonction des températures maximale et minimale.....	297

12. Gestion des grains entreposés sur place

Tableau 12-1 – Temps requis pour que le front d'aération atteigne la surface du grain	307
Tableau 12-2 – Stratégies de lutte contre les insectes des grains entreposés sur place	309

13. Lutte contre les mauvaises herbes

Tableau 13-1 – Classement des cultures couvre-sol en fonction de leur efficacité contre les mauvaises herbes.....	314
Tableau 13-2 – Densité de peuplement de mauvaises herbes au printemps après le semis estival de différentes cultures couvre-sol.....	314
Tableau 13-3 – Période critique d'absence de mauvaises herbes dans les grandes cultures en Ontario.....	318
Tableau 13-4 – Pertes de rendement du maïs et du soya dues aux mauvaises herbes dans différentes conditions d'humidité du sol	318
Tableau 13-5 – Les 30 espèces de mauvaises herbes les plus courantes dans les cultures ontariennes de soya, de blé d'automne et de maïs selon un sondage auprès de conseillers en culture agréés mené en 2014	319
Tableau 13-6 – Pertes de rendement attribuables aux mauvaises herbes dans le soya et le maïs en fonction de densités de peuplement connues.....	320
Tableau 13-7 – Mauvaises herbes résistantes aux herbicides en Ontario en date de janvier 2016.....	321

15. Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures

Tableau 15-1 – Signes d'infestation dans les champs de maïs	354
Tableau 15-2 – Échelle des dommages aux nœuds de l'Université d'État de l'Iowa	365
Tableau 15-3 – Signes d'infestation dans les champs de soya	372
Tableau 15-4 – Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs du soya	380
Tableau 15-5 – Signes d'infestation dans les cultures fourragères.....	383
Tableau 15-6 – Seuils d'intervention contre la cicadelle de la pomme de terre dans la luzerne	390
Tableau 15-7 – Signes d'infestation dans les champs de céréales.....	391
Tableau 15-8 – Signes d'infestation dans les champs de haricots secs comestibles.....	397
Tableau 15-9 – Seuils d'intervention contre la cicadelle de la pomme de terre dans les haricots secs comestibles	398

Tableau 15-10 –Seuils de défoliation des haricots secs comestibles	400
Tableau 15-11 –Signes d'infestation dans les champs de canola.....	403

16. Maladies des grandes cultures

Tableau 16-1 – Risque de perte de rendement associé à différents niveaux de population de NKS (selon les résultats d'analyse du sol).....	428
Tableau 16-2 – Signes de pourriture brune des tiges, de chancre des tiges et de syndrome de la mort subite.....	430
Tableau 16-3 – Comparaison des principales rouilles des petites céréales en Ontario.....	447
Tableau 16-4 – Comparaison des virus s'attaquant aux céréales.....	448

Figures

Introduction

1. Maïs

- Figure 1-1 – Unités thermiques de croissance (UTC-M1) pour le maïs 10
- Figure 1-2 – Absorption de l'azote à différents stades de croissance du maïs (photo : DuPont Pioneer) 29
- Figure 1-3 – Calendrier de dépistage des ennemis du maïs.....39

2. Soya

- Figure 2-1 – Carte de la maturité relative du soya en Ontario 49
- Figure 2-2 – Effet de la détérioration des semences sur leur vigueur et leur pouvoir germinatif 52
- Figure 2-3 – Effets des taux de semis sur le rendement du soya.....57
- Figure 2-4 – Champ à peuplement réduit.....62
- Figure 2-5 – Calendrier de dépistage des ennemis du soya 73

3. Cultures fourragères

- Figure 3-1 – Drainage du sol requis par les espèces fourragères 82
- Figure 3-2 – Estimation des pertes de foin et d'ensilage préfané à la récolte et à l'entreposage..... 103
- Figure 3-3 – Calendrier de dépistage des ennemis des cultures fourragères..... 117
- Figure 3-4 – Début de la période critique de récolte d'automne pour la luzerne 118
- Figure 3-5 – Rendement potentiel de la luzerne selon le nombre de tiges par unité de surface..... 121

4. Céréales

- Figure 4-1 – Nombre de jours avant la levée selon la profondeur de semis 133
- Figure 4-2 – Stades de croissance des céréales 134
- Figure 4-3 – Rendement du blé d'automne à l'échelle de la province de 1981 à 2014..... 135

- Figure 4-4 – Dates de semis optimales du blé d'automne en Ontario 136
- Figure 4-5 – Configuration suggérée pour un système à buses doubles orientées avant-arrière..... 142
- Figure 4-6 – Effets du fongicide sur la réaction des cultures à l'azote 143
- Figure 4-7 – Effet du soufre sur le blé..... 152
- Figure 4-8 – Calendrier de dépistage des ennemis des cultures céréalières 160

5. Haricots secs comestibles

- Figure 5-1 – Calendrier de dépistage des ennemis des haricots secs comestibles..... 177

6. Canola de printemps et d'automne

- Figure 6-1 – Calendrier de dépistage des ennemis du canola..... 195

8. Gestion assurant la santé du sol

- Figure 8-1 – Effets sur le rendement de la rotation des cultures et de la monoculture de maïs au cours des années où les précipitations sont supérieures ou inférieures à la moyenne..... 224
- Figure 8-2 – Effet d'une rotation à long terme sur la teneur en carbone du sol 225
- Figure 8-3 – Effet de l'azote et de la santé du sol sur le rendement du maïs 225
- Figure 8-4 – Cercle vicieux de la dégradation du sol 237
- Figure 8-5 – Réservoirs de matière organique du sol 243
- Figure 8-6 – Variabilité des couches dans le sol..... 247

9. Fertilité et éléments nutritifs

- Figure 9-1 – Image infrarouge traitée pour montrer l'indice de végétation par différence en vert 253
- Figure 9-2 – Carte topographique de zones d'échantillonnage définies selon le relief..... 254

10. Dépistage

- Figure 10-1 – Schémas de dépistage..... 293
- Figure 10-2 – Exemple de carte créée avec
les Agri Cartes de l'Ontario
(ontario.ca/agricartes) 298

11. Agriculture de précision

- Figure 11-1 – Application d'azote à taux variable
en temps réel au moyen de capteurs
optiques installés sur un doseur
d'engrais Y-Drop. Les capteurs
GreenSeekerMC utilisés pour
la culture du blé et du maïs sont
encerclés en rouge sur la rampe.... 301
- Figure 11-2 – Captures d'écran comparant
des bandes et des blocs
où a été appliqué un taux
variable d'azote 303

12. Gestion des grains entreposés sur place

- Figure 12-1 – Manomètre de fabrication
artisanale 305

13. Lutte contre les mauvaises herbes

- Figure 13-1 – Résultats des différentes méthodes
d'application d'engrais azotés après
l'étude menée sur quatre années
consécutives 315
- Figure 13-2 – Pertes de rendement attribuables
à la concurrence des mauvaises
herbes dans les grandes cultures ... 317

15. Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures

- Figure 15-1 – Cycles biologiques et périodes
d'alimentation des principaux
asticots (hanneton européen,
hanneton commun et scarabée
japonais); les zones ombrées
indiquent les stades nuisibles ... 344
- Figure 15-2 – Défoliation du soya due aux
insectes défoliateurs..... 380
- Figure 15-3 – Pertes de rendement en fonction
de la défoliation des petits
haricots ronds blancs
Source : Schaafsma et
Ablett, 1994..... 399

1. Maïs

Le maïs est largement cultivé dans tout le Sud de l'Ontario. Au cours des années 2004 à 2015, la superficie moyenne consacrée au maïs-grain était de 769 000 ha (1,9 million d'acres), avec un rendement moyen de 9,53 t/ha (152 bo/ac). Le maïs à ensilage destiné à l'alimentation animale occupe 118 000 ha (0,3 million d'acres). Le maïs-grain cultivé dans la province est destiné soit à l'alimentation animale (55 %), soit à des usages industriels (45 %).

Travail du sol

Pour produire du maïs en Ontario, il faut tenir compte de la texture du sol et du type de rotation des cultures. Parmi les facteurs qui pèsent dans le choix de la méthode de travail du sol, notons le risque d'érosion, la disponibilité du matériel et de la main-d'œuvre, et l'effet sur la santé du sol. Les sols sont généralement saturés au début du printemps, et il faut qu'ils s'assèchent rapidement pour permettre d'effectuer les semis assez tôt. Employé à bon escient, le travail du sol a pour effet de l'ameublir, ce qui lui permet de sécher plus rapidement au printemps. Il améliore également le drainage et réduit la couche de résidus, ce qui accroît la vitesse d'évaporation.

Pour assurer la conservation du sol et réduire son érosion dans les champs de maïs, il faut que la surface soit recouverte à 30 % de résidus de culture ou d'une culture couvre-sol, et ce, durant toute l'année.

Texture et drainage du sol

En Ontario, le travail du sol améliore peu le rendement sur les sols à texture grossière (sable, loam sableux et sable loameux) qui se drainent bien (classe « drainage rapide » ou « drainage bon »), même dans le cas de cultures qui laissent une importante couche de résidus, comme le maïs-grain ou les céréales. Par contre, sur les sols à texture lourde où le drainage est relativement lent, le travail du sol peut accélérer de

façon importante l'assèchement et le réchauffement du sol, ce qui permet de faire les semis assez tôt et d'obtenir une levée rapide et uniforme. Le tableau 1-1, *Comparaison des effets de deux méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain*, résume les résultats des recherches effectuées en Ontario sur le travail du sol dans les cultures de maïs après une récolte de maïs-grain ou de céréales; ces résultats ont été regroupés selon la texture du sol. Après une culture de céréales, de maïs-grain ou de soya sur des sols à texture moyenne ou fine, cette opération a permis des gains de rendement dans environ 70 % des cas avec une moyenne de 5 à 7 %.

Rotation des cultures

Un bon système de rotation des cultures peut remplacer un important effort de travail du sol. Le tableau 1-1 résume les résultats des recherches qui ont été effectuées en Ontario sur le travail du sol; ces résultats concernent des sols à texture moyenne ou fine et ont été regroupés selon la nature de la culture précédente. Voici ce qui a été généralement observé :

- Après des cultures fourragères, le travail du sol ne permet qu'un faible gain de rendement du maïs. L'inclusion de cultures fourragères dans la rotation améliore la structure du sol et l'ameublissement parfois assez pour permettre de ne pas le travailler.
- Dans les systèmes de semis direct, le gain de rendement relativement faible produit par le travail du sol après une culture de soya (plutôt qu'après des céréales ou du maïs-grain) s'explique en partie par les quantités moindres de résidus qui sont laissées sur place.
- En présence d'importantes quantités de résidus, le sol peut rester plus frais au début de la saison, ce qui retarde les semis, ralentit la croissance du maïs et réduit le potentiel de rendement. Après une culture de céréales ou de maïs-grain sur des sols à texture moyenne ou fine, le travail du sol s'est accompagné de gains de rendement du maïs dans 75 % des cas avec une moyenne de 5 à 9 %.

Autres facteurs en faveur du travail du sol

Outre l'accélération de l'assèchement, d'autres facteurs jouent en faveur du travail du sol pour les cultures de maïs :

- Meilleure uniformité du lit de semence, qui permet au semoir de donner des résultats plus réguliers et donne une levée plus égale;
- Incorporation de l'engrais ou du fumier épandu en surface, ce qui améliore la disponibilité ou l'absorption des éléments nutritifs;
- Élimination ou incorporation des résidus de mauvaises herbes ou de cultures susceptibles d'héberger des insectes nuisibles et de faciliter leur multiplication;
- Réduction du compactage du sol.

Méthode traditionnelle

La méthode traditionnelle de travail du sol en Ontario consiste à passer la charrue à socs à l'automne, puis à travailler superficiellement le sol au printemps, habituellement à l'aide d'un cultivateur ou d'un pulvérisateur tandem. La plupart du temps, le labour se fait à une profondeur de 15 cm (6 po), car si le sol est travaillé plus profondément, le sous-sol se mélange souvent au lit de semence, ce qui n'est pas souhaitable. Plus un champ est uniforme et nivelé après le labour d'automne, plus il est possible de réduire les coûts

du travail superficiel du sol et d'améliorer l'efficacité du semoir. La méthode traditionnelle ne laisse pas suffisamment de résidus à la surface du sol, lequel est donc davantage exposé à l'érosion éolienne et hydrique. Sur les terres présentant de nombreuses pentes, le simple fait de travailler le sol risque de provoquer le déplacement de grandes quantités de terre arable vers le bas.

Travail réduit du sol à l'automne

Le chisel, la défonceuse à disques et le pulvérisateur (tandem ou déporté) sont les outils de travail réduit du sol les plus couramment utilisés à l'automne en Ontario. Des essais menés en Ontario ces 20 dernières années ont démontré de façon générale que, pour la production de maïs, le passage des disques prépare mieux le sol et permet un meilleur rendement que le passage du chisel. Le tableau 1-2, *Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain*, résume les résultats de ces essais.

Le travail avec un chisel pourvu de dents vrillées laisse parfois un sol mal nivelé, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires au moment des passages suivants, donner des lits de semence inégaux et provoquer à l'occasion un assèchement excessif. L'utilisation de socs bineurs sur la totalité ou sur une partie du chisel permet d'éviter certains de ces

Tableau 1-1 – Comparaison des effets de deux méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain

Comparaison	Type	Nombre de sites	Semis direct	Charrue à socs	Gain de rendement	Charrue à socs, gain:perte
Texture du sol ¹	Grossière	11	8,22 t/ha (131 bo/ac)	8,16 t/ha (130 bo/ac)	-0,9 %	45:55
	Moyenne	79	8,66 t/ha (138 bo/ac)	9,16 t/ha (146 bo/ac)	5,6 %	72:28
	Fine	42	8,60 t/ha (137 bo/ac)	9,16 t/ha (146 bo/ac)	6,5 %	71:29
Culture précédente ²	Cultures fourragères	13	8,84 t/ha (141 bo/ac)	8,91 t/ha (142 bo/ac)	0,7 %	54:46
	Soya	50	8,98 t/ha (143 bo/ac)	9,04 t/ha (144 bo/ac)	0,9 %	56:44
	Céréales (paille mise en balles)	75	9,23 t/ha (147 bo/ac)	9,60 t/ha (153 bo/ac)	4,1 %	71:29
	Maïs-grain	49	7,72 t/ha (123 bo/ac)	8,41 t/ha (134 bo/ac)	9,1 %	76:24

Source : Base de données Tillage Ontario, 2008 (www.tillageontario.com).

¹ Essais effectués sur des sols à texture moyenne ou fine après diverses cultures (1982-2007).

² Essais effectués après une culture de céréales (paille mise en balles) ou de maïs-grain (1982-2007).

problèmes. Cela vaut également pour l'ajout d'une barre niveleuse ou de herse à l'arrière du chisel, ou pour un travail superficiel du sol effectué au printemps. Ces méthodes devraient être envisagées pour tout travail réduit du sol à l'automne. Le fait de laisser une surface bien nivelée à l'automne permet de faire les semis par un seul passage au printemps (sans travail superficiel du sol). Cette technique permet de réduire le coût du travail du sol et d'améliorer la structure du sol. Souvent, à l'automne, le sol est laissé en mauvais état, si bien qu'au printemps, il faut effectuer plusieurs passages pour préparer le champ à recevoir les semences.

Le travail réduit du sol à l'automne devrait donner une surface suffisamment lisse pour limiter le travail superficiel du sol au printemps.

Travail du sol vertical

Le travail du sol vertical sert à réduire le compactage et l'effet de lissage pouvant être causé par la machinerie qui travaille la terre à l'horizontale. Beaucoup d'outils à cet effet visent à réduire les résidus en fragments plus petits et à les répartir, mais leur utilisation brise la structure du sol dans une certaine mesure et mélange les résidus à la surface au reste du sol (voir photo 1-1). Parmi les outils traditionnels de travail du sol vertical, on compte notamment les dents (paraboliques ou droites), généralement dépourvues de socs bineurs ou d'extensions, et les coutres droits ou ondulés qui sont parallèles au sens de la marche. En réalité, divers outils pour le travail du sol conviennent au travail du sol vertical, même s'ils comportent des disques légèrement concaves, des socs bineurs bas et de grandes herse qui travaillent davantage le sol, car ils respectent le principe de cette méthode, et ce, sans retourner ou lisser le sol de façon importante.



Photo 1-1 – Outils de travail du sol vertical qui brisent légèrement la structure du sol et le mélangent aux résidus

Voici les trois types d'usages pour lesquels les outils de travail du sol vertical sont les plus efficaces dans les champs de maïs :

- 1) Le travail superficiel du sol quand un travail réduit du sol a été effectué l'automne précédent;
- 2) La gestion des résidus en un seul passage et la préparation du lit de semence pour le maïs quand il y a moins de résidus (p. ex. après le soya ou après le blé d'automne lorsque la paille est retirée);
- 3) La gestion des résidus et travail superficiel du sol pour une rotation maïs et maïs quand on peut effectuer un travail du sol vertical une première fois à l'automne et une deuxième fois au printemps.

Travail réduit du sol au printemps

Le meilleur moyen de réduire l'érosion et les coûts des intrants consiste à ne pas travailler le sol à l'automne. Certains producteurs hésiteront peut-être à opter pour cette solution dans le cas de sols à texture fine où une culture de maïs ou de blé, par exemple, a laissé de grandes quantités de résidus. Par contre, après une culture de soya, le travail du sol à l'automne présente peu d'avantages dans la plupart des champs de l'Ontario. Le tableau 1-2, *Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain*, montre que même dans un sol à texture fine, lorsque le maïs suit le soya dans la rotation, il suffit généralement de travailler le sol uniquement au printemps (deux passages de cultivateur). D'autres essais de démonstration effectués sur des sols à texture moyenne ou grossière ont mené à la même conclusion. Par l'expérience, les producteurs ont découvert que le travail réduit de sols non dérangés au printemps engendre de meilleurs résultats lorsqu'ils utilisent des dents à haut dégagement, des dents étroites ou des socs d'enterrage, ou passent un rouleau en même temps que le cultivateur.

Lorsque le maïs suit le soya, le surplus de maïs obtenu grâce au travail du sol à l'automne ne compense pas les coûts découlant de cette pratique.

Tableau 1-2 – Effets des méthodes de travail du sol employées à l'automne sur le rendement du maïs-grain

Les parcelles travaillées à la charrue à socs et au chisel ont été soumises à un travail superficiel au printemps; les parcelles travaillées uniquement au pulvérisateur tandem à l'automne ont été directement ensencées au printemps, sans travail superficiel du sol.

Endroit	Comté	Sol	Culture précédente	Nombre d'années	Méthode de travail du sol		
					Charrue à socs	Chisel	Uniquement le pulvérisateur tandem à l'automne
Alvinston	Lambton	Argile	Soya	3	5,96 t/ha (95 bo/ac)	5,39 t/ha (86 bo/ac)	5,71 t/ha (91 bo/ac)
Fingal	Elgin	Loam limono-argileux	Soya	3	9,97 t/ha (159 bo/ac)	9,66 t/ha (154 bo/ac)	9,66 t/ha (154 bo/ac)
Centralia	Huron	Loam limoneux	Blé (paille mise en balles)	3	9,16 t/ha (146 bo/ac)	8,72 t/ha (139 bo/ac)	8,84 t/ha (141 bo/ac)
Wyoming	Lambton	Loam limono-argileux	Blé (paille mise en balles)	3	9,97 t/ha (159 bo/ac)	9,72 t/ha (155 bo/ac)	9,85 t/ha (157 bo/ac)
				Moyenne	8,78 t/ha (140 bo/ac)	8,41 t/ha (134 bo/ac)	8,53 t/ha (136 bo/ac)

Source : T. Vyn, K. Janovicek, D. Hooker et G. Opuku, Université de Guelph.

Travail du sol par bandes superficiel à l'automne

La méthode de travail du sol d'automne limitée à des bandes étroites destinées à recevoir les rangs de maïs l'année suivante suscite énormément d'intérêt depuis quelques années. On prépare des bandes de sol en les ameublissant, en les décalant par rapport aux rangs précédents, en les débarrassant des résidus et souvent en les surélevant quelque peu, tout en laissant le reste du champ couvert de résidus de culture qui le protègent. Le printemps suivant, ces bandes sont plus sèches et moins denses, et se prêtent mieux au semis direct.

Le tableau 1-3, *Travail du sol par bandes superficiel à l'automne en vue d'une culture de maïs après du blé d'automne (paille retirée)*, résume les résultats d'une étude menée en Ontario qui compare l'emploi d'un outil de travail par bandes superficiel en profondeur Trans-till avec les systèmes traditionnel et de semis direct sur des chaumes de blé d'automne. Les données obtenues montrent que sur les sols à texture fine, le travail du sol par bandes superficiel à l'automne donnait généralement de meilleurs rendements que le semis direct. Le travail par bandes superficiel à l'automne n'a produit des rendements égaux à ceux du système traditionnel (charrue à socs) qu'à Wyoming. Des recherches menées par la suite ont corroboré les résultats qui apparaissent au tableau 1-3 : sur les sols à texture fine après une culture de blé, le travail du sol par bandes superficiel à l'automne donne généralement des rendements de maïs supérieurs à ceux du semis direct et égaux à ceux des méthodes traditionnelles.

Selon les recherches, sur des sols à texture moyenne ou après une culture de soya, les méthodes de travail du sol par bandes superficiel à l'automne ne produisent pas régulièrement de meilleurs rendements que le semis direct.

Tableau 1-3 – Travail du sol par bandes superficiel à l'automne en vue d'une culture de maïs après du blé d'automne (paille retirée)

Méthode de travail du sol	Humidité du sol au début de mai	Rendement	
		Sol à texture fine	Sol à texture moyenne
Charrue à socs à l'automne	23,3 %	9,97 t/ha (159 bo/ac)	9,22 t/ha (147 bo/ac)
Travail du sol par bandes en profondeur à l'automne	25,6 %	9,97 t/ha (159 bo/ac)	8,72 t/ha (139 bo/ac)
Semis direct	29,8 %	9,35 t/ha (149 bo/ac)	8,47 t/ha (135 bo/ac)

Source : T. J. Vyn, 1997, Université de Guelph.

Les mesures de taux d'humidité effectuées sur ces mêmes parcelles montraient généralement qu'au début du mois de mai, là où l'on avait travaillé le sol par bandes à l'automne, celui-ci était constamment plus sec que dans les parcelles de semis direct qui n'avaient pas été touchées (voir tableau 1-3). Les essais effectués côte à côte n'ont pas permis de démontrer la supériorité systématique du travail du sol par bandes superficiel à l'automne, mais cette méthode est souvent

plus avantageuse là où il y a de vastes superficies de sols mal drainés ou recouverts d'une épaisse couche de résidus; en effet, elle permet de hâter les semis, de rendre la levée plus uniforme et d'accélérer la croissance du maïs. Là où le travail du sol par bandes superficiel à l'automne donnait de moins bons résultats que les méthodes traditionnelles, le travail par bandes superficiel au printemps a permis d'accroître les rendements.

Le travail du sol par bandes superficiel permet également d'épandre les engrais par bandes alors que dans une culture en semis direct, l'application doit se faire à la volée. L'épandage d'engrais à l'aide de la méthode de travail du sol par bandes superficiel remplace aussi parfois l'application d'engrais de démarrage au semoir. L'épandage de phosphore et de potassium sur des sols travaillés par bandes à l'automne peut générer des rendements supérieurs à ceux de cultures en semis direct où un volume similaire d'engrais a été appliqué à la volée. Cependant, dans les méthodes de travail du sol par bandes superficiel, l'épandage de phosphore (P) et de potassium (K) par bandes à l'automne donnait généralement des rendements moins élevés que l'épandage au semoir, en particulier là où les teneurs en phosphore et en potassium étaient moyennes ou faibles.

Travail du sol par bandes superficiel au printemps

Le travail du sol par bandes superficiel au printemps permet de préparer des lits de semence à texture fine et sans résidus qui sont propices à l'utilisation d'un semoir à maïs. Cette méthode est utilisée la plupart du temps dans des sols à texture fine, mais peut parfois convenir à des sols à texture moyenne bien drainés. En général, elle est appliquée au maximum de 6 à 12 heures avant l'utilisation du semoir pour éviter que la zone de germination s'assèche trop. Cette méthode sert aussi à appliquer une partie ou la totalité des amendements d'azote (N), de phosphore et de potassium dont les cultures de maïs ont besoin. Pour éviter de brûler les semences ou les plantules avec l'engrais, on peut :

1. réduire la quantité d'engrais en suivant les doses sûres prescrites pour l'épandage en bandes au semoir qui figurent dans le tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, au chapitre 9;
2. répartir l'engrais dans toute la bande pour éviter qu'il soit plus concentré à certains endroits;
3. utiliser des engrais qui risquent moins d'entraîner des dommages par le sel ou l'ammoniac (p. ex. l'urée enrobée de polymère). En employant une méthode qui permet l'épandage d'engrais, on peut réduire le coût et la complexité du semoir à maïs traditionnel utilisé pour le travail de conservation du sol, notamment car la pression sur le semoir est réduite et les coutres, les tasse-résidus et les engrais secs ne sont plus nécessaires.

Sur le plan de la conservation des sols, le travail du sol par bandes superficiel au printemps a aussi l'avantage d'éliminer des bandes présentes à l'automne qui peuvent faire passer l'eau et être susceptibles à l'érosion, si elles se trouvent en haut et en bas d'une pente. De plus, il est possible de limiter encore plus l'érosion en utilisant un système de localisation GPS pour dessiner des bandes qui suivent le contour des champs en pente, que ce soit pour le travail du sol à l'automne ou au printemps (voir photo 1-2).

Travail du sol en profondeur

Avec l'accroissement de la charge par essieu des machines agricoles, et comme de façon générale les sols sont de plus en plus compactés, la méthode du travail en profondeur est de plus en plus employée. La raison qui est le plus souvent invoquée en faveur de cette méthode est que l'ameublissement des couches de sous-sol compacté et l'élimination des semelles de labour favorisent une croissance rapide et profonde des racines tout en améliorant le drainage. Cependant, en Ontario, les sous-sols qui sont ameublés par le travail en profondeur sont souvent compactés de nouveau au passage de la machinerie. De plus, comme cette opération détruit les pores naturels créés par les vers et les racines des cultures précédentes, les sols ainsi travaillés et sur lesquels passe la machinerie pourraient finalement être moins bien drainés et moins favorables à la croissance des racines.



Photo 1-2 – Travail du sol par bandes superficiel effectué à l'aide d'un GPS sur le contour du champ et qui permet de limiter l'érosion

En Ontario, le travail du sol en profondeur à la défonceuse à disques (30 à 35 cm ou 12 à 14 po) est maintenant beaucoup plus employé. Le tableau 1-4, *Effets de trois méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain*, résume les résultats d'une étude d'évaluation des gains de rendement obtenus avec cette méthode sur des sols de texture moyenne. Sur ces sols productifs, et en présence de peu de signes de compaction importante du sous-sol, les gains de rendement étaient peu importants et l'avantage économique était inexistant par rapport à une méthode de travail par bandes superficiel sur environ la moitié de la profondeur. Après une culture de blé, les méthodes de travail du sol à la défonceuse à disques et par bandes à l'automne ont donné des rendements supérieurs de 5 % à ceux du semis direct; cependant on obtenait un gain tout aussi important en effectuant à l'automne un travail du sol par bandes superficiel à une profondeur d'environ la moitié de celle obtenue avec la défonceuse à disques. Chez certains producteurs, le travail du sol en profondeur a donné de bons résultats dans des endroits mal drainés ou très compactés (p. ex. tournières). En Ontario, souvent, cette opération n'est nécessaire que dans les parties de champs ou dans les champs très mal drainés ou très compactés.

Tableau 1-4 – Effets de trois méthodes de travail du sol sur le rendement du maïs-grain

Les essais ont été effectués sur des sols à texture moyenne (loam ou loam limoneux) après des cultures de soya (quatre endroits) et de blé d'automne (huit endroits) (2002-2005).

Travail du sol	Soya	Blé
Défonceuse à disques à l'automne 30 à 35 cm (12 à 14 po)	9,73 t/ha (155 bo/ac)	9,73 t/ha (155 bo/ac)
Travail du sol par bandes superficiel à l'automne 15 à 20 cm (6 à 8 po)	9,48 t/ha (151 bo/ac)	9,73 t/ha (155 bo/ac)
Semis direct	9,54 t/ha (152 bo/ac)	9,29 t/ha (148 bo/ac)

Source : Base de données Tillage Ontario, 2008 (www.tillageontario.com).

Il semble également que le travail du sol par bandes superficiel permette de réduire la compaction du sol et d'améliorer le drainage au moyen du travail en profondeur. Dans certains cas, on suggère de travailler le sol à une profondeur pouvant atteindre 30 à 35 cm (12 à 14 po). Des chercheurs ont mis à l'essai cette méthode de travail du sol par bandes sur des sites voisins de Granton et Ridgetown. Le tableau 1-5, *Effets des méthodes de travail du sol sur les rendements du maïs cultivé après du blé d'automne*, montre qu'un ameublissement profond n'a apporté aucun gain de rendement, ou un gain qui ne compense pas les coûts

de cette opération. Le recours au travail du sol par bandes superficiel en vue d'un labour en profondeur a l'avantage d'éviter le passage de la machinerie sur les bandes jusqu'à la prochaine récolte, ce qui laisse au sol le temps de se stabiliser avant le prochain passage.

Tableau 1-5 – Effets des méthodes de travail du sol sur les rendements du maïs cultivé après du blé d'automne

Méthode de travail du sol	Granton (loam / loam argileux)	Ridgetown (loam argileux)
Charrue à socs à l'automne	11,35 t/ha (181 bo/ac)	7,78 t/ha (124 bo/ac)
Travail du sol par bandes en profondeur à l'automne 30 cm (14 po)	10,79 t/ha (172 bo/ac)	8,15 t/ha (130 bo/ac)
Semis direct (3 coutres)	10,73 t/ha (171 bo/ac)	7,65 t/ha (122 bo/ac)
Semis direct (tasse-résidus)	10,85 t/ha (173 bo/ac)	7,78 t/ha (124 bo/ac)

Source : T. Vyn, B. Deen, K. Janovicek, Université de Guelph, D. Young, Université de Guelph, campus de Ridgetown (1998-2000).

Semis direct

Dans les cultures en semis direct, il n'y a aucun travail du sol des lits de semence. Immédiatement avant le passage de l'ouvre-sillon, on ameublit le sol de façon superficielle sur une bande étroite avec un coutre ou des tasse-résidus montés sur le semoir. La production culturale par semis direct repose en partie sur l'utilisation efficace de nouvelles méthodes de gestion des champs (pouvant comprendre ou non de nouvelles techniques de production) qui compensent ce que procure le travail du sol en d'autres circonstances. Pour réussir une culture de maïs en semis direct, il est important de tenir compte des aspects suivants :

- Drainage du sol;
- Rotation des cultures;
- Gestion des résidus;
- Lutte contre les mauvaises herbes;
- Lutte contre les insectes et les maladies;
- Mise en place des engrais;
- Compactage du sol.

Drainage du sol

Dans les systèmes de semis direct, en l'absence d'un travail qui ameublit le sol et y incorpore les résidus, les champs s'assèchent moins vite au printemps. Cela peut

avoir pour effet de retarder les semis et même de réduire le nombre de jours disponibles pour la mise en terre. Dans de nombreux types de sols de l'Ontario, il faut un bon système de drainage si l'on veut avoir des chances raisonnables de mettre en terre une culture de maïs par semis direct dans un bon lit de semence et assez tôt pour que la croissance des racines se fasse rapidement et en profondeur. Il devient souvent évident pour les producteurs que le semis direct est très difficile à réussir dans les sols à texture fine en l'absence d'un réseau complet de drainage souterrain. Si le réseau de drainage est insuffisant dans ce type de sol, il faudra souvent effectuer un travail du sol sous une forme ou une autre à l'automne pour maximiser le potentiel de rendement.

Rotation des cultures

En Ontario, pour la culture du maïs, le semis direct produit généralement des rendements comparables à ceux des méthodes avec travail du sol après des cultures laissant peu de résidus comme le soya, les haricots secs comestibles et les plantes fourragères récoltées sous forme de foin ou d'ensilage préfané. L'accumulation de résidus en surface peut ralentir l'assèchement des sols ayant un drainage naturel relativement lent, ce qui empêche d'ensemencer assez tôt pour permettre une croissance racinaire rapide, précoce et profonde. Après une culture fourragère, la structure du sol se trouve améliorée et les vers de terre sont plus actifs, ce qui peut contribuer au succès de la production de maïs par semis direct.

Sur les sols à texture moyenne ou fine, après des cultures qui laissent de grandes quantités de résidus, la production de maïs par semis direct atteint difficilement un rendement optimal, même si les autres composantes de la production ont été prises en compte.

Après des cultures laissant beaucoup de résidus (p. ex. maïs-grain, céréales), si l'on décide de ne pas retirer ces derniers, il sera probablement nécessaire d'effectuer un certain travail du sol pour pouvoir semer tôt et maximiser le potentiel de rendement.

Gestion des résidus

Pour réduire les coûts du travail du sol, accroître le bénéfice net et améliorer la santé à long terme du sol, il faut faire des choix sur le meilleur mode de gestion des résidus de culture, notamment la paille de blé. Pour une culture de maïs par semis direct ou par travail réduit du sol après du blé, il faut débarrasser le champ de la paille. Le tableau 1-6, *Effets de différentes quantités de paille de blé sur le rendement du maïs en*

semis direct, indique les rendements de maïs obtenus au cours d'essais portant sur le travail du sol; trois différentes quantités de paille ont été laissées sur le champ, et le maïs a été semé sans travail du sol l'année suivante. Si l'on enlève la paille des champs de maïs, surtout après des cultures de blé à fort rendement et sur des sols à texture lourde, le semis direct est plus susceptible de donner un rendement égal à celui obtenu sur des sols travaillés à la charrue à socs à l'automne.

Tableau 1-6 – Effets de différentes quantités de paille de blé sur le rendement du maïs en semis direct

Méthode de travail du sol / quantité de paille ^{1,2}	Rendement
Semis direct, paille et chaume entièrement laissés sur place	9,16 t/ha (146 bo/ac)
Semis direct, paille en balles mais chaume laissé sur place	9,35 t/ha (149 bo/ac)
Semis direct, paille en balles et chaume coupé et enlevé	9,91 t/ha (158 bo/ac)
Charrue à socs, paille en balles mais chaume laissé sur place	9,97 t/ha (159 bo/ac)

Source : T. Vyn, G. Opuku et C. Swanton, Université de Guelph.

¹ Moyenne de 1994-1996, Wyoming (Ontario).

² Le chaume atteignait des hauteurs d'environ 20 à 30 cm (8 à 12 po), sauf dans les parcelles où il avait été coupé et enlevé.

Quand il est impossible d'ôter la paille, il faut impérativement l'étaler de manière uniforme, avec la paillette, pour que les méthodes de semis direct ou de travail réduit du sol donnent de bons résultats avec le maïs. Même lorsque la paille est laissée en andains groupés, il faut étaler la paillette aussi uniformément que possible pendant le moissonnage-battage. Lorsque le printemps est frais et pluvieux, les plaques épaisses de résidus de blé en décomposition empêchent le sol de se réchauffer, ralentissent la croissance, attirent les limaces et entraînent ainsi souvent des pertes de rendement, ce qu'un étalement uniforme aide à éviter.

L'incorporation de toute la paille peut être plus avantageuse que la pratique du travail réduit du sol. Sur les exploitations agricoles où le potentiel d'érosion est plus élevé, l'adoption d'une méthode de travail réduit du sol, même si elle oblige à retirer une partie de la paille, est probablement plus viable. Une autre solution est d'opter pour une méthode qui soumet les champs de blé à un léger travail du sol et qui incorpore partiellement la paille tout en laissant une bonne protection à la surface.

Des chercheurs ont étudié les effets des apports d'azote visant à accélérer la dégradation de la paille. Il ressort de ces travaux qu'après un épandage d'azote sur la paille de blé à l'automne, celle-ci ne se décomposait pas plus vite. En outre, au printemps suivant, les teneurs en azote du sol n'étaient pas plus élevées que dans les autres parcelles.

Lutte contre les mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes est primordiale si l'on veut que le maïs donne un rendement optimal. Dans les cultures en semis direct, on devra parfois intensifier les efforts de lutte contre les mauvaises herbes vivaces et les nouvelles espèces apparues à la suite d'un changement dans les peuplements de plantes adventices. Les traitements de destruction chimique en présemis au printemps sont essentiels pour permettre à la culture de se développer sans subir la pression des mauvaises herbes pendant les premiers stades de croissance, qui sont décisifs.

Lutte contre les insectes et les maladies

Le travail du sol peut contribuer à lutter contre certains animaux nuisibles et certaines maladies, voire à les éliminer. Les mauvaises herbes, les repousses des cultures précédentes et certaines cultures couvre-sol laissées à la surface du sol en hiver et au début du printemps peuvent attirer les insectes nuisibles. Les mauvaises herbes basses telles que le céraiste vulgaire sont des sites de ponte idéaux pour les noctuelles ipsilon qui arrivent du Sud des États-Unis au début du printemps. Les pucerons qui envahissent les céréales peuvent transmettre les virus présents dans le blé spontané aux nouveaux plants de céréales. Si le maïs est semé dans une culture couvre-sol de seigle, il risque davantage d'être envahi par des légionnaires. Pour éviter les invasions d'animaux nuisibles, il faut prendre des mesures efficaces de lutte contre les mauvaises herbes et de gestion des cultures couvre-sol en appliquant de l'herbicide à l'automne et en travaillant le sol au début du printemps, au moins trois semaines avant les semis. Le travail du sol peut contribuer à réduire les populations de vers fil-de-fer et d'asticots, car il permet de les amener à la surface où ils sont exposés à leurs ennemis naturels. Il faut toutefois faire preuve de jugement : plusieurs passages sont nécessaires, et le résultat n'est pas garanti. Le travail du sol peut même augmenter le risque d'infestation d'une espèce nuisible en particulier, la mouche des légumineuses, si des mauvaises herbes, du fumier ou des cultures couvre-sol sont incorporés au sol peu de

temps avant les semis. L'incorporation doit avoir lieu au moins trois semaines avant les semis pour que les mouches adultes ne soient plus attirées par les végétaux en décomposition.

Certaines maladies ont davantage tendance à se développer lorsqu'on utilise un système de semis direct, puisque le travail du sol peut être d'un certain secours dans ce domaine. En effet, il permet au sol de se réchauffer et de s'assécher rapidement, ce qui réduit le risque de maladies des plantules. Plusieurs maladies responsables des pourritures de la tige peuvent également être évitées avec le travail du sol, même si, dans certains cas, c'est la rotation des cultures et le choix des hybrides qui contribuent le plus à les prévenir.

Pour en savoir plus sur les insectes nuisibles et les maladies qui touchent le maïs, lire le chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et le chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*.

Mise en place des engrais

Dans les champs soumis pendant longtemps au semis direct, il peut se produire une stratification des éléments nutritifs (concentration près de la surface du sol). La mise en place des engrais est d'autant plus importante que cette méthode ne permet pas d'incorporer ou de mélanger au sol les engrais secs.

D'après des études menées en Ontario et dans le Corn Belt des États-Unis, l'épandage de phosphore et de potassium sous forme d'engrais de démarrage en bande a eu des effets similaires au travail à la charrue à socs à l'automne sur le rendement des systèmes de semis direct, notamment là où les teneurs en potassium étaient moyennes ou faibles. Dans la méthode de semis direct, l'épandage de phosphore et de potassium en bandes au semoir a donné de meilleurs résultats que l'épandage de surface à la volée. Cependant, sur les sites peu fertiles, il peut être nécessaire de combiner l'épandage à la volée et au semoir en bandes pour maximiser les rendements obtenus par semis direct.

Dans les systèmes de semis direct, les sols sont plus frais et moins bien aérés, et la minéralisation de l'azote est souvent plus lente que dans les systèmes de travail du sol traditionnels. On compense souvent par l'épandage de 35 kg/ha (30 lb/ac) d'azote dans l'engrais de démarrage.

L'épandage en bandes latérales de 35 kg/ha (30 lb/ac) d'azote dans l'engrais de démarrage, effectué au semoir à maïs de semis direct, permet souvent de compenser la lenteur de la minéralisation de l'azote fréquemment observée dans les sols soumis à ce mode de culture.

Compactage du sol

La meilleure façon de prévenir le compactage du sol, c'est d'éviter de travailler le sol lorsqu'il est humide. Le compactage du sol est souvent invoqué comme l'une des raisons pour lesquelles le semis direct ne donne pas toujours un rendement aussi élevé que les méthodes traditionnelles de travail du sol. Pour améliorer les rendements du maïs cultivé avec les méthodes de travail réduit, on pourrait intégrer des cultures aux racines profondes à la rotation et ameublir davantage le sol plus profondément. Cela peut se faire sans déranger à outrance les résidus de culture à la surface et seulement dans les parties qui recevront les rangs de maïs l'année suivante (p. ex. avec un travail du sol par bandes superficiel).

De façon générale, la meilleure méthode de prévention du compactage profond (35 à 45 cm ou 15 à 18 po) consiste à réduire le nombre de passages ou à limiter, dans la mesure du possible, l'utilisation de machines ayant une forte charge par essieu (p. ex. voitures à grain). À cette fin, il est bon d'éviter le passage de la machinerie lorsque le sol est détrempé.

En modifiant la pression des pneus, on peut aussi réduire le compactage du sol dans la zone des racines, c'est-à-dire dans les 20 premiers cm (8 po). La réduction de la pression de gonflage permet de renforcer la flottation des pneus, ce qui peut atténuer leurs effets sur le sol, notamment sur les couches de surface. Pour ce faire, il faut :

1. savoir quelle est la charge par essieu de chaque pneu;
2. connaître les spécifications du fabricant pour chaque pneu;
3. réduire la pression de gonflage au niveau minimal acceptable en fonction des autres facteurs (vitesse, type de charge, roues jumelées, etc.), idéalement à 1 bar (14,5 lb/po²).

Rendement du semoir

Quelle que soit la méthode de travail du sol, il faut que le semoir ait un rendement optimal pour que l'on puisse maximiser le potentiel de rendement du maïs. Dans les systèmes de semis direct, le rendement du semoir et le choix du modèle sont particulièrement importants, car, en l'absence de travail du sol, les propriétés de la couverture de résidus et du sol près de la surface sont plus variables. Pour réduire la variabilité du peuplement et de la levée du maïs et accroître les rendements des cultures de semis direct, il faut donc veiller à ce que le matériel de semis soit bien entretenu et adapté à cette méthode.

Choix des hybrides

Évaluation de la maturité

La croissance du maïs est étroitement liée à la température, et ce, surtout entre les semis et l'apparition des soies. Contrairement au soya, la longueur du jour a peu d'effet sur la vitesse de croissance du maïs. Le système d'unités thermiques de croissance (UTC) utilisé en Ontario a été élaboré pour évaluer les effets de la température sur la croissance du maïs. On effectue ce calcul à partir des températures maximales et minimales quotidiennes, ce qui permet d'attribuer une cote numérique aux saisons de croissance, aux régions géographiques et aux hybrides de maïs. Grâce à ce système, les producteurs peuvent choisir les hybrides les plus susceptibles d'atteindre la maturité avant la première gelée meurtrière.

Unités thermiques de croissance de l'Ontario

Le calcul du nombre d'unités thermiques de croissance se fonde sur une date de début, une formule de calcul des UTC à partir des températures journalières et une date de fin. Depuis 2009, l'Ontario fixe la date de début du calcul des UTC au 1^{er} mai, quels que soient l'emplacement et les températures mesurées jusque-là. Pour le calcul, on établit un total journalier des UTC pendant une période de temps donnée, qui se termine lorsque les températures moyennes sont inférieures à 12 °C ou à la première occurrence d'une température de -2 °C. Le système des UTC et la carte actuellement utilisés (souvent appelés UTC-M1 en raison de la date de début du 1^{er} mai) reposent sur des données recueillies entre 1971 et 2000. Les UTC en Ontario sont indiquées sur une carte à la figure 1-1, *Unités thermiques de croissance (UTC-M1) pour le maïs*.

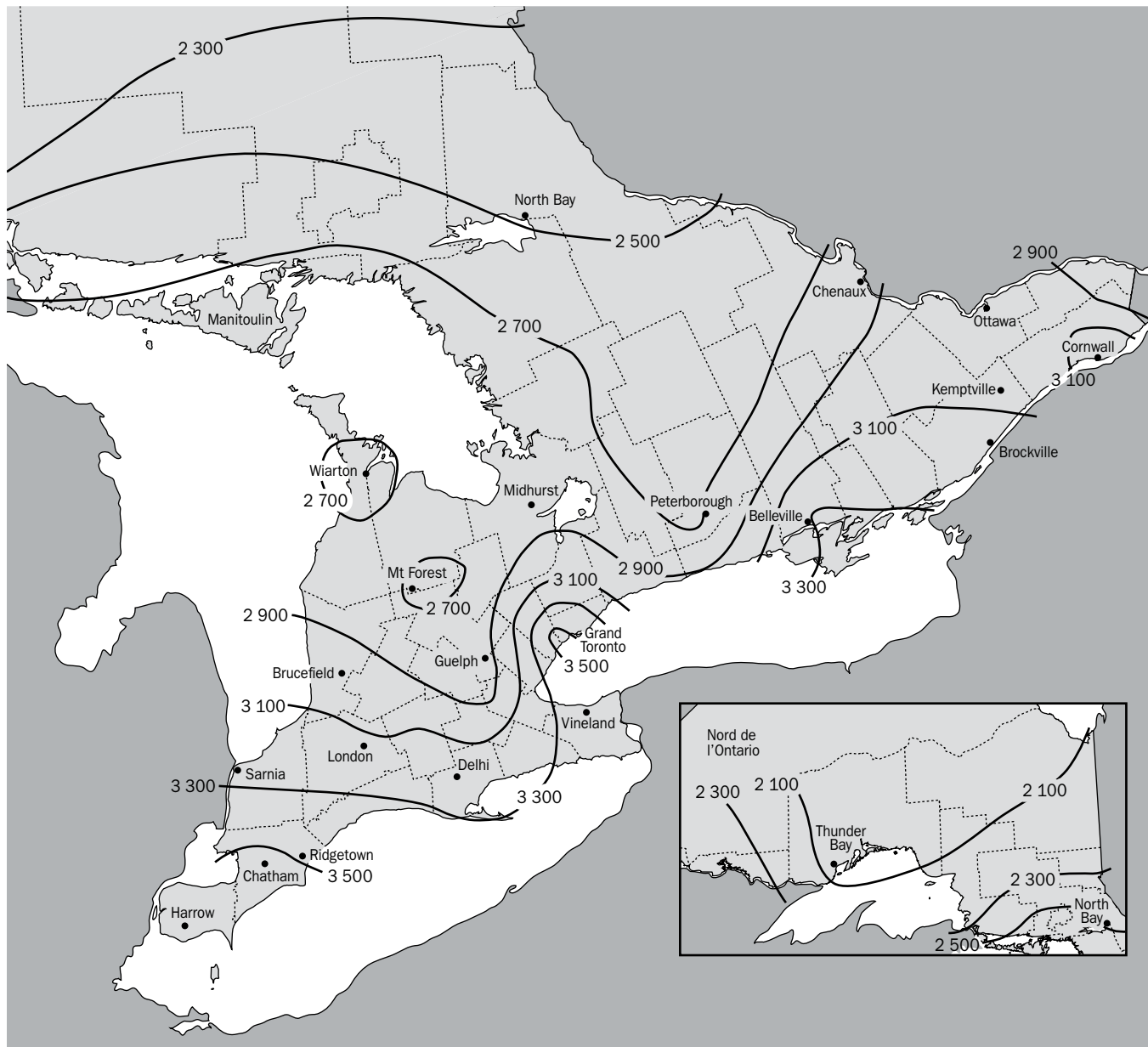


Figure 1-1 – Unités thermiques de croissance (UTC-M1) pour le maïs

Cette carte a été établie à partir des données météorologiques recueillies de 1971 à 2000, la date de début des calculs étant le 1^{er} mai dans toute la province. Source : Weather Innovations inc. (WIN).

Ailleurs qu'en Ontario, il existe d'autres systèmes de quantification de l'effet de la température sur la croissance du maïs et d'évaluation de la maturité des hybrides. Il est malheureusement impossible d'effectuer des conversions mathématiques d'un système à l'autre.

Les données qui figurent au tableau 1-7, *Équivalences approximatives entre trois systèmes de mesure de l'apport de chaleur pendant une saison de croissance*, permettent de faire des comparaisons raisonnables entre les différents systèmes.

Tableau 1-7 – Équivalences approximatives entre trois systèmes de mesure de l'apport de chaleur pendant une saison de croissance

Endroit	Unités thermiques de croissance de l'Ontario (UTC-M1)	Maturité relative du maïs (MRM)	Degrés-jours (base 10) (DJ)
Walkerton	2 759	84	2 000
Guelph	2 828	84	2 012
Ottawa	3 099	91	2 174
London	3 120	92	2 203
Simcoe	3 190	94	2 268
Belleville	3 369	98	2 353
Ridgetown	3 462	104	2 511
Harrow	3 702	111	2 673

La production de chaque feuille de maïs consomme environ 75 à 80 unités thermiques de croissance. S'il fait 30 °C le jour et 20 °C la nuit, il apparaît donc une nouvelle feuille tous les 2 ou 3 jours. De même, s'il fait 20 °C le jour et 10 °C la nuit, il apparaît une nouvelle feuille tous les 5 ou 6 jours.

Les producteurs qui consignent les maximums et les minimums journaliers peuvent se servir du tableau 10-4, *Accumulations quotidiennes d'unités thermiques de croissance en fonction des températures maximale et minimale*, pour calculer les UTC sur leur propre exploitation.

Choix des hybrides les plus rentables

Le choix de l'hybride est sans doute la décision de gestion qui a le plus d'influence sur la rentabilité de la culture. Depuis 50 ans, on ne cesse de voir apparaître sur le marché des hybrides de maïs au potentiel toujours plus élevé, qui ont amené des gains de rendement d'environ 1,5 % par an. Pour demeurer concurrentiels, les producteurs doivent régulièrement adopter de nouveaux hybrides. Le choix des hybrides devrait se faire selon quelques principes généraux, présentés ci-dessous. Par ailleurs, le choix final des hybrides pour une exploitation donnée doit être fait en consultation avec les représentants des fournisseurs de semences.

Maturité et unités thermiques de croissance

La maturité physiologique (point noir) se produit lorsque tous les grains ont atteint leur niveau maximal d'accumulation de matière sèche et que la plante ne fournit plus d'humidité ni d'éléments nutritifs. À partir des cotes d'unités thermiques de croissance, on peut sélectionner les hybrides qui parviendront à maturité avant la date normale de la première gelée de fin de saison. Pour connaître le total normal d'UTC dans une région donnée, voir la figure 1-1, *Unités thermiques de croissance (UTC-M1) pour le maïs*, ou consulter les dossiers de l'exploitation.

Rendement le plus élevé

Dans tout essai de rendement des hybrides, il peut y avoir un écart de rendement de 1,9 à 2,5 t/ha (30 à 40 bo/ac) entre les plus performants et les moins performants. On voit donc qu'il faut disposer d'une information fiable sur le potentiel de rendement et l'adaptabilité des hybrides. Les producteurs doivent avoir accès à plusieurs sources d'information, soit les résultats des essais publics de rendement, ceux des bandes d'essais (provenant du fournisseur de semences ou de l'association agricole) et ceux des comparaisons sur le terrain.

Chaque année, le Comité ontarien du maïs effectue dans toute la province des essais de rendement sur la majorité des hybrides offerts sur le marché. En général, ceux qui constituent une série donnée correspondant à une certaine fourchette d'unités thermiques de croissance sont mis à l'essai à trois ou quatre endroits. Les résultats se trouvent sur le site www.gocorn.net dans différents formats. Ces essais sont un bon reflet du potentiel de rendement, mais comme ils sont limités à quelques endroits, ils donnent peu d'indices sur la capacité d'adaptation des hybrides à des conditions très variables. Pour obtenir cette information, il faut s'en remettre aux résultats des bandes d'essai qui sont situées en un plus grand nombre d'endroits présentant une large gamme de conditions. Les fournisseurs de semences offrent un sommaire des résultats ainsi obtenus dans leurs guides de semences.

Bien des producteurs préfèrent constituer des bandes d'essai sur leur propre exploitation; ils peuvent ainsi y tester les nouveaux hybrides à fort potentiel de rendement en les comparant à ceux qui ont fait leurs preuves. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que le choix d'un hybride doit se fonder sur des essais effectués à plusieurs endroits, même si c'est à

l'exploitation même. Avant de choisir des hybrides pour les cultiver sur une grande superficie, il faut consulter les résultats obtenus sur de nombreux sites (idéalement plus de 30) pendant deux saisons.

Pour sélectionner les hybrides, on peut commencer par définir deux groupes d'hybrides pour une exploitation agricole. Le premier groupe, appelé « nouveaux hybrides », comprend les nouveaux hybrides les plus prometteurs sur le marché. Il représente les hybrides qui sont cultivés sur une superficie relativement petite et dont le rendement est suivi de près sur une exploitation donnée, dans le cadre de bandes d'essais et d'essais publics de rendement. L'objectif est de déterminer rapidement quels sont les hybrides les plus performants du groupe pour les transférer au groupe des « hybrides éprouvés ». Ce second groupe représente les hybrides qui ont fait leurs preuves et qui sont cultivés sur une grande partie de la superficie consacrée au maïs d'une exploitation donnée. Les producteurs qui sauront prendre les meilleures décisions le plus rapidement en intégrant les nouveaux hybrides les plus performants à leur production verront leur avantage concurrentiel optimisé et leur rendement augmenter.

Les producteurs qui sauront prendre les meilleures décisions le plus rapidement en intégrant les nouveaux hybrides les plus performants à leur production verront leur avantage concurrentiel optimisé.

Classification des hybrides

On classe souvent les hybrides de maïs dans des catégories telles que les « chevaux de trait » ou les « chevaux de course », selon que leur nature est offensive ou défensive. Les « chevaux de course » (offensifs) sont ceux qui produisent des rendements supérieurs à la moyenne dans de bonnes conditions, mais inférieurs à la moyenne quand celles-ci se dégradent. Les « chevaux de trait » (défensifs) sont ceux qui offrent des rendements relativement constants indépendamment des conditions de croissance. Étant donné que la gestion localisée gagne en popularité, nombreux sont les producteurs qui optent pour des « chevaux de course » dans les zones les plus productives de leur champ, et pour des « chevaux de trait » là où l'état du sol et les conditions météorologiques sont moins favorables. Si l'on suit les tendances de l'industrie des semences, les hybrides seront de plus en plus définis selon leur capacité à cadrer avec certaines stratégies de gestion et certains

environnements. Les technologies d'agriculture de précision permettent de mieux déterminer dans quelle mesure les hybrides pourront exploiter les ressources d'un lieu précis de manière plus efficace.

Les producteurs devraient savoir qu'ils peuvent choisir les hybrides les mieux adaptés à leur stratégie, selon qu'elle est à faible ou à haut niveau d'intrants. Pour éviter certains des risques associés au choix des hybrides, il faut se renseigner sur leurs rendements antérieurs. Il est conseillé de choisir ceux qui se complètent et qui n'ont pas les mêmes points faibles. Par exemple, au moment de sélectionner deux hybrides de saison longue offrant un haut potentiel de rendement pour des semis précoces, il faut s'assurer qu'ils ne sont pas tous deux mal cotés pour ce qui est de la résistance aux maladies foliaires.

Résistance à la verse

Il faut rechercher des hybrides qui parviennent à maturité au bon moment et qui offrent un excellent potentiel de rendement. Mais il faut aussi sélectionner les hybrides en fonction de leur résistance à la verse. Cette caractéristique est particulièrement importante là où l'on risque un assèchement important. Si l'exploitation agricole possède des installations de séchage et qu'il est possible de récolter le maïs lorsque sa teneur en eau est relativement élevée (> 26 %), la résistance à la verse revêt une moins grande importance. Les caractéristiques liées à une meilleure résistance à la verse sont la résistance à la pourriture de la tige et aux brûlures des feuilles, la vigueur génétique de la tige (écorce épaisse), la faible hauteur du plant, la position basse des épis sur le plant et le fort pourcentage de plants sains en fin de saison. Par ailleurs, l'intégrité des plants et leur santé en fin de saison indiquent également que la récolte sera meilleure.

En ce qui concerne la résistance à la verse, l'un des progrès les plus remarquables a été l'introduction des hybrides Bt qui résistent à plusieurs ravageurs du maïs. Tous les producteurs qui utilisent des hybrides Bt doivent mettre en place un refuge contenant des plants de maïs qui ne sont pas génétiquement modifiés pour empêcher l'apparition d'une souche d'organisme nuisible résistante. Les producteurs peuvent désormais acheter des sacs contenant à la fois des semences Bt et des semences non-Bt, ce qui leur évite d'avoir à installer un refuge à part. Pour en savoir plus sur le maïs Bt, voir le chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et visiter le site de la Coalition canadienne contre les ravageurs du maïs, au www.cornpest.ca.

Teneurs en eau à la récolte et coûts de séchage

Le choix des hybrides peut également dépendre des teneurs en eau souhaitées à la récolte. Lorsqu'on entrepose le maïs comme céréale à haute teneur en eau (p. ex. 28 %), on a la possibilité de maximiser les bénéfices en optant pour des hybrides de pleine saison très performants. Lorsque le maïs est séché lors de son entreposage, les producteurs doivent évaluer l'effet des fortes teneurs en eau à la récolte sur le bénéfice net. Par exemple, pour un hybride ayant un rendement de 0,31 t/ha (5 bo/ac) de plus qu'un autre, il faut comparer le gain net ainsi produit aux coûts supplémentaires de séchage. Les essais de rendement effectués par le Comité ontarien du maïs montrent que lorsqu'ils sont semés tôt, les hybrides sélectionnés selon les critères les plus exigeants (de pleine saison et extrêmement tardif) donnent souvent de meilleurs rendements que ceux qui parviennent à maturité plus rapidement (hybrides de saison plus courte), ce qui compense largement les coûts supplémentaires liés au séchage. Il faut évaluer le bénéfice net des hybrides après déduction des coûts de séchage. Selon ces coûts, bien souvent, un gain de rendement de 2 à 3 bo/ac compense largement une hausse de 1 % de la teneur en eau à la récolte.

Choix des hybrides destinés à l'ensilage

En ce qui concerne la production destinée spécifiquement à l'ensilage plante entière, on obtient généralement de meilleurs rendements avec des hybrides cotés de 100 à 200 UTC de plus que ceux qui sont destinés à la production de grain. Il faut sélectionner des hybrides à haut rendement pour l'ensilage et ayant une énergie digestible élevée. Il existe sur le marché des hybrides de maïs destinés uniquement à l'ensilage, et d'autres à double usage. Ces derniers permettent la récolte du grain, ce qui offre plus de possibilités au producteur lorsque le silo est plein. En l'absence de données indépendantes, il est très difficile de comparer les hybrides de maïs à ensilage offerts par les différents fournisseurs et de faire un choix. Il faut rechercher des hybrides ayant les meilleures cotes de rendement et de qualité pour l'ensilage. Il existe plusieurs modèles de comparaison de la valeur économique des hybrides de maïs à ensilage. Le modèle Milk 2006 de l'Université du Wisconsin comprend des calculs de « lait par acre » et de « lait par tonne » qui combinent les caractéristiques de rendement à l'ensilage, de digestibilité, de teneurs en fibres, en amidon et en

protéines brutes, et de potentiel de prise alimentaire. La quantité de « lait par tonne » est un indice de qualité, tandis que la quantité de « lait par acre » reflète à la fois le rendement et la qualité.

Passage à des hybrides à cycle plus court

Selon l'état du champ, il peut être nécessaire de retarder les semis et de choisir des hybrides qui arrivent plus rapidement à maturité. Dans ce cas, il faut tenir compte du potentiel de rendement des hybrides à cycle plus court, de leur poids spécifique, des coûts de séchage et des capacités de récolte en fin de saison.

Le maïs-grain atteint 90 % de son poids total lorsque la ligne d'amidon arrive à la moitié de la hauteur du grain, un stade que même les hybrides de pleine saison semés tard atteignent la plupart des années. Le passage à des hybrides à cycle plus court peut être une solution de rechange valable du point de vue du rendement en grain, dans la mesure où ils offrent au moins 90 % du rendement des hybrides de pleine saison. De façon générale, c'est la meilleure option dans les régions où la saison est plus longue.

Si on cultive des hybrides de pleine saison qui ont besoin de 3 000 UTC-M1, on peut passer à d'autres hybrides qui exigent de 100 à 150 UTC de moins sans trop sacrifier les rendements. Par contre, si l'on cultive des hybrides de pleine saison exigeant 2 800 UTC-M1 environ, il est probable que le passage à un autre hybride ayant besoin de 100 UTC de moins se soldera par une baisse de rendement de plus de 10 %.

Une étude à grande échelle effectuée dans tout le Nord du Corn Belt a permis de déterminer les dates optimales de passage aux hybrides autres que de pleine saison. Le tableau 1-8, *Dates recommandées pour cesser de semer des hybrides de pleine saison dans différentes zones d'unités thermiques de croissance*, résume quelques-unes des conclusions de cette étude. Les nombreuses données à long terme colligées lors de ces travaux reflètent les rendements des hybrides ayant différentes cotes de maturité ainsi que les déductions à faire pour tenir compte du poids spécifique et des coûts de séchage. La date de transition est celle à partir de laquelle les semis d'hybrides à cycle plus court produisent un meilleur bénéfice net que les hybrides de pleine saison (le bénéfice net est le produit brut moins les déductions à faire pour les coûts de séchage et le poids spécifique).

Tableau 1-8 – Dates recommandées pour cesser de semer des hybrides de pleine saison dans différentes zones d'unités thermiques de croissance

Zone d'unités thermiques de croissance (UTC-M1)	Date de transition
> 3 200	30 mai ou début de juin
2 800 à 3 200	20 au 25 mai
< 2 800	15 au 20 mai

Source : Adapté de R. Iragavarapu, *Basing Hybrid Maturity Switches on Long-Term Data*, Pioneer Hi-Bred Itée.

La culture d'hybrides ayant des dates de maturité différentes offre une certaine protection aussi bien contre les stress au moment de l'apparition des soies que contre les risques de fin de saison. Toutefois, on peut passer systématiquement à des hybrides à cycle plus court à partir du 30 mai ou du 1er juin dans le Sud-Ouest de l'Ontario (> 3 200 UTC-M1), à partir de la période du 20 au 25 mai dans les régions où l'on cultive des hybrides de mi-saison (2 800 à 3 200 UTC-M1) et à partir de la période du 15 au 20 mai dans les zones de culture de maïs à cycle encore plus court (< 2 800 UTC-M1).

La règle générale à observer est d'opter pour un hybride exigeant 100 UTC de moins pour chaque semaine de retard des semis à partir de la date limite prévue pour les hybrides de pleine saison.

Poids spécifique

Les poids spécifiques peuvent être plus faibles si les gelées de fin de saison surviennent avant la maturité du maïs semé tard (point noir). Au moment de choisir les hybrides destinés à être semés à la fin du printemps, il faut tenir compte du potentiel de poids spécifique. Le tableau 1-9, *Poids spécifique du maïs-grain et probabilités d'impuretés*, présente les probabilités d'impuretés dans un maïs de poids spécifique plus faible livré à un silo-élevateur ou à un utilisateur final.

D'une part, dans les exploitations où toute la production de maïs est utilisée à la ferme et donnée aux animaux, le poids spécifique peut n'avoir aucun effet, et il est parfois possible de s'en tenir aux hybrides de pleine saison pendant une plus grande partie de la saison de croissance. L'expérience acquise en 1992, en 2000 et en 2014, ainsi que les recherches menées ces mêmes années indiquent qu'il y a peu de corrélation, voire aucune, entre le poids spécifique et la valeur nutritive du maïs consommé par

Tableau 1-9 – Poids spécifique du maïs-grain et probabilités d'impuretés

À jour au printemps 2016. Les probabilités de perte peuvent varier considérablement selon l'année et l'endroit.

Grade	Poids spécifique minimal	Perte possible
1	68,0 kg/hl (55,6 lb/bo)	0,00 \$/t. c.
2	66,0 kg/hl (52,8 lb/bo)	0,00 \$/t. c.
3	64,1 kg/hl (51,4 lb/bo)	2,00 \$/t. c.
4	62,0 kg/hl (49,7 lb/bo)	6,00 \$/t. c.
5	58,0 kg/hl (46,5 lb/bo)	12,00 \$/t. c.

le bétail. D'autre part, les producteurs qui livrent tout leur maïs à des silos-élevateurs ou à des transformateurs peuvent être tentés par des hybrides à cycle plus court pour accroître les chances d'obtenir des poids spécifiques convenables à la récolte. Dans les zones à cycle plus court, si l'on craint que le passage à des hybrides à cycle plus court ne s'accompagne de pertes de rendement importantes, on peut envisager de s'en tenir aux hybrides de pleine saison, mais en choisissant ceux qui offrent des poids spécifiques plus élevés.

Récolte

La culture continue d'hybrides à haut rendement et à cycle plus long peut soulever certains problèmes de logistique à la récolte. Les champs ensemencés d'hybrides qui risquent d'arriver à maturité tardivement doivent être bien drainés et en mesure de supporter les charges imposées par le passage de la machinerie, ce qui facilitera la récolte si les conditions ne sont pas idéales en fin de saison. Il faut éviter de semer des hybrides à cycle plus long dans les régions de la province qui risquent le plus de recevoir de la neige en novembre. La neige qui couvre les plants de maïs adhère aux feuilles et aux spathes et rend la récolte impossible tant qu'elle n'a pas fondu. La neige qui couvre les plants de maïs adhère aux feuilles et aux spathes et empêche la récolte tant qu'elle n'a pas fondu.

Semis

Date de semis

En Ontario, on obtient habituellement les meilleurs rendements lorsqu'on sème le maïs à la fin du mois d'avril ou dans la première quinzaine de mai, parce

que l'on tire alors parti de toute la saison de croissance. Plus les semis sont précoces, plus la culture parvient à maturité tôt à l'automne, ce qui réduit le risque de dommages causés par une gelée automnale précoce ou par le mauvais temps au moment de la récolte. Le tableau 1-10, *Rendement en grain prévu selon les dates de semis*, illustre l'influence des dates de semis sur le rendement du maïs. Notons la chute rapide du rendement dans les zones où la saison est plus courte par rapport aux zones où la saison est plus longue, lorsque la date de semis est retardée.

Selon le nombre de jours nécessaires pour ensemençer toute la superficie consacrée à la culture du maïs, il faut généralement commencer les semis avant la date optimale. Les producteurs qui veulent devancer largement la date de semis optimale (entre les 15 et 25 avril) doivent garder à l'esprit que la température du sol doit être d'au moins 10 °C pour permettre la germination et la levée. Pour évaluer la température quotidienne moyenne, il faut faire une lecture vers 11 h 30 à l'aide d'un thermomètre de sol de 10 cm (4 po). Si le sol est à une température moyenne de 10 °C ou plus, qu'il est en bon état et que l'on prévoit des températures égales ou supérieures à la moyenne, il est possible de procéder à des semis précoces sur une partie de la superficie. De façon générale, après le 26 avril dans les zones recevant plus de 3 000 UTC-M1 et après le 1er mai dans les zones recevant moins de 3 000 UTC-M1, il est conseillé d'accorder moins d'importance à la température du sol et de semer quand l'humidité du sol le permet. Globalement, du point de vue du rendement, une avance de deux à trois semaines par rapport à la date optimale des semis représente moins de risques qu'un retard de deux à trois semaines.

Densité de peuplement

Les densités dont il est question ici sont les valeurs finales recommandées (voir tableau 1-11, *Densité de peuplement selon l'espacement des semences*). Puisque certaines semences ne lèvent pas, il faut prévoir des doses de semis un peu plus élevées. Lorsque les semis sont faits tôt dans la saison ou que le sol est encore froid, il faudrait calculer 10 % de plus que la densité de peuplement finale visée. Dès que le sol s'est réchauffé, il suffit de 5 % de plus.

Tableau 1-11 – Densité de peuplement selon l'espacement des semences

Nombre final de plants	Écartement des plants de maïs dans le même rang		
	Écartement des rangs : 51 cm (20 po)	Écartement des rangs : 76 cm (30 po)	Écartement des rangs : 91 cm (36 po)
54 300 plants/ha (22 000 plants/ac)	36 cm (14,3 po)	24 cm (9,5 po)	20 cm (7,9 po)
59 300 plants/ha (24 000 plants/ac)	33 cm (13,1 po)	22 cm (8,7 po)	18 cm (7,2 po)
64 200 plants/ha (26 000 plants/ac)	31 cm (12,1 po)	20 cm (8,1 po)	17 cm (6,7 po)
69 200 plants/ha (28 000 plants/ac)	29 cm (11,2 po)	19 cm (7,5 po)	16 cm (6,2 po)
74 100 plants/ha (30 000 plants/ac)	27 cm (10,5 po)	18 cm (7,0 po)	15 cm (5,8 po)
79 000 plants/ha (32 000 plants/ac)	25 cm (9,8 po)	17 cm (6,6 po)	14 cm (5,4 po)
84 000 plants/ha (34 000 plants/ac)	23 cm (9,2 po)	16 cm (6,1 po)	13 cm (5,1 po)
88 900 plants/ha (36 000 plants/ac)	22 cm (8,7 po)	15 cm (5,8 po)	12 cm (4,8 po)
93 800 plants/ha (38 000 plants/ac)	21 cm (8,3 po)	14 cm (5,5 po)	12 cm (4,6 po)
98 800 plants/ha (40 000 plants/ac)	20 cm (7,8 po)	13 cm (5,2 po)	11 cm (4,4 po)
Longueur de rang pour 1/1 000 d'acre	7,9 m (26,1 pi)	5,3 m (17,4 pi)	4,4 m (14,5 pi)

1 ha = 2,47 ac; 1 cm = 0,39 po

Tableau 1-10 – Rendement en grain prévu selon les dates de semis

Essais menés par le Comité ontarien du maïs entre 2006 et 2010. Toutes les données se rapportent à des cultures de maïs dont la densité de peuplement était de 74 000 plants/ha (30 000 plants/ac). Les rendements sont indexés sur une date de semis antérieure au 10 mai.

Endroit	10 juin	5 juin	30 mai	20 au 25 mai	20 mai	15 mai	Avant le 10 mai
Elora (< 2 800 UTC)	65	75	85	92	96	99	100
Exeter (2 800 à 3 200 UTC)	84	89	93	96	98	100	100
Ridgetown (> 3 200 UTC)	87	91	94	97	99	100	100

En Ontario, les cultures de maïs ont généralement de 69 200 à 88 900 plants/ha (28 000 à 36 000 plants/ac). Cette densité permet de maximiser l'interception de la lumière et peut mener à de bons rendements dans de nombreuses conditions de croissance différentes sans que la verse pose trop de difficultés. Au cours des dernières années, on a créé des hybrides qui tolèrent mieux les fortes densités de peuplement sans subir de verse ni souffrir d'infertilité aiguë. Lorsque des hybrides anciens et nouveaux sont cultivés côte à côte à des densités de peuplement très faibles, ils ont des rendements presque identiques. Cependant les nouveaux hybrides donnent de meilleurs rendements s'ils sont cultivés à des densités plus importantes. Ces améliorations découlent pour la plupart de la mise au point d'hybrides qui excellent à des densités de peuplement élevées. Certains des plus récents hybrides donnent un maximum de rendement économique à des densités allant de 79 000 à 98 800 plants/ha (32 000 à 40 000 plants/ac). Il est conseillé de consulter les données des fournisseurs de semences pour calculer la meilleure densité de peuplement pour l'hybride utilisé.

Dans les champs sujets à la sécheresse où la disponibilité de l'eau est le principal facteur limitant le rendement, le gain de rendement obtenu avec des taux de semis plus élevés ne permet pas toujours de couvrir les coûts qui en découlent. Dans de tels cas, la réduction des taux permet même parfois certaines économies. Si le potentiel de rendement grimpe, la densité de peuplement augmente aussi. En effet, d'après une étude, pour une augmentation de 0,94 t/ha (15 bo/ac) du potentiel de rendement d'un champ (ou d'une partie d'un champ), la densité de peuplement économiquement optimale augmente de 1 112 plants/ha (450 plants/ac).

En Ontario, on vise souvent des densités de peuplement finales moyennes plus élevées que dans le Midwest américain. Les champs les plus productifs devraient supporter des densités voisines des valeurs maximales pour l'hybride choisi. Dans les régions de la province où la saison de croissance est plus courte et où l'on cultive des hybrides de plus petite taille, on pourrait augmenter encore plus les densités de

peuplement pour maximiser l'interception de la lumière et optimiser les rendements. En général, c'est dans les régions de l'Ontario où la saison est plus longue (plus de 3 200 UTC-M1) que l'augmentation des densités a produit les gains de rendement les plus faibles.

Dans les champs de maïs destiné à l'ensilage, on recommande souvent des densités de peuplement plus élevées (de 10 %) que pour le maïs-grain. Toutefois, des recherches menées à l'Université Cornell vont à l'encontre de cette recommandation, indiquant que les peuplements de plus de 86 500 plants/ha (35 000 plants/ac) ne sont avantageux pour aucun des hybrides testés. Ces travaux montrent que plus les densités augmentent, plus la digestibilité de l'ensilage décroît. Cependant, les hybrides à ensilage présentent une diversité génétique, ce qui permet de penser que les densités de peuplement optimales peuvent varier de l'un à l'autre.

Profondeur de semis

En ce qui a trait à la profondeur des semis de maïs, la première règle à observer est de déposer la semence dans une couche humide (teneur en eau de 25 à 50 % ou proche de la capacité de rétention). Mais il y a également d'autres points à prendre en considération au moment de déterminer la profondeur des semis. S'ils sont superficiels (à moins de 3 cm [1,2 po] de profondeur), même dans un sol humide, il peut y avoir un mauvais positionnement du point végétatif et des premières racines coronales (voir photo 1-3). Dans certains cas, cela peut provoquer le syndrome de l'absence de racines et exposer davantage la semence aux dommages dus aux herbicides. Dans les sols à texture grossière qui s'assèchent rapidement en surface, les racines ont par ailleurs plus de mal à s'établir si les semences ont été enfouies peu profondément.

Pour obtenir une profondeur optimale des semis de maïs, il faut toujours déposer la semence dans une couche humide. Même si la profondeur de semis du semoir à maïs est réglée entre 4 et 5 cm (entre 1,6 et 2 po), il faut vérifier qu'aucune semence ne se trouve à une profondeur de moins de 3,8 cm (1,5 po).

Par contre, si les semences sont placées plus profondément, soit à une profondeur de 5,7 à 8,2 cm (2,25 à 3,25 po), surtout lorsque les sols sont froids au début de la saison des semis, la levée peut accuser un retard par rapport aux semis effectués à des profondeurs de 4 à 5 cm (1,6 à 2 po). Et qui dit levée tardive dit augmentation du risque d'infestations d'insectes et de maladies des plantules. Au fur et à mesure que la saison des semis avance et que les sols se réchauffent et s'assèchent, il faut veiller à ce que la semence de maïs soit mise en contact étroit avec un sol humide et placée à une profondeur de 5 cm (2 po). Lorsque les semis sont prolongés et dans les sols secs, il est souvent moins risqué d'enfouir la semence à une profondeur de 7,5 cm (3 po) pour la mettre en contact avec la terre humide que de semer trop près de la surface en espérant qu'il pleuvra.



Photo 1-3 – Levée inégale, résultat de l'enfouissement des semences à des profondeurs différentes

Sur le plan physiologique, une semence de maïs placée dans un sol humide à 3,8 cm (1,5 po) de profondeur aura un excellent rendement. Le problème, c'est que même avec un semoir à maïs réglé à une profondeur de 3,8 cm, certaines semences ne seront pas enfouies assez profondément pour donner une bonne levée si le rayonneur rebondit ou si le lit de semence est en mauvais état, inégal ou compacté à certains endroits. Voilà pourquoi on conseille de régler le semoir un peu plus profondément : pour éviter que des semences soient enfouies à moins de 3,8 cm (1,5 po).

Une fois la saison de croissance bien entamée, on peut mesurer la profondeur de semis. Pour ce faire, il faut extraire délicatement le plant, retirer les racines coronales et trouver le mésocotyle : il s'agit généralement d'une structure blanche et glabre qui va de la graine au collet. En mesurant la longueur du mésocotyle et en y ajoutant 1,9 cm (0,75 po), on obtient la profondeur de semis.

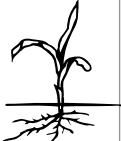
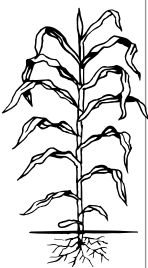
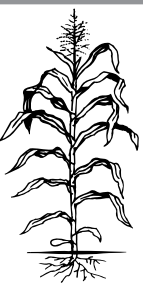
Croissance du maïs

Le tableau 1-12, *Stades végétatifs du maïs*, et le tableau 1-13, *Stades reproductifs du maïs*, décrivent les étapes de la croissance végétative et du cycle de reproduction.

Dates de fin de saison des UTC

La date de la fin de la saison de croissance est celle de la première gelée meurtrière (-2 °C), ou la date à laquelle la température journalière moyenne historique (normales calculées sur 30 ans) atteint moins de 12 °C. Pendant la période de 30 ans ayant servi au calcul des UTC, la saison se terminait environ 10 % du temps par l'occurrence d'une gelée meurtrière (-2 °C).

Tableau 1-12 – Stades végétatifs du maïs

Stade	VE	V1	V4	V6	V8	V12	VT
							
Collerettes	0	1	4	6	8	12	(variable)
Pointe des feuilles	1	3	7	10	11	15	(variable)
Feuille recourbée	0	2	6	8	10	14	(variable)
UTC nécessaires ¹	180	330	630	780	930	1 170	1 310
Date cible ²	16 mai	25 mai	11 juin	18 juin	26 juin	31 juin	18 juillet
Notes	• Levée. • Compter normalement 6 à 21 jours pour la levée. • Un rendement élevé nécessite une levée uniforme. • Une mauvaise germination peut être due à la présence de méloïdes, de vers fil-de-fer, de mouches des légumineuses, de carabes du maïs, de limaces ou de vers-gris noir.	• Début de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes. • Point végétatif sous terre. • Veiller à ce que l'herbicide choisi soit compatible avec le stade de la culture.	• Début de l'épiaison. • Point végétatif sous terre. • Expansion des racines coronales qui remplaceront bientôt complètement les racines séminales. • Les risques de dommages occasionnés par les vers fil-de-fer et les altises sont maintenant écartés.	• Fin de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes. • Les feuilles inférieures (1 à 4) s'assèchent et peuvent ne pas être visibles. • Le point végétatif se situe au niveau du sol ou au-dessus; les plants risquent de souffrir davantage du gel. • Les épis et les panicules dont la croissance est amorcée sont visibles à la dissection du plant.	• Après ce stade, l'épandage d'azote en bandes latérales et le sarclage des entre-rangs risquent d'endommager les racines. • Début de l'élongation rapide de la tige. • Les risques de dommages par les limaces sont écartés.	• La culture devient de plus en plus exposée à des pertes de rendement dues à la chaleur ou à la sécheresse. • Ce moment est déterminant pour la grosseur de l'épi et le nombre potentiel de grains.	• Sortie des panicules (floraison mâle). • La dissémination du pollen commence de 2 à 3 jours avant l'apparition des soies (floraison femelle). • La sécheresse et la chaleur ont pour effet de réduire la viabilité du pollen. • Faire le dépistage du puceron du maïs, de la chrysomèle des racines du maïs adulte et de la larve de cette espèce (qui provoque la courbure des tiges en col de cygne).

¹ Nombre approximatif d'UTC nécessaires pour atteindre les différents stades de croissance du maïs.² Date estimative du début des différents stades phénologiques pour des accumulations à long terme d'UTC dans une région recevant en moyenne 2 800 UTC et où les semis sont prévus pour le 5 mai.

Tableau 1-13 – Stades reproductifs du maïs**LÉGENDE :** S.O. = sans objet, les grains ne se forment qu'après la pollinisation.

Stade R	R1 – Apparition des soies	R2 – Gonflement	R3 – Stade laiteux	R4 – Stade pâteux	R5 – Dent	R6 – Maturité
Description	Les soies sortent des spathe à la pointe de l'épi.	Les grains sont blancs, remplis d'un liquide transparent et nettement différenciés du reste de la rafle.	Les grains commencent à jaunir et le liquide qu'ils contiennent est blanc laiteux.	Le liquide laiteux à l'intérieur des grains épaissit et devient pâteux. Les contours des grains s'affermissent. Certaines dents apparaissent.	La majorité des grains sont dentés. Une couche dure d'amidon est très visible dans le haut du grain (ligne d'amidon).	Une couche dure d'amidon est très visible dans tout le grain. Un point noir se forme à la base du grain.
UTC nécessaires ¹	1 480	1 825	2 000	2 165	2 475	2 800
Date cible ²	20 juillet	3 août	11 août	18 août	1 ^{er} septembre	18 septembre
Teneur en eau du grain	S.O.	85 %	80 %	70 %	55 %	30 à 35 %
Notes	• La pollinisation dure 3 à 7 jours. • Les soies continuent de s'allonger jusqu'à leur fécondation. • À ce stade, le rendement peut être gravement compromis par des facteurs de stress environnemental. • Commencer le dépistage des insectes nuisibles de l'épi (ver de l'épi du maïs et légionnaire d'automne).	• Les grains commencent à accumuler de la matière sèche. • Les éléments nutritifs commencent à migrer des feuilles et des tiges vers les épis. • Les feuilles inférieures peuvent rougir.	• Période de remplissage rapide des grains. • La bonne santé des plants, le beau temps et la photosynthèse active favorisent la production de grains plus gros et d'un poids spécifique plus élevé.	• La partie supérieure du grain commence à durcir. • Les gelées meurtrières peuvent causer des pertes de rendement de 25 à 40 %. • Commencer à mesurer l'incidence de la pourriture de l'épi.	• La ligne d'amidon progresse vers la base du grain au fur et à mesure que la culture arrive à maturité. • Les teneurs en eau des plantes entières conviennent à l'ensilage. • Quand la ligne d'amidon parvient à la moitié de la hauteur du grain, le maïs a atteint 90 % de son rendement en grain. • Parcourir le champ à la recherche de signes de verse, d'affaissement des épis et de pourriture de la tige. Si de nombreux plants présentent ces signes, penser à récolter plus tôt.	• Maturité physiologique. • Les grains ont atteint leur poids maximal en matière sèche. • Les grains doivent encore perdre de l'humidité pour être prêts au battage.

¹ Nombre approximatif d'UTC nécessaires pour atteindre les différents stades de croissance du maïs.² Date estimative du début des différents stades phénologiques pour des accumulations à long terme d'UTC dans une région recevant en moyenne 2 800 UTC et où les semis sont prévus pour le 5 mai.

Stades de croissance foliaire

Il peut sembler facile de compter les feuilles d'un plant de maïs, mais certains facteurs peuvent être la source d'erreurs. Il est important de savoir à quelle méthode de décompte on fait référence sur les étiquettes de pesticides ou dans les autres données de production.

Au tableau 1-14, *Comparaison des stades de croissance*, on montre les données obtenues avec différentes méthodes de décompte des feuilles.

Tableau 1-14 – Comparaison des stades de croissance

Pointe des feuilles	Feuille recourbée	Collerette	Hauteur apparente	Hauteur réelle
3	2	1	5 à 6 cm	5 à 11 cm
5 à 6	4	3	9 à 17 cm	16 à 25 cm
7 à 8	6	4 à 5	18 à 33 cm	29 à 46 cm
9 à 10	8	5 à 6	36 à 54 cm	54 à 77 cm
12	10	8	58 à 85 cm	86 à 112 cm
14 à 15	12	10	99 à 114 cm	121 à 149 cm

Source : Publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Voici les différentes méthodes de décompte des feuilles :

- **Méthode de la pointe** : décompte de toutes les feuilles y compris de toute pointe qui sort du verticille au sommet du plant.
- **Méthode de la feuille recourbée** : décompte des feuilles entièrement déployées et recourbées seulement, la feuille suivante étant visible dans le verticille, mais dressée.
- **Méthode de la collerette** : très employée aux États-Unis, décompte des feuilles dont la collerette est visible. La collerette est la bande vert blanchâtre séparant le limbe de la feuille de sa gaine, qui s'enroule autour de la tige. On désigne les stades de croissance du maïs par les codes V1, V2, V3, etc., où V3 désigne un plant qui a trois collerettes visibles.

Uniformité de la levée

L'homogénéité de la profondeur de semis est un facteur primordial pour que la levée soit uniforme. Une levée inégale nuit au rendement de la culture, parce que la concurrence exercée par les plants plus gros ayant levé plus tôt réduit le potentiel de rendement des plants

plus petits qui ont levé plus tard. Les rendements peuvent diminuer de 5 % lorsque la levée de la moitié du peuplement est retardée de sept jours, et de 12 % lorsqu'elle est retardée de deux semaines. Le tableau 1-15, *Effets de l'écartement des plants et de la variabilité de la levée sur le rendement du maïs*, montre l'effet relatif de ces deux facteurs sur le rendement du maïs. Pour résumer :

- Si la levée d'un plant sur six (17 %) a un retard de deux stades foliaires (environ 12 jours), la perte globale de rendement est de 4 à 5 %.
- Si la levée d'un plant sur six a un retard de quatre stades foliaires (environ 21 jours), la perte globale de rendement est de 8 %.
- La variabilité de l'espacement dans les rangs (doublets et vides) n'avait pas d'effet notable sur l'importance des pertes de rendement liées au retard de la levée.

Cette étude souligne que le rendement des plants qui se trouvent à côté d'un plant dont la levée est en retard ne compense pas le rendement moindre du plant en retard.

Tableau 1-15 – Effets de l'écartement des plants et de la variabilité de la levée sur le rendement du maïs

Rendement exprimé en pourcentage du résultat obtenu avec un espacement et une levée uniformes.

Recherches effectuées à Elora et à Woodstock en 2000 et en 2001.

Écartement des plants	Retard de la levée		
	Uniforme	2 feuilles (1 plant sur 6)	4 feuilles (1 plant sur 6)
Uniforme	100 %	95 %	91 %
Doublets (33 % des plants)	99 %	95 %	90 %
Triplets (50 % des plants)	98 %	94 %	90 %

Source : Liu, Tollenaar, Stewart, Deen, Université de Guelph.

Uniformité de l'écartement

Il est largement admis que les plants de maïs doivent être uniformément espacés dans les rangs pour produire des rendements élevés. Cependant, un grand nombre d'études remettent en question l'idée selon laquelle l'accroissement de la variabilité de l'écartement des plants entraîne d'importantes pertes de rendement.

Les rendements relatifs indiqués au tableau 1-15 montrent que lorsque les plants ne sont pas espacés de manière uniforme, les plants qui ont plus d'espace

compensent ceux qui en ont moins. Dans cette étude, on a défini un doublet comme étant constitué de deux plants espacés d'environ 3 cm (1,33 po) à côté d'un vide d'environ 38 cm (15 po), et un triplet comme étant constitué de trois plants espacés de 3 cm à côté d'un vide de 58 cm (23 po). Par ailleurs, d'autres éléments ont été démontrés :

- Les pertes de rendement sont d'environ 1 % si deux plants sur six (33 %) sont regroupés sous forme de doublets.
- Les pertes sont d'environ 2 % si trois plants sur six (50 %) sont regroupés sous forme de triplets.
- Pour la même densité, un accroissement de 2,5 cm (1 po) de l'écart type de l'espacement du peuplement s'accompagne d'une perte de rendement de moins de 0,08 t/ha (1,3 bo/ac). Ces résultats concordent avec ceux de recherches antérieures menées en Ontario à la fin des années 1970 et au Wisconsin de 1999 à 2001.
- M. Bob Nielsen (Université Purdue, Indiana) signale qu'à partir d'un écart type de 5 cm (2 po), pour chaque accroissement de 2,5 cm (1 po) de cette valeur, les rendements diminuent de 160 kg/ha (2,5 bo/ac). L'accroissement de la variabilité de l'écartement pourrait donc s'accompagner de pertes de rendement significatives.
- Selon les résultats d'une enquête effectuée entre 1998 et 2000 sur 127 champs de production commerciale de maïs du Wisconsin avec une densité de peuplement moyenne de 73 500 plants/ha (29 750 plants/ac), l'écart type de l'écartement était en moyenne de 8,4 cm (3,33 po), et de moins de 11,7 cm (4,66 po) dans 95 % de ces mêmes champs.
- Les résultats de 24 essais menés parallèlement à l'étude du Wisconsin permettent de conclure que des pertes de rendement notables n'apparaissent que lorsque l'écart type des écartements dépasse 12 cm (4,75 po).

Ces résultats corroborent les conclusions des études effectuées en Ontario (voir tableau 1-15), qui montrent qu'un écartement inégal des plants n'a qu'un effet négligeable sur les rendements. De façon générale, à l'intérieur de la fourchette de variabilité présente dans la plupart des champs visés dans la province, la baisse de potentiel de rendement due à cette variabilité est probablement minime.

On considère souvent qu'un mauvais entretien du semoir ou un déplacement trop rapide de celui-ci lors des semis nuisent à l'uniformité de l'écartement dans les rangs. Des recherches menées en Illinois (voir

tableau 1-16, *Effets de la vitesse du semoir sur l'écart type par rapport à l'écartement voulu, la densité et le rendement du maïs*) montrent qu'avec des semoirs bien entretenus, la vitesse de déplacement élevée et les légères variations de l'écartement n'ont aucune influence sur le rendement.

Lorsqu'on évalue les densités de peuplement du maïs, l'uniformité de la levée et la croissance précoce sont plus importantes que l'uniformité de l'écartement.

Tableau 1-16 – Effets de la vitesse du semoir sur l'écart type par rapport à l'écartement voulu, la densité et le rendement du maïs

Moyenne de 11 essais effectués en Illinois de 1994 à 1996.

Vitesse d'avancement du semoir	Écart-type ¹	Nombre de plants	Rendement
5 km/h	7,3 cm (2,9 po)	67 290 plants/ha (27 231 plants/ac)	9,57 t/ha (152,5 bo/ac)
8 km/h	7,6 cm (3,0 po)	67 640 plants/ha (27 373 plants/ac)	9,55 t/ha (152,2 bo/ac)
11,3 km/h	8,2 cm (3,2 po)	66 700 plants/ha (26 996 plants/ac)	9,61 t/ha (153,1 bo/ac)

Source : E. Nafziger, Université de l'Illinois, et H. Brown.

¹ Dans un peuplement parfait où chaque plant est séparé de ses voisins d'exactly 18 cm (7,25 po), l'écart type est de zéro. Si l'écartement des plants varie en moyenne de 5 cm (2 po) en plus ou en moins par rapport à l'écartement voulu de 18 cm (7,25 po), l'écart type est de 5 cm (2 po).

Le rendement du maïs dépend généralement plus de l'uniformité et du moment de la levée ainsi que de la densité des peuplements que de l'uniformité de l'écartement des plants. L'entretien du semoir et le choix des accessoires (coutres, tasse-résidus) doivent viser une mise en place homogène des semis et la préparation du lit de semence en vue d'une levée rapide et uniforme. Il est important de s'assurer que le semoir est de niveau et que tous les disques, les jauges de profondeur et les roues plombeuses sont conformes aux normes, qu'ils sont alignés et qu'ils fonctionnent à la bonne profondeur ou à la bonne pression.

Les vérifications faites avant les semis peuvent également avoir une influence déterminante sur l'uniformité de la levée. Si le champ n'est pas

suffisamment nivelé, si des résidus forment des accumulations par endroits ou si le sol n'a pas été ameubli uniformément, même avec un semoir parfaitement réglé, la mise en place pourrait ne pas être homogène et le lit de semence, ne pas permettre une levée rapide et uniforme.

- Les plants qui lèvent tard et qui ont une ou deux feuilles de retard sur leurs voisins auront probablement un rendement inférieur à celui des peuplements ayant eu une levée uniforme, et peut-être même inférieur à celui des cultures semées plus tard mais ayant eu une levée uniforme.
- Des investissements relativement modestes en temps et en argent (ou les deux) consacrés aux réglages du semoir (installation de nouveaux disques ouvre-sillons, mise à niveau de l'appareil, ajustement des roues plombeuses, réglage de la profondeur des semis) peuvent apporter une augmentation substantielle des rendements et des bénéfices.

Écartement des rangs

Rangs rapprochés

Des recherches menées par le passé ont montré que le rapprochement des rangs de maïs (38 à 60 cm [15 à 24 po] au lieu de 76 à 96 cm [30 à 38 po]) était plus avantageux sous des latitudes plus nordiques que dans les régions intermédiaires et méridionales du Corn Belt. La plupart des producteurs de l'Ontario qui ont opté pour la culture en rangs rapprochés visaient un écartement de 50 cm (20 po), et ils prévoyaient que le gain de rendement de 3 à 8 % qui en découlerait leur permettrait de financer la conversion des semoirs et des têtes. Toutefois, des études récemment effectuées en Ontario par l'Université de Guelph et Pioneer Hi-Bred ltée ont montré que les écartements de 38 cm (15 po) ou de 50 cm (20 po) apportaient un gain de rendement minimal par rapport à l'écartement de 76 cm (30 po). Le principal facteur en faveur des rangs plus rapprochés est qu'ils permettent d'améliorer l'interception de la lumière. Il semble cependant qu'une fois que le feuillage est entièrement développé, l'interception totale de la lumière ne soit pas plus importante dans les rangs rapprochés que dans les rangs plus espacés. Si les rangs rapprochés semblent procurer un gain de rendement, c'est dû à la fermeture plus précoce du couvert végétal et à la meilleure interception de la lumière à la fin de juin et au début de juillet.

Aucune recherche n'a encore permis de trouver des hybrides qui seraient particulièrement bien adaptés à la culture en rangs rapprochés. L'augmentation des densités de peuplement s'est souvent traduite par des gains de rendement comparables à ceux obtenus avec des écartements traditionnels. Les améliorations du rendement peuvent être sporadiques et les facteurs pouvant justifier les coûts d'adaptation de la machinerie peuvent dépendre d'autres facteurs, comme la possibilité d'utiliser un semoir en rangs étroits pour d'autres cultures (p. ex. haricots secs comestibles), la superficie ensemencée et le coût des modifications effectuées. Dans les rangs rapprochés, il y a également des risques plus importants de pourriture de la tige.

Reprise des semis

Il n'existe pas de formule simple pour justifier les décisions de reprise des semis, et chaque cas doit être considéré individuellement. Avant de décider s'il faut reprendre les semis, il faut tenir compte de données telles que :

- la première date de semis;
- la densité de peuplement visée;
- le peuplement réel;
- l'uniformité de la taille des plants;
- l'uniformité de la distribution des plants;
- la date possible de la reprise des semis;
- le coût de la reprise des semis (p. ex. semences, fongicides, insecticides, carburant).

Il est possible d'évaluer la densité d'un peuplement réduit en comptant le nombre de plants sur une longueur de rang équivalente à un millième d'acre (voir tableau 1-11, *Densité de peuplement selon l'espacement des semences*). Il faut répéter cet exercice au moins cinq fois par zone de 10 ha (25 ac) dans des parties différentes du champ. Ensuite, il faut calculer la moyenne de ces échantillons, puis la multiplier par 1 000 pour connaître le nombre de plants par acre. Pour obtenir le nombre de plants par hectare, il faut multiplier le chiffre obtenu par 2,47.

Lors de l'évaluation de la densité de peuplement, il est important d'observer l'uniformité des plants, leur taille et leur distribution sur les rangs. Si le peuplement compte plusieurs vides de 30 à 90 cm (12 à 36 po), le rendement peut diminuer de 2 %. Si les vides sont plus longs, de 1,25 à 2 m (4 à 6 pi), il faut prévoir une baisse de rendement de 5 à 6 % par rapport à celui obtenu avec un peuplement uniforme. Plus les vides sont nombreux et longs sur les rangs, plus les rendements seront réduits.

Le tableau 1-17, *Rendement en grain prévu selon les densités de peuplement*, montre l'effet de la densité de peuplement sur le rendement final en grain. Les rendements sont établis en fonction de peuplements où l'uniformité de la taille et de la distribution des plants est normale. Les rendements correspondant à différentes densités de peuplement sont exprimés en pourcentage du rendement obtenu avec une densité de peuplement finale de 74 000 plants/ha (30 000 plants/ac) semés avant le 10 mai.

La décision de reprendre les semis dépend en grande partie de la disponibilité d'hybrides précoces offrant de bons rendements et des coûts de l'opération. Il faut vérifier si le programme d'utilisation des herbicides permet le passage au soya et, dans la négative, s'il faut procéder à une nouvelle pulvérisation d'herbicide pour le maïs. Il faut ensuite déterminer l'état du reste de la culture. Avant de reprendre les semis, il est essentiel de juger si les facteurs à l'origine du problème au départ sont encore présents (état du sol, maladie, insectes, lésions causées par les herbicides). Si le problème est dû aux insectes ou à la maladie, il faut prévoir les coûts d'un traitement à l'insecticide ou au fongicide.

Tableau 1-17 – Rendement en grain prévu selon les densités de peuplement

Les rendements sont indexés sur une densité de 30 000 plants/ha = 100.

Toutes les données se rapportent à du maïs semé au plus tard le 10 mai.

Les essais ont été menés par le Comité ontarien du maïs entre 2006 et 2010.

Densité de peuplement	Elora (< 2 800 UTC)	Exeter (2 800 à 3 200 UTC)	Ridgetown (> 3 200 UTC)
29 600 plants/ha (12 000 plants/ac)	78	91	97
44 400 plants/ha (18 000 plants/ac)	89	93	91
59 300 plants/ha (24 000 plants/ac)	96	97	97
74 100 plants/ha (30 000 plants/ac)	100	100	100
88 900 plants/ha (36 000 plants/ac)	103	102	101

Les données des recherches effectuées par le Comité ontarien du maïs ont servi à établir un outil d'aide à la décision en matière de reprise des semis (Replant Decision Aid), grâce auquel les producteurs peuvent savoir si la reprise des semis est justifiée selon les conditions de leur champ et le coût de l'opération. Cet outil se trouve sur le site www.gocorn.net.

Gestion de la fertilisation

Azote (N)

Comme le maïs réagit bien aux produits azotés, le sol doit absolument contenir une quantité suffisante d'azote assimilable pour que la culture soit rentable. Un excès d'azote constitue une dépense inutile et augmente les risques de pollution de l'eau souterraine par les nitrates, altère la qualité des eaux de surface et entraîne la production d'oxyde nitreux, un gaz à effet de serre. Par ailleurs, une quantité insuffisante d'azote entraîne une carence en azote.

La carence en azote se manifeste d'abord par le jaunissement des feuilles inférieures, qui apparaît à la pointe, puis progresse le long de la nervure principale (voir photo 1-4). Tôt ou tard, les parties jaunes brunissent et meurent.



Photo 1-4 – Carence en azote se manifestant d'abord sur les feuilles inférieures par le jaunissement de la pointe puis de la nervure principale

Chez les jeunes plants toutefois, des pertes de rendement possibles surviennent bien avant l'apparition des signes de carence, de sorte que le jaunissement n'est pas un indicateur fiable des besoins en engrais azotés.

Il existe deux méthodes pour déterminer les quantités d'azote optimales :

1. Mesure de la teneur du sol en azote des nitrates ($\text{NO}_3\text{-N}$);
2. Recommandations générales fondées sur le rendement attendu, le type de sol, la nature de la culture précédente, le nombre d'UTC de l'endroit, le prix de l'engrais azoté, le prix du maïs et le moment de l'application.

Les signes de carence en azote sont fréquents sur les feuilles inférieures au fur et à mesure que les plants approchent de la maturité, même si le sol contient une concentration d'azote compatible avec un rendement optimal.

Mesure de la teneur du sol en azote des nitrates ($\text{NO}_3\text{-N}$)

L'aptitude des sols à rendre l'azote biodisponible est très variable. La quantité d'azote des nitrates présente dans le sol au moment des semis, ou juste avant la formation des bandes latérales, est un bon indice de la capacité du sol à fournir de l'azote aux plantes. La mesure de la teneur en azote des nitrates au moyen des analyses de sol devrait permettre d'utiliser cet élément de façon plus efficace et plus rentable tout en réduisant le risque de contamination de l'eau souterraine par les nitrates.

Bon nombre des facteurs mentionnés dans les directives générales ont un effet sur la teneur du sol en nitrate; les recommandations concernant la mesure de la teneur du sol en azote des nitrates doivent donc être considérées comme distinctes des directives générales sur l'azote. Des recherches en cours visent à mettre au point les méthodes de prise en compte des résultats des analyses de sol sous forme d'ajustement des directives.

Moment de l'échantillonnage

Les recommandations relatives aux apports d'azote, fondées sur la mesure de la teneur du sol en azote des nitrates, ont été élaborées à partir d'échantillons prélevés dans les cinq jours qui précèdent ou suivent les semis. Cependant, il peut être difficile de faire des prélèvements à ce moment-là. En cette saison, les variations climatiques peuvent avoir une très grande influence sur les résultats des analyses de sol (voir section

Faire preuve de jugement). Pour ces raisons, on prélève de plus en plus souvent les échantillons lorsque le maïs a atteint une hauteur de 15 à 30 cm (6 à 12 po), avant l'épandage de l'azote en bandes latérales; cette méthode s'appelle l'analyse de l'azote des nitrates avant l'épandage en bandes latérales.

En reportant ainsi l'échantillonnage après la saison de pointe des semis, on a plus de temps pour effectuer l'échantillonnage et pour attendre les résultats du laboratoire. En outre, il est devenu évident que les recommandations qui se fondent sur des prélèvements effectués à cette date plus tardive ont davantage de valeur que celles qui sont fondées sur les prélèvements effectués au moment des semis. Cela est particulièrement vrai lorsque le système cultural comprend des sources d'azote organique comme du fumier ou des légumineuses. Les échantillons prélevés en juin selon la méthode de l'analyse de l'azote des nitrates avant l'épandage en bandes reflètent les concentrations de nitrates qui se sont minéralisés à partir de ces sources organiques, et ils reflètent mieux la quantité d'azote total assimilable ainsi que les besoins en engrais azoté.

Prélèvement des échantillons

Il faut prélever un autre échantillon de sol plus profond pour la mesure de l'azote des nitrates parce que ceux-ci sont plus mobiles que le phosphore et le potassium. Ce prélèvement doit être effectué à une profondeur de 30 cm (12 po). Il faut prélever toutes les carottes d'un champ donné à la même profondeur, et indiquer celle-ci sur la feuille de renseignements qui accompagne l'échantillon expédié au laboratoire.

Pour que l'échantillon soit représentatif du champ, il faut utiliser un schéma d'échantillonnage semblable à celui recommandé dans la section *Analyse de sol*, au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*. Comme les variations de la teneur du sol en nitrate peuvent influencer fortement sur les recommandations relatives aux engrais azotés, il faut penser à prélever un plus grand nombre d'échantillons pour les nitrates que pour le phosphore ou le potassium.

Il faut prélever des échantillons distincts :

- des parties qui ont été gérées différemment dans le passé;
- des parties où le type de sol est nettement différent;
- des buttes et des dépressions.

Manipulation des échantillons

Il faut placer les carottes dans un seau de plastique propre, puis les écraser à la main et bien les mélanger. Il faut ensuite prendre environ 500 g (1 lb) de terre du seau et les placer dans un sac de plastique propre ou dans une boîte à échantillons.

Si les échantillons ne sont pas manipulés de façon appropriée, l'activité microbienne peut modifier rapidement leur teneur en nitrates. Par conséquent, il est essentiel de les refroidir ou de les congeler aussitôt que possible. Pour l'expédition, il faut les envelopper dans un matériau isolant qui les maintiendra au frais et les envoyer par service de messagerie pour qu'ils soient livrés au laboratoire sans délai.

Les échantillons peuvent aussi être séchés à l'air : il suffit de les étaler en une mince couche sur une pellicule de plastique propre en brisant toutes les grosses mottes. Après un ou deux jours, ils devraient être secs; ils pourront alors être expédiés sans autre mesure particulière. Il ne faut pas faire sécher les échantillons au four parce que la chaleur peut modifier leur teneur en nitrates.

Faire preuve de jugement

Il faut parfois corriger la quantité recommandée d'azote à épandre selon les résultats des analyses de la teneur du sol en azote des nitrates; en effet le test ne détecte pas l'azote du fumier épandu ou des légumineuses enfouies juste avant l'échantillonnage, qui n'a pas encore été converti en nitrates. Les résultats sont accompagnés d'explications sur le calcul de cette correction.

L'analyse de la teneur du sol en azote des nitrates n'a pas fait l'objet d'une évaluation adéquate dans les cas suivants :

- Enfouissement de légumineuses ou de fumier à la fin de l'été ou à l'automne;
- Parties où le type de sol est nettement différent;
- Utilisation de légumineuses dans un système de semis direct;
- Prélèvement des échantillons avant les semis et avant que le sol ne se soit suffisamment réchauffé (p. ex. milieu ou fin d'avril).

Dans ces cas, il faut donc faire preuve de jugement au moment d'analyser la teneur du sol en azote des nitrates.

Le tableau 1-18, *Directives relatives aux apports d'azote selon la quantité d'azote des nitrates au printemps*, et le tableau 1-19, *Directives relatives aux apports d'azote selon la quantité d'azote des nitrates avant l'épandage en bandes latérales*, montrent les suggestions pertinentes pour des échantillons de sol prélevés à une profondeur de 30 cm (12 po); ces quantités ont été calculées à partir d'un rapport coût de l'azote/prix du maïs de 5. Si ce rapport atteint 7 (c'est-à-dire que le prix de l'engrais azoté aurait monté ou que le prix du maïs aurait baissé), il faudrait réduire les doses indiquées dans ces tableaux de 20 kg/ha (18 lb/ac). Pour en savoir plus, voir la section *Ajustement selon le rapport de prix* à l'annexe B.

Tableau 1-18 – Directives relatives aux apports d'azote selon la quantité d'azote des nitrates au printemps (NO₃-N)

Facteurs de conversion : Pour convertir les kg/ha en ppm pour un échantillon prélevé à 30 cm (12 po), il faut diviser les kg/ha par 4. Par exemple, si la teneur en azote des nitrates d'un échantillon pris dans les 30 premiers centimètres (12 po) de sol est de 32 kg/ha, cela équivaut à : 32 kg/ha ÷ 4 = 8 ppm.

Azote des nitrates au printemps ¹ dans les 30 premiers cm (1 pi) de sol	Quantité d'azote réel suggérée
1 ppm	211 kg/ha
2 ppm	199 kg/ha
3 ppm	186 kg/ha
4 ppm	173 kg/ha
5 ppm	161 kg/ha
6 ppm	148 kg/ha
7 ppm	135 kg/ha
8 ppm	123 kg/ha
9 ppm	110 kg/ha
10 ppm	97 kg/ha
11 ppm	85 kg/ha
12 ppm	72 kg/ha
13 ppm	59 kg/ha
14 ppm	47 kg/ha
15 ppm	34 kg/ha
16 ppm	21 kg/ha
17 ppm	9 kg/ha
18 ppm	0 kg/ha
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Azote des nitrates au printemps : échantillons prélevés dans les cinq jours précédant ou suivant les semis.

Tableau 1-19 – Directives relatives aux apports d'azote selon la quantité d'azote des nitrates avant l'épandage en bandes latérales (NO₃-N)

Échantillons prélevés lorsque le maïs a atteint 15 à 30 cm (6 à 12 po) de hauteur (habituellement dans les deux premières semaines de juin).

Facteurs de conversion : Pour convertir les kg/ha en ppm pour un échantillon prélevé à 30 cm (12 po), il faut diviser les kg/ha par 4. Par exemple, si la teneur en azote des nitrates d'un échantillon pris dans les 30 premiers centimètres (12 po) de sol est de 32 kg/ha, cela équivaut à : 32 kg/ha ÷ 4 = 8 ppm.

Azote des nitrates avant épandage en bandes latérales dans les 30 premiers cm (1 pi) de sol	Rendement prévu					
	7,5 t/ha (120 bo/ac)	9,0 t/ha (143 bo/ac)	10,5 t/ha (167 bo/ac)	12,0 t/ha (191 bo/ac)	13,5 t/ha (215 bo/ac)	15,0 t/ha (239 bo/ac)
0 ppm	197 kg/ha	221 kg/ha	244 kg/ha	269 kg/ha	293 kg/ha	316 kg/ha
2,5 ppm	183 kg/ha	206 kg/ha	230 kg/ha	252 kg/ha	276 kg/ha	299 kg/ha
5 ppm	169 kg/ha	192 kg/ha	214 kg/ha	236 kg/ha	259 kg/ha	282 kg/ha
7,5 ppm	155 kg/ha	177 kg/ha	198 kg/ha	221 kg/ha	242 kg/ha	265 kg/ha
10 ppm	141 kg/ha	161 kg/ha	183 kg/ha	204 kg/ha	225 kg/ha	248 kg/ha
12,5 ppm	127 kg/ha	147 kg/ha	167 kg/ha	188 kg/ha	210 kg/ha	231 kg/ha
15 ppm	111 kg/ha	131 kg/ha	151 kg/ha	171 kg/ha	193 kg/ha	213 kg/ha
17,5 ppm	93 kg/ha	114 kg/ha	134 kg/ha	155 kg/ha	175 kg/ha	196 kg/ha
20 ppm	64 kg/ha	96 kg/ha	118 kg/ha	138 kg/ha	158 kg/ha	178 kg/ha
22,5 ppm	0	67 kg/ha	99 kg/ha	120 kg/ha	141 kg/ha	161 kg/ha
25 ppm	0	0	71 kg/ha	101 kg/ha	123 kg/ha	143 kg/ha
27,5 ppm	0	0	0	74 kg/ha	103 kg/ha	124 kg/ha
30 ppm	0	0	0	0	76 kg/ha	104 kg/ha
32,5 ppm	0	0	0	0	0	77 kg/ha
35 ppm	0	0	0	0	0	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

Laboratoires

Voir à l'annexe C, *Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario*, la liste des laboratoires habilités à mesurer la teneur en azote des nitrates des échantillons de sol.

Une version de cette feuille de calcul en unités de mesure impériales et des notes expliquant chaque partie se trouvent à l'annexe B, *Feuille de calcul des doses d'azote pour le maïs (unités métriques) et explications détaillées*.

Directives générales relatives à l'apport d'azote pour une culture de maïs (unités métriques)

Les chiffres figurant dans cette feuille de calcul sont fondés sur les résultats d'essais effectués de 1961 à 2004. Ils servent de base au calculateur d'azote (Nitrogen Calculator), un outil facile à utiliser qui se trouve sur le site www.gocorn.net. Les doses d'engrais calculées sont celles qui produisent le rendement économique le plus élevé lorsque la gestion est bonne ou supérieure à la moyenne. Les recherches montrent que des doses plus élevées permettent parfois d'accroître les rendements, mais généralement pas assez pour couvrir le prix de l'engrais supplémentaire.

Pour remplir la feuille de calcul, il faut utiliser les valeurs des tableaux.

A. Besoins de base en azote (choisir au tableau A)	_____
B. Ajustement en fonction du rendement (Rendement [t/ha] _____ x 13,6) =	+ _____
C. Ajustement selon le nombre d'unités thermiques Nombre d'UTC-M1 dans la région = _____ Moins - 2 800 Total = _____ x 0,041 =	+ _____
D. Ajustement selon la culture précédente (choisir au tableau D)	- _____
E. Ajustement selon le rapport de prix de l'azote et du maïs (choisir au tableau E)	- _____
F. Dose totale d'azote suggérée (A + B + C - D - E)	= _____
G. Soustraire l'azote appliqué au démarrage	- _____
H. Soustraire l'azote provenant du fumier ¹	- _____
I. Azote additionnel en présemis (F - G - H)	= _____
OU	
J. Azote additionnel en bandes latérales (si une quantité supplémentaire d'azote est appliquée en bandes latérales, multiplier la valeur I par le chiffre correspondant du tableau J)	= _____

¹ Les apports en azote provenant du fumier sont indiqués au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Tableau A. Besoins de base en azote (kg/ha)

Texture du sol	Besoins de base en azote	
	Sud-Ouest et Centre de l'Ontario	Est de l'Ontario*
Argile, argile lourde	53	1
Loam argileux	40	1
Loam	32	1
Sable loameux	46	19
Loam sableux	38	19
Sable	52	19
Argile sableuse, loam sablo-argileux	43	19
Loam limoneux	20	1
Loam limono-argileux	36	1
Argile limoneuse	49	1

* L'Est de l'Ontario comprend Frontenac, Renfrew et les comtés plus à l'est.

Tableau D. Ajustement selon la culture précédente

Culture précédente	Ajustement (kg/ha)
Maïs-grain	0
Maïs à ensilage	14
Céréales	12
Soya	30
Haricots secs comestibles	30
Trèfle en culture couvre-sol (enfoui)	82
Trèfle en culture couvre-sol (semis direct)	67
Fourrages vivaces	
Moins du tiers en légumineuses	0
Un tiers à un demi en légumineuses	55
Plus de la moitié en légumineuses	110

Tableau E. Ajustement selon le rapport de prix de l'azote et du maïs

Prix du maïs	Prix de l'azote (\$/kg)					
	1,00 \$	1,25 \$	1,50 \$	1,75 \$	2,00 \$	2,25 \$
120 \$/t	22	36	50	64	78	*
130 \$/t	18	31	44	57	70	82
140 \$/t	14	26	38	50	62	74
150 \$/t	11	22	34	45	56	67
160 \$/t	8	19	29	40	50	61
170 \$/t	6	16	26	35	45	55
180 \$/t	4	13	22	32	41	50
190 \$/t	2	11	19	28	37	46
200 \$/t	0	8	17	25	34	42
210 \$/t	*	6	14	22	30	38
220 \$/t	*	5	12	20	27	35
230 \$/t	*	3	10	17	25	32

* Pour ces rapports de prix, les ajustements n'ont pas été calculés.

Tableau J. Azote additionnel en bandes latérales – Ajustement en fonction de la période d'application (Sud-Ouest et Centre de l'Ontario seulement)

Texture du sol	Ajustement (kg/ha)
Argile, loam argileux, loam, loam limoneux, argile limoneuse, loam limono-argileux	0,8
Argile sableuse, loam sablo-argileux, loam sableux	0,9
Sable, sable loameux	1,0

Application de l'azote

La plus grande partie de l'azote doit être épandue au printemps, en présemis, en prélevée ou en bandes latérales avant que le maïs n'atteigne 30 cm (12 po). Les épandages d'automne sont déconseillés parce qu'ils comportent un grand risque de pertes (lessivage, volatilisation, ruissellement, oxyde nitreux, etc.).

Une partie de l'azote peut être épandue en bandes au moment des semis. Il est important de ne pas dépasser la dose sûre d'engrais à proximité des semences (voir tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, au chapitre 9). S'il faut appliquer des doses élevées d'azote au moment des semis, il faut le placer dans une bande distincte à plus de 10 cm (4 po) de la ligne de semences.

L'ammoniac anhydre injecté avec du matériel traditionnel doit être placé à au moins 15 cm (6 po) de profondeur. Dans le cas d'injections en présemis, les distributeurs ne doivent pas être espacés de plus de 50 cm (20 po). Si l'espacement est plus important, il est recommandé d'attendre quatre jours avant les semis pour éviter d'endommager les plantules.

Quand on utilise l'outillage approprié, on peut appliquer l'ammoniac avec un cultivateur ou un pulvérisateur à disques à une profondeur d'au moins 10 cm (4 po) en espaçant les distributeurs d'au plus 50 cm (20 po).

Prévention des pertes d'azote

Il existe trois grands facteurs qui contribuent aux pertes d'azote lorsque ce dernier est appliqué sous forme d'engrais :

1. La volatilisation, lorsqu'il s'agit d'urée appliquée en surface;
2. Le lessivage ou la dénitrification en début de saison, lorsque l'azote est appliqué sous forme de nitrate (NO_3);
3. La présence d'azote résiduel en fin de saison, lorsque l'apport est supérieur aux besoins en azote de la culture.

Pour réduire la volatilisation de l'urée, la méthode la plus courante consiste à incorporer ou à injecter l'engrais pour que les particules de sol capturent l'ammoniac qui pourrait se volatiliser. Généralement, il suffit de bien cultiver le champ ou d'effectuer un passage des disques (un passage) pour éliminer

pratiquement tous les risques de volatilisation de l'urée, s'il s'agit d'urée granulaire appliquée en surface. S'il s'agit d'une solution de NAU (28 % ou 32 %), le risque de volatilisation est moindre; d'ailleurs, dans la plupart des cas, un travail du sol peu profond, vertical par exemple, suffit pour éliminer presque entièrement le risque.

L'ajout d'additifs (comme le NBPT, une matière active) qui bloquent l'enzyme uréase peut aussi empêcher la volatilisation de l'urée pendant une longue période.

Les sols humides sont généralement à l'origine des risques de lessivage ou de dénitrification en début de saison. Il s'agit soit de sols sableux qui entraînent le lessivage de l'azote, soit de sols lourds aux conditions saturées qui entraînent la dénitrification de l'azote. Pour réduire ces deux formes de pertes, il faut diminuer la taille de la réserve en nitrates dans le sol avant que la culture n'en absorbe en trop grande quantité. Pour ce faire, on peut retarder l'application d'azote ou utiliser des engrais azotés à libération lente, par exemple des produits enrobés qui retardent physiquement la libération de l'azote, ou des additifs qui ralentissent sa conversion en nitrates.

Pour réduire les pertes d'azote en fin de saison, il faut appliquer des doses d'engrais azoté qui correspondent, à peu de chose près, aux besoins en azote de la culture, afin de réduire la teneur du sol en nitrates résiduels après la récolte.

Stratégies en matière d'azote

Pour une application d'azote réussie, il faut que les doses d'engrais azoté correspondent le plus possible à la différence nette entre l'apport en azote (p. ex. matière organique du sol, résidus de la culture précédente, fumier) et les besoins en azote de la culture. Selon les directives générales du MAAARO concernant l'azote (voir annexe B, *Feuille de calcul des doses d'azote pour le maïs (unités métriques) et explications détaillées*), il existe un grand nombre de facteurs qui permettent de prévoir, en moyenne, les besoins nets en azote dans un champ donné.

Voici d'autres facteurs qui peuvent aider les producteurs à déterminer chaque année l'apport et les besoins en azote :

1. Les précipitations entre le 10 avril et le 10 juin;
2. Le nombre d'UTC accumulées;
3. Le potentiel de rendement selon l'état du peuplement et le début de la croissance des plants;

4. L'imagerie (p. ex. l'indice de végétation par différence normalisée, ou IVDN, grâce auquel on peut définir la couleur et la taille de la culture, et mesurer son taux d'azote potentiel).

Au lieu d'appliquer systématiquement tout l'azote pendant la période des semis, il faut tenir compte des intrants saisonniers et des recommandations générales pour améliorer sa stratégie. En réduisant l'application d'azote pendant les semis, on peut mieux évaluer quelles sont les doses à appliquer pour le reste de l'apport en azote.

Le fractionnement des épandages d'azote, qui consiste à appliquer une partie de l'azote pendant les semis et le reste en bandes latérales (stade V5 ou postérieur), permet souvent de réduire la quantité totale d'azote requise et de gagner en rentabilité. Mais pour que cette stratégie soit vraiment utile, il ne suffit pas de séparer simplement la dose totale d'azote en deux applications : il faut évaluer minutieusement la dose à appliquer la deuxième fois. Des recherches menées par l'Université de Guelph et le MAAARO ont montré que lors de trois saisons de croissance toutes différentes les unes des autres, si l'on appliquait 111 kg/ha (100 lb/ac) d'azote pendant les semis, puis 56 kg/ha (50 lb/ac) en bandes latérales (stade V6), on obtenait une légère amélioration par rapport à une seule application de 168 kg/ha (150 ac) pendant la période de semis. En revanche, en appliquant 111 kg/ha (100 lb/ac) lors des semis, puis

en ajustant la dose d'azote à épandre en bandes latérales de 0 à 90 kg/ha (0 à 80 lb/ac) en fonction des indices saisonniers (p. ex. précipitations, teneur du sol en nitrates), on obtenait de biens meilleurs résultats.

Les épandeurs à haut dégagement, qui sont désormais plus répandus en Ontario, permettent d'épandre l'azote jusqu'à la floraison mâle, ce qui prolonge la période de collecte des indices saisonniers qui servent à déterminer les doses d'azote à appliquer, et réduit le risque que les plants de maïs soient trop hauts pour les épandeurs en bandes latérales tractés traditionnels. Des recherches effectuées dans le Corn Belt des États-Unis ont permis de redéfinir la quantité d'azote qui est absorbée par le plant après le stade VT, comme le montre la figure 1-2, *Absorption de l'azote à différents stades de croissance du maïs*. Il est clair que les plants de maïs ont besoin d'azote après l'apparition des soies. Toutefois, avant de procéder à une application tardive, il importe de prendre en compte les éléments suivants :

- Si de l'azote a déjà été appliqué et qu'il n'a pas disparu de la matrice du sol par lessivage ou dénitrification, il pourra alimenter les plants après l'apparition des soies.
- Jusqu'ici, très peu de recherches ont démontré que les épandages d'azote en bandes latérales effectués tardivement (entre le stade V10 et la floraison mâle) avaient un effet positif sur le rendement.

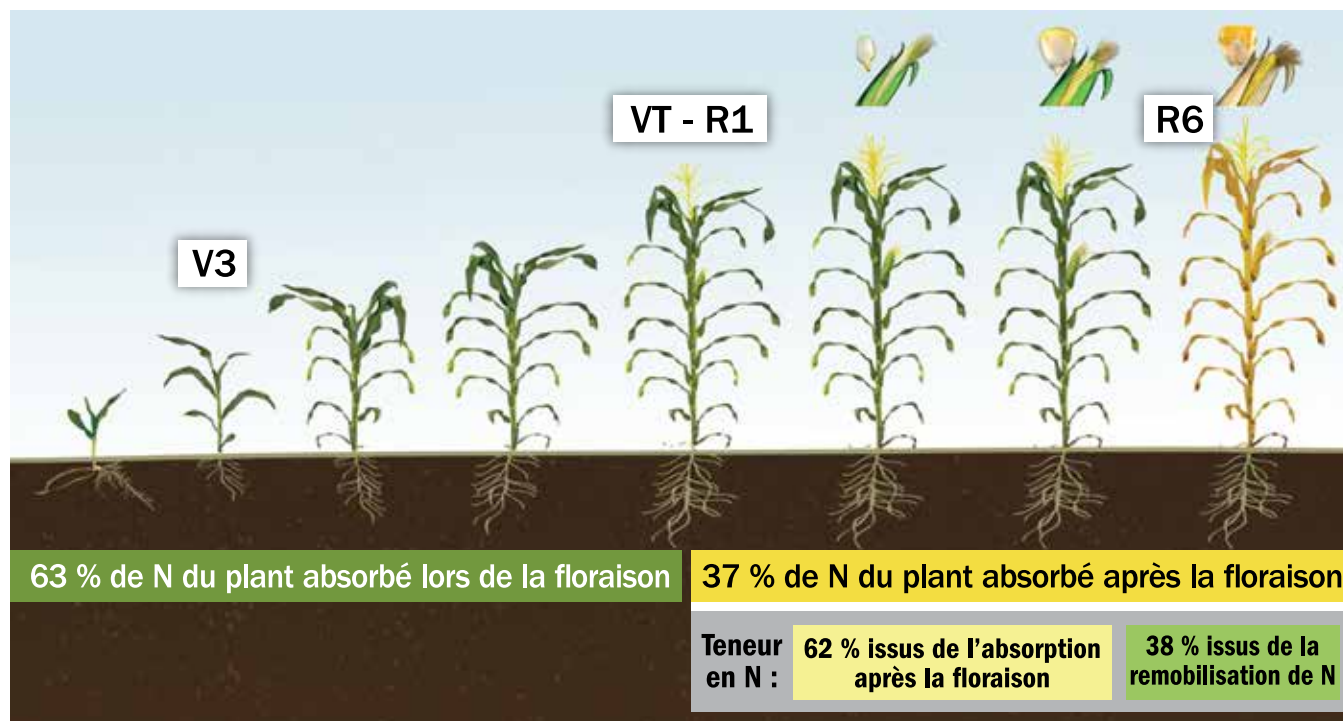


Figure 1-2 – Absorption de l'azote à différents stades de croissance du maïs (photo : DuPont Pioneer)

- Si, en fin de saison, l'azote est épandu en surface ou appliqué en bandes à une faible profondeur (< 5 cm), il se peut qu'il n'y ait pas assez de précipitations pour qu'il s'infiltre dans la matrice du sol et soit absorbé par les racines du maïs.
- Si l'on décide de procéder à une application tardive, il faut épandre une dose adéquate d'azote pendant les semis pour que la culture puisse croître suffisamment jusqu'à la deuxième application (p. ex. entre 67 et 112 kg/ha [60 et 100 lb/ac]).

Phosphate et potasse

Il existe deux méthodes pour gérer le phosphore (P) et le potassium (K) : la méthode axée sur les concentrations convenables, et la méthode axée sur la modification (augmentation ou diminution) et le maintien de la fertilité du sol. Les directives du MAAARO qui figurent dans la présente section reposent sur la méthode axée sur les concentrations convenables. Pour en savoir plus sur ces deux méthodes et leurs effets en matière de phosphore et de potassium, voir le chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Des concentrations suffisantes de phosphore et de potassium sont nécessaires à une croissance et à un rendement optimaux du maïs, même si ces éléments nutritifs ne produisent pas de résultats aussi évidents que l'azote. Une carence en phosphore ne produit pas de signes particuliers, bien que les plants touchés semblent rabougris et prennent parfois une teinte vert foncé ou violacée. La teinte violacée des feuilles peut aussi être un signe de stress occasionné par du temps frais ou de lésions des racines (voir photo 1-5). Les carences en potassium se manifestent d'abord par un jaunissement et un brunissement de la pointe des feuilles inférieures du plant, qui s'étend ensuite au pourtour (voir photo 1-6). Les rendements peuvent souffrir d'une carence en l'un ou l'autre de ces éléments nutritifs ou les deux, même en l'absence de tout signe visible.

Les directives pertinentes figurent au tableau 1-20, *Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour le maïs*, et au tableau 1-21, *Doses de potasse (K_2O) recommandées pour le maïs*.



Photo 1-5 – Feuilles de plants de maïs violacées, résultat d'un stress causé le plus souvent par du temps frais ou des blessures aux racines. Cela peut signifier à l'occasion une carence en phosphore.

Tableau 1-20 – Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour le maïs

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE :

RE = réaction élevée RM = réaction moyenne
RF = réaction faible RTF = réaction très faible
RN = réaction nulle

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium	Quantité de phosphate à appliquer
0 à 3 ppm	110 kg/ha (RE)
4 à 5 ppm	100 kg/ha (RE)
6 à 7 ppm	90 kg/ha (RE)
8 à 9 ppm	70 kg/ha (RE)
10 à 12 ppm	50 kg/ha (RM)
13 à 15 ppm	20 kg/ha (RM)
16 à 20 ppm	20 kg/ha (RM)
21 à 30 ppm	20 kg/ha (RF)
31 à 60 ppm	0 (RTF)
61 ppm et plus	0 (RN) ¹

100 kg/ha = 90 lb/ac

¹ Quand la cote est « RN », l'application du phosphore sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, des apports de phosphate peuvent entraîner des carences en zinc dans les sols pauvres en zinc et augmenter les risques de pollution de l'eau.



Photo 1-6 – Carence en potassium se manifestant d'abord sur les feuilles du bas par le jaunissement et le brunissement de la pointe puis du pourtour des feuilles

Tableau 1-21 – Doses de potasse (K_2O) recommandées pour le maïs

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE :

RE = réaction élevée RM = réaction moyenne
RF = réaction faible RTF = réaction très faible
RN = réaction nulle

Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium	Quantité de potasse à appliquer
0 à 15 ppm	170 kg/ha (RE)
16 à 30 ppm	160 kg/ha (RE)
31 à 45 ppm	140 kg/ha (RE)
46 à 60 ppm	110 kg/ha (RE)
61 à 80 ppm	80 kg/ha (RM)
81 à 100 ppm	50 kg/ha (RM)
101 à 120 ppm	30 kg/ha (RM)
121 à 150 ppm	0 (RF)
151 à 250 ppm	0 (RTF)
251 ppm et plus	0 (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application de potasse sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, l'épandage de potasse dans des sols pauvres en magnésium peut provoquer une carence en magnésium.

Pour plus d'information sur la lecture de ces tableaux ou en l'absence d'une analyse de sol reconnue par le MAAARO, voir la section *Directives relatives aux engrais* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Lorsque les analyses de sol indiquent une carence importante en phosphore et en potassium, la plus grande partie de ces éléments nutritifs peut être épandue à la volée et incorporée au sol, à l'automne ou au printemps. Si les analyses de sol montrent une carence modérée ou faible de l'un ou de l'autre de ces éléments, il faut épandre un engrais contenant de l'azote (de préférence sous forme ammoniacale) et du phosphore, ou bien de l'azote, du phosphore et du potassium comme engrais de démarrage au moment des semis. Tout le phosphore et une partie du potassium peuvent être épandus en bandes, à 5 cm (2 po) à côté des semences et à 5 cm (2 po) sous celles-ci (voir tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*).

Fertilisation au moment du semis

Des essais sur le terrain menés pendant plusieurs années ont montré qu'une application de 10 à 15 kg/ha (9 à 13 lb/ac) de P_2O_5 au moment du semis procure de meilleurs rendements qu'un épandage en bandes latérales de 20 kg/ha (18 lb/ac) de P_2O_5 . Si l'analyse de sol montre des teneurs de 13 à 45 ppm pour le phosphore, il est probable qu'une application avec les semis sera plus profitable qu'un épandage en bandes latérales. Lorsque l'analyse montre une teneur en phosphore inférieure à 13 ppm, l'application de 10 à 15 kg/ha (9 à 13 lb/ac) de P_2O_5 avec les semis peut aussi être bénéfique, mais elle ne saurait remplacer un apport supplémentaire de phosphore par un épandage en bandes latérales ou à la volée.

Les engrais qui accompagnent les semences et qui contiennent de l'azote (sous forme ammoniacale) doivent avoir une faible teneur en sel et ne contenir ni urée, ni phosphate diammonique. De plus, ils doivent être épandus uniformément, faute de quoi ils peuvent être toxiques pour les semences en germination. L'application de plus de 15 kg/ha (13 lb/ac) de P_2O_5 au moment du semis dans des rangs de 75 cm (30 po) de largeur est déconseillée.

Doses maximales sûres d'éléments fertilisants

Une culture de maïs recevant trop d'engrais risque de souffrir d'un excès de sels ou d'ammoniac (voir photo 1-7). Plus l'engrais est concentré et plus il est proche de la semence, plus les risques de dommages sont grands et plus la dose maximale sûre est faible. Les doses maximales sûres à observer sont indiquées au tableau 9-22. Même à ces doses, il peut se produire de légères baisses de rendement et un faible ralentissement de la croissance si la culture est soumise à des conditions météorologiques difficiles.



Photo 1-7 – Les engrais peuvent causer la brûlure des racines séminales, ce qui retarde la croissance jusqu'à ce que les racines coronales se développent. Il en résulte une levée inégale.

Phosphore (P) : épandage en bandes ou à la volée

Pour la même quantité de phosphore, l'épandage en bandes est plus susceptible de produire des gains de rendement du maïs profitables que l'épandage à la volée. Un examen des résultats d'essais effectués en Ontario a montré qu'après un épandage de 50 à 70 kg/ha (45 à 62 lb/ac) de P_2O_5 sur une bande de 5 x 5 cm (2 x 2 po), les gains moyens de rendement étaient trois fois supérieurs à ceux obtenus avec un épandage de phosphore à la volée. Seul l'épandage de phosphore en bandes à raison de 50 à 70 kg/ha (P_2O_5) produisait des gains de rendement qui, en moyenne, étaient profitables.

Le tableau 1-22 montre le rendement moyen du maïs-grain et l'augmentation des profits résultant d'un épandage de phosphate à la volée et en bandes de 2 x 2 po.

Tableau 1-22 – Rendement moyen du maïs-grain et augmentation des profits résultant d'un épandage de phosphate à la volée et en bandes

Taux d'épandage moyen de P_2O_5 : 60 kg/ha (entre 50 et 70 kg/ha)

Les profits ont été calculés à partir d'un prix de vente du maïs de 177 \$/t. c. (4,50 \$/bo) et d'un prix de phosphate monoammonique de 1,43 \$/kg (0,65 \$/lb) de P_2O_5 .

Méthode d'épandage	Gain de rendement	Augmentation des profits
À la volée	0,22 t/ha (3,5 bo/ac)	-47 \$/ha (-19 \$/ac)
En bandes	0,61 t/ha (9,7 bo/ac)	22 \$/ha (9 \$/ac)

Source : Essais du MAAARO effectués entre 2012 et 2014.

Potassium (K) : épandage en bandes ou à la volée

L'ajout de potassium dans les engrais de démarrage peut mener à des gains de rendement du maïs profitables, surtout lorsque les teneurs en potassium sont inférieures à 90 ppm. Le tableau 1-23, *Effet des épandages de potassium à la volée et de diverses options concernant les engrais de démarrage sur le rendement du maïs*, montre les résultats d'essais effectués en Ontario pour évaluer les effets de l'application de divers types d'engrais de démarrage sur le rendement du maïs. Là où les teneurs du sol en potassium étaient inférieures à 90 ppm et où aucun épandage de potassium à la volée n'était effectué, l'épandage d'un mélange de phosphate monoammonique-potasse dans une bande de 5 x 5 cm (2 x 2 po) entraînait un gain de rendement important du maïs. Dans les mêmes conditions, le placement des semences dans des engrais liquides contenant également une petite quantité de potassium produisait des rendements plus élevés que là où on n'utilisait aucun engrais de démarrage ou un engrais de démarrage ne contenant que du phosphore. Sur ces sols à faible teneur en potassium, lorsque cet élément nutritif était épandu à la volée avant les semis (automne ou printemps), l'épandage de potassium à la volée entraînait un gain de rendement notable, et l'importance du gain apporté par les engrais de démarrage était réduite.

De façon générale les résultats indiquent que sur les sols à faible teneur en potassium, l'épandage à la volée est préférable. Cependant, si le régime d'exploitation entre en ligne de compte et s'il est risqué d'épandre à la volée des quantités importantes de potassium pour améliorer les teneurs du sol, le producteur qui est en mesure d'épandre des mélanges secs d'engrais en bandes (phosphore et potassium) peut obtenir des rendements équivalents à ceux que généreraient les autres options.

Sur les sols plus riches en potassium, les gains de rendement créés par toute forme d'épandage de cet élément sont beaucoup moins importants. L'ajout de potassium dans une bande peut amener un gain de rendement, mais l'application de plus fortes doses de potassium dans la bande de 5 x 5 cm (2 x 2 po) ne présente en général qu'un avantage marginal par rapport à l'épandage de quantités moindres dans la raie de semis.

Si le potassium est épandu à la volée avant les semis de maïs, soit à l'automne soit au printemps, le besoin de potassium dans l'engrais de démarrage devient nettement moindre, à moins que les teneurs mesurées soient faibles (RÉ) (inférieures à 61 ppm). Dans ce cas, il est probablement rentable d'effectuer des épandages à la volée pour accroître la fertilité du sol et des épandages en bandes pour répondre aux besoins immédiats de la culture.

Tableau 1-23 – Effet des épandages de potassium à la volée et de diverses options concernant les engrais de démarrage sur le rendement du maïs

6-24-6, épandage de 47 l/ha (5 gal/ac); phosphore (P) et potassium (K), épandage de 35 à 62 kg/ha (31 à 55 lb/ac) de P_2O_5 et de K_2O , les deux en mélange.

Dans le groupe de teneurs de moins de 90, les moyennes des valeurs mesurées étaient de 71 ppm de K et de 21 ppm de P.

Dans le groupe de teneurs de plus de 90, les moyennes des valeurs mesurées étaient de 122 ppm de K et de 27 ppm de P.

Teneur de K dans le sol	Engrais de démarrage	Aucun épandage de K à la volée	Épandage de K à la volée
< 90	Aucun	7,6 t/ha (120 bo/ac)	9,8 t/ha (156 bo/ac)
	6-24-6 (liquide, dans la raie de semis)	8,7 t/ha (139 bo/ac)	9,9 t/ha (158 bo/ac)
	P et K (secs, dans une bande de 2 x 2 po)	10,4 t/ha (168 bo/ac)	10,5 t/ha (166 bo/ac)
> 90	Aucun	11,0 t/ha (176 bo/ac)	11,7 t/ha (186 bo/ac)
	6-24-6 (liquide, dans la raie de semis)	11,7 t/ha (186 bo/ac)	12,0 t/ha (192 bo/ac)
	P et K (secs, dans une bande de 2 x 2 po)	10,9 t/ha (190 bo/ac)	12,2 t/ha (195 bo/ac)

Source : Essais du MAAARO effectués entre 2012 et 2014.

Lorsqu'on dissocie l'application du phosphore de celle du potassium, et qu'on effectue un épandage en bandes pour le premier et un épandage à la volée pour le second, on obtient généralement de meilleurs résultats que lorsqu'on épand les deux éléments en même temps et selon la même méthode.

Éléments nutritifs secondaires et oligo-éléments

Magnésium

Bien que le magnésium soit abondant dans la plupart des sols en Ontario, des carences peuvent se produire dans les sols sableux ou acides. Le premier signe est l'apparition de bandes jaunes sur les feuilles inférieures (voir photo 1-8). À mesure que la carence s'accroît, les feuilles supérieures peuvent également présenter des bandes jaunes tandis que les feuilles inférieures deviennent rouge violacé.

La chaux dolomitique est une excellente source de magnésium là où il faut de la chaux agricole pour corriger l'acidité du sol. Il faut également l'employer sur tous les sols ayant une teneur en magnésium inférieure à 100 ppm. Pour en savoir plus, voir la section *Acidité du sol et chaulage* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Les sols qui n'ont pas besoin de chaux ont rarement besoin de magnésium. Un apport en magnésium n'est recommandé que si l'analyse de sol montre une teneur inférieure à 20 ppm. Sur ces sols, le magnésium peut être appliqué sous forme de sulfate ou, si une application de potassium s'avère également nécessaire, sous forme de sulfate de potasse et de magnésie. On recommande d'appliquer 30 kg de magnésium hydrosoluble par hectare (27 lb/ac).

Une surdose de potassium peut amener des carences en magnésium; il est donc important de surveiller attentivement la teneur du sol en potassium et de s'en tenir aux doses de potasse recommandées dans les rapports d'analyses reconnues par le MAAARO.



Photo 1-8 – Carence en magnésium qui se manifeste d’abord par des bandes jaunes sur les feuilles du bas, qui peuvent devenir rouge violacé à mesure que la carence s’accroît

Soufre

On a rarement observé de carence en soufre dans les cultures de maïs du Sud de l’Ontario. En revanche, au cours des 20 dernières années, les dépôts de soufre provenant de l’atmosphère n’ont cessé de diminuer, si bien que la plupart des régions de la province où l’on cultive du maïs ne reçoivent plus assez de soufre sous forme de précipitations acides. Comme les pénuries de soufre surviennent de plus en plus souvent sur les sols à texture légère, l’ajout de soufre aux engrais épanchés à la volée ou en bandes est plus fréquent. On recommande généralement d’ajouter à l’engrais entre 10 et 20 kg/ha (9 et 18 lb/ac) de soufre sous forme de sulfate.

Zinc

Il arrive que des cultures de maïs en Ontario aient des carences en zinc. Bien que les signes visibles sur les feuilles soient le meilleur indice de ce type de problème, une analyse de sol n’en demeure pas moins utile (voir photo 1-9). Une carence en zinc se manifeste habituellement sous la forme d’une large bande blanche près de la base des jeunes feuilles de maïs. Si elle est grave, l’ensemble de la feuille dans le verticille blanchit (on parle alors de « bourgeon blanc »). À moins que la carence ne soit très marquée, il ne faut pas s’attendre à une réponse visible de la culture à un apport en zinc.

Lorsqu’un apport en zinc est nécessaire, celui-ci peut être mélangé aux engrais et appliqué à raison de 4 à 14 kg/ha (3,5 à 12,5 lb/ac). La dose la plus élevée devrait suffire pour trois ans. Si on applique le zinc en bandes au semis, il ne faut pas dépasser 4 kg/ha (3,5 lb/ac). L’apport de zinc peut aussi se faire par pulvérisation



Photo 1-9 – Carence en zinc prenant la forme d’une large bande blanche près de la base de la feuille chez les jeunes plants

foliaire à raison de 60 g/100 l (0,6 lb/100 gal) de solution. Pour ce faire, on conseille d’utiliser un agent mouillant et de poursuivre la pulvérisation jusqu’à ce que les feuilles soient bien mouillées.

Manganèse

Les carences en manganèse sont rares dans le maïs, bien qu’on en ait signalé quelques cas sur des terres noires à pH élevé dans le Sud-Ouest de l’Ontario. Le maïs est beaucoup plus tolérant aux faibles concentrations de manganèse que le soya ou les céréales. Dans le maïs, une carence en manganèse se manifeste par une teinte vert olive des feuilles, parfois accompagnée de rayures à peine perceptibles. Les pulvérisations foliaires de manganèse sont le moyen le plus efficace pour pallier une carence.

Aussitôt que la carence est détectée, il faut la corriger en pulvérisant sur le feuillage 2 kg/ha (1,8 lb/ac) de manganèse, que l’on obtient en mélangeant 8 kg/ha (7 lb/ac) de sulfate de manganèse et 200 l (53 gal) d’eau. Il est recommandé d’ajouter un mouillant-adhésif à la bouillie. En cas de carence prononcée, une deuxième pulvérisation peut être souhaitable. Avant d’appliquer les oligo-éléments, il faut bien nettoyer le réservoir du pulvérisateur si celui-ci a servi à l’épandage d’herbicides.

Autres oligo-éléments

Les autres oligo-éléments sont peu susceptibles de donner lieu à des carences dans le maïs en Ontario. Certains d’entre eux, dont le bore, peuvent être toxiques s’ils sont appliqués sur le maïs, particulièrement en épandage en bandes ou à même l’engrais de démarrage (Pop-up ou autre).

Analyse des tissus végétaux

Dans le cas du maïs, le stade de croissance le plus propice à l'échantillonnage des tissus végétaux varie selon l'élément nutritif visé. Pour la plupart des éléments, il vaut mieux prélever les échantillons dans le tiers central de la feuille opposée à l'épi, au moment de l'apparition des soies. Pour le phosphore et le zinc, il est conseillé d'échantillonner le plant en entier lorsque cinq ou six feuilles sont visibles. Pour connaître les concentrations normales des différents éléments nutritifs, voir le tableau 1-24, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le maïs*.

Si l'échantillonnage est effectué à un autre moment que celui décrit ci-dessus, il faut prélever dans les zones carencées et dans des zones saines du champ pour permettre des comparaisons. Pour les plants qui ont six feuilles ou moins, il faut prélever l'ensemble de la partie hors du sol. Pour les plants situés entre le stade V7 et celui de l'apparition des soies, il faut prélever la plus jeune feuille entièrement développée. À l'échantillon de tissu végétal, il faut joindre un échantillon de sol prélevé au même endroit et en même temps.

Tableau 1-24 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le maïs
LÉGENDE : — = aucune donnée disponible

Élément nutritif	Concentration critique ¹	Concentration normale maximale ²
Jeunes plants de maïs (cinq à six feuilles)		
Phosphore	0,35 %	0,70 %
Zinc	20,0 ppm	70,0 ppm
Apparition des soies (tiers central de la feuille opposée à l'épi)		
Azote (N)	2,5 %	3,5 %
Phosphore (P)	0,28 %	0,50 %
Potassium (K)	1,2 %	2,5 %
Calcium (Ca)	—	1,5 %
Magnésium (Mg)	0,10 %	0,60 %
Soufre (S)	0,14 %	—
Bore (B)	2,0 ppm	25,0 ppm
Cuivre (Cu)	2,0 ppm	20,0 ppm
Manganèse (Mn)	15,0 ppm	150,0 ppm
Zinc (Zn)	20,0 ppm	70,0 ppm

¹ Prévoir une baisse de rendement due à une carence en un élément nutritif donné lorsque la concentration de ce dernier tombe au niveau critique ou sous celui-ci.

² Les concentrations normales maximales sont plus que suffisantes, mais ne causent pas nécessairement de toxicité.

Fertilisation foliaire

Dans le maïs, les pulvérisations foliaires d'éléments nutritifs donnent généralement peu de résultats et elles endommagent les feuilles, sauf si elles sont fractionnées en de multiples petites doses. L'exception à cette règle est la correction de certaines carences en oligo-éléments, mais même dans ce cas, il est souvent plus économique d'appliquer l'élément nutritif au sol.

Récolte et entreposage

Récolte du maïs

La maturité physiologique (point noir) se produit lorsque la teneur en eau du grain s'élève entre 31 et 33 %. Passé ce stade, aucune matière sèche ne s'y ajoute. Le maïs-grain récolté à des teneurs en eau supérieures à 28 % est souvent considérablement endommagé, ce qui rend sa commercialisation plus difficile. Les marchés de grain de haute qualité alimentaire peuvent exiger que le maïs soit récolté à des teneurs en eau aussi basses que 20 à 22 %.

Il faut évaluer s'il est réellement avantageux de retarder la récolte dans l'espoir d'abaisser les coûts de séchage et d'améliorer la qualité des échantillons, compte tenu des risques accrus de verse, d'affaissement des épis et de temps pluvieux. Pour déterminer s'il faut devancer les dates de récolte dans le but de prévenir les pertes à la récolte, il est conseillé d'inspecter les champs et de vérifier la qualité des tiges. Lorsque celles-ci laissent à désirer, le premier gros vent ou la première pluie violente risque de causer des pertes à la récolte considérables. Il est également important que la tête de la récolteuse fonctionne adéquatement au moment de récolter du maïs dont la tige est peu vigoureuse. Il faut que la vitesse de la tête soit compatible avec la vitesse au sol pour améliorer la circulation des tiges à travers les plaques dépanouilleuses et les rouleaux preneurs. Il est conseillé de les rapprocher au besoin.

L'action de la moissonneuse-batteuse peut nuire à la qualité du grain pour les raisons suivantes :

- Vitesse de rotation du cylindre trop élevée;
- Ouverture du contre-batteur insuffisante;
- Fourrures trop nombreuses sur le contre-batteur;
- Défaut de parallélisme du contre-batteur et du cylindre.
- Quand le maïs a gelé avant d'arriver à maturité, l'expérience montre que le meilleur moyen de maintenir la qualité du grain est de faire fonctionner le cylindre à la vitesse la plus basse possible.

Voici des indications générales pour l'évaluation des pertes à la récolte dues à l'action de la moissonneuse-batteuse :

- Des pertes de 22 grains/m² (2 grains/pi²) équivalent à environ 0,06 t/ha (1 bo/ac);
- Une perte d'un épi de taille moyenne par 1/100 d'acre (6,4 m² [21 pi²]) équivaut à une baisse de rendement de 0,06 t/ha (1 bo/ac).

Si les pertes occasionnées par la moissonneuse-batteuse dépassent 0,16 t/ha (2,5 bo/ac), il faut effectuer les réglages pertinents.

Récolte et entreposage du maïs à ensilage

Voir la section *Ensilage préfané et ensilage de maïs* du chapitre 3, *Cultures fourragères*.

Entreposage du maïs

Séchage et entreposage du maïs

Trois grands types de séchoirs sont utilisés dans les exploitations agricoles :

- Cellules sèches;
- Séchoirs discontinus;
- Séchoirs continus.

Aucun système de séchage en particulier n'est supérieur aux autres. Le choix d'un séchoir à grain dépend des caractéristiques recherchées : capacité de séchage, qualité du grain, efficacité énergétique ou de séchage (BTU/volume d'eau retirée), facilité d'utilisation, main-d'œuvre nécessaire au fonctionnement, possibilité de sécher différents types de cultures, besoin d'entretien et coût d'investissements.

Tous les séchoirs font passer de l'air « sec » sur le grain pour faire évaporer l'humidité qu'il contient et l'évacuer. Cet air de séchage est chauffé, ce qui réduit son humidité relative et accroît ainsi son pouvoir de séchage. On peut sécher du grain humide à des températures plus élevées sans l'endommager parce que l'évaporation de l'humidité le refroidit. Au fur et à mesure que le grain s'assèche, il s'approche de la température de l'air de séchage. Par conséquent, plus il demeure longtemps en contact avec l'air chauffé, plus il devient sec et chaud.

Le grain de maïs sèche à mesure que l'humidité qu'il renferme s'évapore à sa périphérie. La plus grande partie de l'humidité contenue dans le grain est évacuée par la base de celui-ci. Les premiers pourcentages d'humidité sont faciles à éliminer avec relativement peu d'énergie. Les derniers pourcentages se trouvent plus profondément dans le grain. Au fur et à mesure que la périphérie s'assèche, l'humidité doit donc sortir du centre. Or, ce mouvement vers la périphérie du grain n'est pas aussi rapide que l'évaporation produite par le passage de l'air sec sur sa surface; il faut donc davantage d'énergie pour éliminer les derniers pourcentages d'humidité.

Températures de séchage

On peut sécher le maïs à différentes températures, mais celles-ci ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées au tableau 1-25, *Températures maximales de l'air suggérées pour le séchage du maïs destiné à diverses utilisations*. Le maximum recommandé dépend de plusieurs facteurs, dont l'utilisation finale du grain, sa teneur en eau initiale, le type de grain et le modèle de séchoir.

Tableau 1-25 – Températures maximales de l'air suggérées pour le séchage du maïs destiné à diverses utilisations

Utilisation	Température maximale de séchage (°C)
Maïs de semence	45
Fécule de maïs	70
Usages industriels, aliments pour non-ruminants	90
Aliments pour bovins	120

Le pouvoir germinatif est détruit lorsque la température réelle du grain dépasse environ 50 °C, et sa valeur nutritive est réduite lorsqu'il atteint 90 à 100 °C.

Qualité du grain

Pour réduire le fendillement dû au stress, il faut sortir le grain chaud du séchoir, le laisser reposer un moment avant de le soumettre à un débit d'air minimal de 6,5 l/sec/m³ (0,5 pi³/min/bo). Le fendillement des grains dû au stress et les autres dommages physiques qu'ils subissent dépendent de la vitesse d'élimination de l'eau, de leur température maximale ainsi que de leur vitesse de refroidissement après le séchage.

En plus de maintenir la qualité du grain, l'utilisation d'un système d'aération à l'air sec ou d'aération à l'air frais peut augmenter la capacité de fonctionnement du système de séchage. De nombreux producteurs ontariens pratiquent l'aération à l'air frais, qui consiste à retirer le maïs du séchoir pour le placer dans une cellule de stockage où il subit un refroidissement progressif. Ainsi, le maïs chaud est ajouté de façon continue sur la cellule de stockage final où il refroidit lentement.

Séchage à l'air ambiant

Le séchage du maïs à l'air ambiant est possible presque partout dans le Sud de l'Ontario. Cette méthode convient bien aux exploitations d'élevage où l'on souhaite produire un maïs de haute qualité qui est exempt de fissures dues au stress. Une bonne gestion du système de séchage à l'air ambiant est une condition essentielle à l'obtention de bons résultats.

Exigences minimales pour le séchage à l'air ambiant

- Aménager un faux fond entièrement perforé dans la cellule de stockage.
- Nivelier la surface du grain dans toute la cellule de stockage.
- Assurer un débit d'air d'au moins 26 l/sec/m³ (2 pi³/min/bu), ou plus de préférence.
- Récolter le maïs lorsqu'il contient au plus 25 % d'humidité.
- Nettoyer le grain afin de le débarrasser des morceaux de rafles et des particules fines.
- Mesurer précisément la teneur en eau du maïs dans la cellule de stockage.
- Bien lire la température de l'air et l'humidité relative à l'extérieur.
- Bien connaître la teneur en eau à l'équilibre du maïs.
- Après avoir rempli la cellule de stockage, retirer un peu de grain du centre (par la vis de déchargement). (Le mieux est de retirer quelques chargements de la cellule. Cela crée un couloir vertical de chute et élimine la colonne de particules fines qui a pu s'accumuler au centre. Nettoyer le grain retiré avant de le remettre dans la cellule de stockage. Même si les chargements sont replacés immédiatement dans la cellule sans nettoyage, ils offrent moins de résistance au passage de l'air que si on ne les avait pas enlevés.)
- Installer un interrupteur de commande du ventilateur.

Quand faire fonctionner le ventilateur

On ne fait pas fonctionner le ventilateur tout à fait de la même façon pour sécher le maïs à l'air ambiant que pour sécher d'autres cultures.

- Une fois que la cellule de stockage est assez remplie pour maintenir en place le faux fond perforé, on peut mettre le ventilateur en marche.
- Il faut le faire fonctionner sans interruption pendant les trois premières semaines après le remplissage de la cellule, ou tant que le premier front de séchage n'a pas atteint la surface du grain.
- Le premier front de séchage a atteint la surface du grain lorsqu'il y a une baisse notable de la teneur en eau du maïs à cet endroit.
- Avant cela, le niveau d'humidité du maïs qui se trouve devant ce front reste le même qu'à la récolte et peut même augmenter légèrement par rapport au maïs sous-jacent.
- Si on éteint le ventilateur pendant une période prolongée au début du processus de séchage, on risque de stopper définitivement la progression du front de séchage, qui peut ne plus reprendre sa progression même après la remise en marche du ventilateur; le maïs qui se trouve au-delà sera donc exposé à la détérioration.
- Une fois que le premier front de séchage a atteint la surface du grain, il faut commencer à gérer le fonctionnement du ventilateur à l'aide du tableau 1-26, *Teneur en eau à l'équilibre du maïs exposé à l'air*.
- On peut laisser le ventilateur en marche tant que les conditions extérieures permettent le séchage du maïs le plus humide de la cellule. Il peut arriver que cette méthode mène à un léger accroissement de la teneur en eau du maïs situé au fond de la cellule; cependant ce phénomène contribue en fait à assécher l'air, qui assèche lui-même davantage les couches situées au-dessus.

Beau temps, mauvais temps, le ventilateur doit fonctionner tant que le premier front de séchage n'a pas atteint la surface du grain.

Parfois, le maïs n'atteint pas la teneur en eau souhaitée avant les grands froids. Le séchage à l'air ambiant à des températures inférieures au point de congélation est très lent et inefficace.

Par conséquent, on peut être obligé d'attendre le début du printemps pour éliminer les derniers pourcentages d'humidité. Certains éleveurs ne terminent jamais le séchage du maïs destiné au fourrage après l'hiver parce qu'il se transforme et s'entrepasse bien à des teneurs en eau plus élevées.

Tableau 1-26 – Teneur en eau à l'équilibre du maïs exposé à l'air

Température (°C)	Humidité relative (% à l'état humide)				
	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
0	13,7	15,1	16,6	18,4	21,3
5	13,1	14,4	15,9	17,8	20,7
10	12,5	13,8	15,4	17,3	20,2
15	11,9	13,3	14,9	16,8	19,8
20	11,5	12,8	14,4	16,4	19,4
25	11,0	12,4	14,0	16,0	19,0

Il existe des humidistats qui permettent un pré réglage du taux d'humidité relative auquel le ventilateur sera mis en marche. Les cellules de stockage pourvues de dispositifs de brassage afficheront des taux d'humidité relativement uniformes.

Le grain ayant une teneur en eau de plus de 25 % peut encore être séché à l'air ambiant. Pour ce faire, il faut remplir partiellement la cellule de stockage de façon à assurer un débit d'air de 52 à 78 l/sec/m³ (4 à 6 pi³/min/bo). Les producteurs ayant besoin de maïs qui sera consommé comme fourrage à la fin du mois de septembre peuvent récolter les tournières et entreposer ce grain dans la cellule de stockage. Les températures douces de la fin de septembre, conjuguées à un débit d'air plus élevé, permettront un séchage en quelques semaines.

Teneur en eau à l'équilibre

Des chercheurs ont mis au point des tableaux qui indiquent la teneur en eau finale du maïs selon la température et l'humidité relative de l'air (voir tableau 1-26, *Teneur en eau à l'équilibre du maïs exposé à l'air*). Par exemple, pour connaître la teneur en eau à l'équilibre de maïs exposé à l'air extérieur

à 10 °C et à 70 % d'humidité relative, il suffit de trouver l'intersection de la rangée et de la colonne correspondantes dans le tableau. La valeur indiquée à cet endroit (15,4 %) est la teneur en eau à l'équilibre du maïs.

Autres problèmes liés aux cultures

Insectes et maladies

La figure 1-3, *Calendrier de dépistage des ennemis du maïs*, indique quels sont les insectes et les maladies qui peuvent être à l'origine des signes observés dans le champ. Les descriptions de chacun des insectes, animaux nuisibles et maladies et des stratégies de dépistage et de lutte se trouvent au chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et au chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*.

Application de fongicides et moment de l'application

Au cours des 10 dernières années, le recours aux fongicides s'est considérablement accru. La plupart des applications ont lieu au stade VT (formation des panicules ou apparition des soies); si elles ont lieu plus tôt (p. ex. au stade de 8 à 10 feuilles), elles sont généralement moins efficaces. L'application d'un fongicide doit reposer sur le dépistage et la présence d'une maladie. Il faut choisir le produit qui correspond le mieux à la maladie, et l'épandre au bon moment. Par exemple, pour lutter contre la moisissure de l'épi et réduire les mycotoxines, il faut recourir à certains fongicides et les épandre à un moment précis, tandis que pour lutter contre les maladies foliaires, il faut recourir à d'autres fongicides et les épandre à un autre moment.

En règle générale, lorsqu'il s'agit d'évaluer si l'application d'un fongicide sera rentable ou non, les deux facteurs qui pèsent le plus dans la balance sont le prix de l'application (coût du produit et de l'opération) et le prix du maïs. Mais d'autres facteurs entrent aussi en ligne de compte, notamment :

- La pression exercée par les maladies;
- La culture précédente;
- Les précipitations;
- La vulnérabilité des hybrides aux maladies.

Pour en savoir plus sur l'utilisation des fongicides, voir la section à ce sujet au chapitre 16.

39

Froid

Froid en début de saison

Les dommages causés par le gel en mai ou en juin ont généralement peu de conséquences, pourvu que le point végétatif soit encore sous la surface du sol, ce qui est le cas jusqu'à ce que le jeune plant ait plus ou moins six feuilles (stade V6). Sur les plants plus avancés ou lorsque les dommages sont plus graves, il faut fendre les tiges pour voir si le point végétatif a été endommagé. Cette vérification prend un certain temps, puisqu'il faudra probablement attendre trois à cinq jours après l'épisode de gel pour évaluer avec précision l'ampleur des dégâts et vérifier si les points végétatifs sont sains (blancs jaunâtres et fermes) ou constater la reprise de la croissance foliaire.

Les tissus foliaires gelés se décolorent et prennent une couleur de paille plusieurs jours après la gelée. Dans certains cas, ils peuvent former un « nœud » qui nuit à l'expansion des tissus non endommagés situés plus bas dans le verticille (voir photo 1-10). Des producteurs ont essayé de faucher leur champ gelé pour couper les nœuds et aider les plants à se remettre, mais des études ont montré que les plants se rétablissent aussi rapidement et ont le même rendement quand on n'y touche pas.



Photo 1-10 – Maïs endommagé par le gel à la mi-juin. Les plants plus petits peuvent s'en remettre, mais la croissance des plants plus vieux peut être limitée par les tissus détruits par le gel.

Si la météo prévoit un risque de gel, il faut penser à retarder le sarclage des entre-rangs, l'épandage de l'azote en bandes latérales ou les applications d'herbicides jusqu'à ce que les températures se radoucissent. Tout ce qui dérange la surface permet à de plus grandes quantités d'air de pénétrer dans le sol et isole les plants de maïs de la chaleur contenue dans la masse du sol, ce qui augmente les risques de dommages causés par le gel. De la même façon, les résidus de culture et les mauvaises herbes agissent comme une barrière au transfert de la chaleur du sol vers les plants de maïs. Par ailleurs, les sols secs sont plus propices aux dommages causés par le gel parce qu'ils retiennent moins bien la chaleur le jour, ce qui réduit la quantité de chaleur pouvant être transférée aux plants de maïs et protège ceux-ci pendant la nuit.

Froid en fin de saison

Au stade du remplissage des grains en août et en septembre, le froid peut causer des baisses de rendement et de qualité dont l'ampleur dépend du stade phénologique du maïs et des températures enregistrées.

Lorsque les températures tombent à 0 °C, le gel endommage d'abord les feuilles, ce qui interrompt la photosynthèse, ralentit le remplissage des grains et nuit souvent à la vigueur de la tige. Toutefois, tant que la température de l'air ne tombe pas sous les 2 °C, les tissus de la tige restent viables et les éléments qui la constituent sont donc mobilisés pour remplir l'épi autant que possible. Par contre, si les températures chutent sous les -2 °C, les feuilles et la tige peuvent être endommagées, ce qui met un terme à la fois à la photosynthèse et à la remobilisation des éléments nutritifs. Le remplissage des grains prend fin, et le point noir apparaît. Le tableau 1-27, *Risques estimatifs de baisse du rendement et de la qualité du maïs-grain associés aux dommages causés par le gel en fin de saison*, montre les répercussions possibles des dégâts provoqués par le gel.

En général, le début de l'apparition de la dent est le moment crucial à partir duquel le gel peut endommager les feuilles de maïs sans qu'il y ait de grandes répercussions sur le rendement en grain. Ce stade se caractérise par l'apparition de petites indentations dans la couronne du grain, à tout le moins dans la partie inférieure de la rafle.

Tableau 1-27 – Risques estimatifs de baisse du rendement et de la qualité du maïs-grain associés aux dommages causés par le gel en fin de saison

Ce tableau sert de guide. Les différences entre hybrides, la vigueur d'ensemble du plant au moment du gel et les températures subséquentes ont toutes une influence sur le rendement en grain et la qualité de celui-ci.

Stade de croissance de la culture	Dommages causés par le gel	Perte de rendement en grain estimative	Problèmes de qualité du grain
Mi-pâteux	Plant au complet	40 %	Graves
Mi-pâteux	Feuilles seulement	25 %	Graves
Début de l'apparition de la dent	Plant au complet	25 %	Moyens
Début de l'apparition de la dent	Feuilles seulement	15 %	Moyens
Ligne d'amidon 1/2	Plant au complet	10 %	Mineurs
Ligne d'amidon 1/2	Feuilles seulement	0 à 5 %	Inexistants

Même en l'absence de dommages causés par le gel, plusieurs nuits froides d'affilée peuvent compromettre le remplissage des grains. Dans une étude menée à l'Université de Guelph, M. Thys Tollenaar a constaté qu'après des nuits où les températures étaient tombées à 2 °C, la photosynthèse et la vitesse de remplissage des grains avaient diminué de 50 %. Toutefois, au retour de températures plus clémentes, les mêmes plants avaient repris leur activité et affichaient des taux de croissance comparables à ceux des plants qui n'avaient jamais été exposés au froid. Tant que le maïs n'a pas été gravement endommagé par le gel, le remplissage des grains devrait se poursuivre après le retour des températures normales.

Dans certains cas, les dommages causés par le froid obligent à récolter le maïs comme ensilage et non sous forme de grain. Mais le gel pose également d'importants problèmes pour le maïs à ensilage. Le maïs à ensilage qui a gelé avant que la ligne d'amidon n'atteigne la moitié de la hauteur du grain (ligne d'amidon 1/2) risque de contenir trop d'humidité pour se prêter à l'ensilage. Idéalement, dans ce cas, il faut retarder la récolte de maïs jusqu'à ce que le plant entier atteigne la teneur en eau souhaitée pour l'ensilage.

Stress dû à la chaleur

Le stress dû à la chaleur est différent de celui dû à la sécheresse (voir photo 1-13). Le maïs peut habituellement tolérer des températures atteignant 38 °C avant de subir des dommages, dans la mesure où il n'est pas en même temps soumis à la sécheresse. La sensibilité à la température et à la sécheresse varie d'un hybride à l'autre. Ceux qui tolèrent bien la sécheresse peuvent donner des rendements décevants, et ils ne constituent pas un bon choix pour les saisons normales.

Grêle

Les plants de maïs endommagés par la grêle peuvent présenter une réduction de la surface foliaire, des meurtrissures des épis et des tiges et, dans les cas graves, des bris de tiges (voir photo 1-11). Ces lésions peuvent aussi constituer une porte d'entrée pour des maladies comme le charbon. Les pertes de rendement ainsi causées dépendent du stade de la culture au moment où la grêle survient et de l'ampleur de la défoliation. Elles sont plus importantes lorsque le maïs est défolié durant la floraison mâle. Dans le cas des plants plus jeunes, la grêle peut retarder leur croissance et leur développement, mais elle ne cause généralement que des pertes de rendement mineures. La défoliation des plants qui sont presque à maturité cause en général des pertes de rendement peu importantes. Voir le tableau 1-28, *Pourcentage estimatif de pertes de rendement du maïs-grain après une défoliation à divers stades de croissance*, pour évaluer les conséquences possibles de la grêle.



Photo 1-11 – Les pertes de rendement les plus grandes attribuables à la grêle surviennent lorsque le maïs est défolié durant la floraison mâle

**Tableau 1-28 – Pourcentage estimatif de pertes de rendement
du maïs-grain après une défoliation à divers stades de croissance**

Stade de croissance ¹	Défoliation																			
	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %	100 %	
7 feuilles	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	5	5	6	7	8	9	9	
9 feuilles	0	0	0	1	1	2	2	3	4	5	6	6	7	7	9	10	11	12	13	
11 feuilles	0	0	1	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	
13 feuilles	0	1	1	2	3	4	6	8	10	11	13	15	17	19	22	25	28	31	34	
15 feuilles	1	1	2	3	5	7	9	12	15	17	20	23	26	30	34	38	42	46	51	
17 feuilles	2	3	4	5	7	9	13	17	21	24	28	32	37	43	48	53	59	65	72	
18 feuilles	2	3	5	7	9	11	15	19	24	28	33	38	44	50	56	62	69	76	84	
19 à 21 feuilles	3	4	6	8	11	14	18	22	27	32	38	43	51	57	64	71	79	87	96	
Floraison mâle	3	5	7	9	13	17	21	26	31	36	42	48	55	62	68	75	83	91	100	
Floraison femelle	3	5	7	9	12	16	20	24	29	34	39	45	51	58	65	72	80	88	97	
Brunissement des soies	2	4	6	8	11	15	18	22	27	31	36	41	47	54	60	66	74	81	90	
Pré-gonflement	2	3	5	7	10	13	16	20	24	28	32	37	43	49	54	60	66	73	81	
Gonflement	2	3	5	7	10	13	16	19	22	26	30	34	39	45	50	55	60	66	73	
Début laiteux	2	3	4	6	8	11	14	17	20	24	28	32	36	41	45	50	55	60	66	
Laiteux	1	2	3	5	7	9	12	15	18	21	24	28	32	37	41	45	49	54	59	
Fin laiteux	1	2	3	4	6	8	10	12	15	18	21	24	28	32	35	38	42	46	50	
Pâteux mou	1	1	2	2	4	6	8	10	12	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41	
Début de l'apparition de la dent	0	0	1	1	2	3	5	7	9	11	13	15	18	21	23	25	27	29	32	
Dent formée	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Maturité	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tableau adapté d'un document intitulé *Corn Loss Instruction* (rév. 1994) de National Crop Insurance Services et reproduit avec l'autorisation de cet organisme.

¹ Déterminé selon la méthode de la feuille recourbée (c.-à-d. 40 à 50 % de la feuille sortie du verticille et pointe de la feuille orientée au-dessous de l'horizontale).

Inondation

L'inondation du sol impose un stress aux plants en privant leurs racines d'oxygène. Les plants les plus jeunes meurent s'ils sont submergés pendant plus de cinq jours, particulièrement si le temps est doux. Si la température de l'air est élevée, la mort des plants peut survenir en quelques jours seulement parce que leur métabolisme est très actif, de sorte que leurs racines ont besoin de grandes quantités d'oxygène. Si le temps est plus frais, les plants submergés peuvent survivre pendant une semaine maximum. Après le stade de 8 feuilles, ils peuvent tolérer une submersion de plus de huit jours, mais ils peuvent alors devenir plus susceptibles à la maladie (mildiou à sommité déformée), et leur croissance racinaire peut être ralentie pendant la durée de l'inondation (voir photo 1-12). Les pertes de rendement dues aux inondations sont plus graves si les plants sont submergés immédiatement avant ou pendant les floraisons mâle (formation des panicules) et femelle (apparition des soies). Lorsque les plants sont aux stades végétatifs de 10 à 16 feuilles ou de remplissage des grains, l'inondation nuit peu au rendement.



Photo 1-12 – Le mildiou à sommité déformée est une maladie qui touche les plants de maïs submergés après le stade de 8 feuilles

Sécheresse

Pendant la saison de croissance, les cultures de maïs ont besoin d'environ 50 cm (20 po) d'eau pour produire des rendements élevés. Il peut s'agir de l'eau emmagasinée dans le sol, des précipitations ou de l'eau d'irrigation.

Le manque d'eau fait flétrir les feuilles, qui prennent une teinte grisâtre (voir photo 1-13). C'est entre le moment de la formation des panicules et celui de l'apparition des soies que le maïs souffre le plus de la sécheresse et que celle-ci peut occasionner des pertes de rendement si un autre stress est présent. Pendant les stades végétatifs qui suivent (V8 à V14), la sécheresse peut en fait être bénéfique aux plants puisqu'elle force les racines à s'enfoncer rapidement dans le sol. Par contre, si elle survient pendant l'apparition des soies, la période de sécheresse peut nuire à la pollinisation et empêcher les soies d'apparaître; si elle survient après le stade de l'apparition des soies, elle peut nuire au remplissage des grains.



Photo 1-13 – La carence en eau (ou stress dû à la sécheresse) est la plus néfaste quand elle survient du stade de la formation des panicules et à celui de l'apparition des soies

Dommages causés par les oiseaux

Les oiseaux peuvent endommager les plantules au moment de la levée. Toutefois, les dommages les plus graves sont ceux qui touchent les grains en août et en septembre (voir photo 1-14). Les oiseaux mangent les grains à même la rafle et causent des pertes de rendement directes; les lésions subies par les grains peuvent ensuite constituer une porte d'entrée pour les moisissures. Les oiseaux peuvent aussi endommager les épis en cherchant des insectes qui s'en nourrissent, comme le ver-gris occidental du haricot. Il est facile de confondre les dommages produits par les oiseaux avec les lésions infligées aux plantules par le ver-gris noir ou celles causées aux épis causés par les sauterelles. On

peut employer plusieurs techniques simultanément pour réduire de tels dommages, comme des bruiteurs, des canons au propane, des détonations, une sirène de marque Phoenix ainsi que des enregistrements de cris d'oiseaux en détresse, et on en modifie fréquemment les réglages ou les sources sonores. Si les oiseaux ou les animaux sauvages causent des dégâts importants, il faut communiquer avec le ministère des Richesses naturelles et des Forêts pour connaître les méthodes de lutte possibles.



Photo 1-14 – Dommages attribuables aux oiseaux sur un épi de maïs

2. Soya

Le soya est la culture en rangs qui occupe la plus grande superficie de la province, avec plus d'un million d'hectares (2,47 millions d'acres) cultivés chaque année. En 2014, pour la première fois, cette superficie a atteint 1,21 million d'hectares (3 millions d'acres). Les facteurs qui ont contribué à la généralisation de cette production sont la création de cultivars plus précoces, les possibilités d'adaptation au semis direct, un plus vaste choix d'herbicides et les coûts de production relativement faibles.

Les cultivars tolérants au glyphosate représentent environ 75 % de la production totale, le reste étant constitué de variétés non génétiquement modifiées. La demande pour des produits à identité préservée destinés à des marchés de spécialité (p. ex. de consommation humaine, organismes non génétiquement modifiés, aliments biologiques) a fait apparaître en Ontario des possibilités commerciales distinctes des débouchés traditionnels du soya que sont la production d'huile et la fabrication d'aliments pour le bétail. L'Ontario est mondialement reconnu pour sa filière du soya à identité préservée. De plus, le soya est le premier produit agricole d'exportation en importance de la province.

Méthodes de travail du sol

On peut cultiver le soya selon diverses méthodes de travail du sol, notamment le semis direct et le travail réduit du sol. L'une ou l'autre de ces méthodes est par ailleurs utilisée sur environ deux tiers des cultures de soya. Depuis quelques années, la méthode traditionnelle et le travail du sol vertical gagnent en popularité, surtout dans les comtés du Nord. Mentionnons aussi que la gestion de la méthode de travail du sol est tout aussi importante que le choix de la méthode.

Semis direct et travail réduit du sol

D'après l'expérience acquise sur le terrain et des essais menés en Ontario, ces deux méthodes donnent un rendement similaire : le rendement des cultures de soya en semis direct est comparable à celui des cultures effectuées par labour d'automne à la charrue à socs,

avec des rangs espacés de 56 cm (22,5 po) ou moins et avec des rangs jumelés (voir tableau 2-1, *Rendement du soya selon la méthode de travail du sol*). Bien que ces deux méthodes donnent un rendement comparable, le semis direct permet de réaliser de meilleurs profits parce qu'il est moins coûteux en intrants. Pour ce qui est des rangs simples espacés de 76 cm (30 po), c'est le labour à la charrue à socs qui a produit le meilleur rendement. Par contre, les rangs jumelés ont donné des rendements plus élevés que les rangées espacées de 76 cm (30 po), et ce, avec toutes les méthodes de travail du sol. De plus, cette étude n'a pas permis de montrer que le travail du sol par bandes en profondeur produisait une amélioration notable du rendement par rapport au semis direct. D'autres essais effectués en Ontario montrent que la méthode traditionnelle donne un rendement légèrement plus avantageux (environ 0,13 t/ha [2 bo/ac]) que le semis direct. Cet écart peut se creuser si les conditions sont extrêmes. De façon générale, le travail du sol amène une amélioration plus rapide et plus prononcée dans les champs où la rotation des cultures est déficiente que là où elle comprend de moins grandes quantités de soya. Toutefois, à long terme, le semis direct donne un meilleur rendement que la méthode de travail du sol, surtout dans les champs où le soya fait souvent partie de la rotation. Par ailleurs, la présence récurrente de soya dans la rotation entraîne une dégradation de la structure du sol, de la matière organique et de la santé du sol en général, ce qui contribue au rendement de la culture. Dans les sols mal drainés, lourds ou compactés, une forme ou une autre de travail du sol est souvent bénéfique au soya. Le semis direct donne régulièrement un meilleur rendement que la méthode traditionnelle, en particulier les années sèches ou sur les sols plus légers. De plus, cette méthode peut être d'un grand secours si l'on cherche à rétablir un champ qui a été gravement touché par la pourriture à sclérotés.

Dans la culture par semis direct, les clés du succès sont la réduction de la compaction du sol, la gestion des résidus et la mise en terre lorsque le sol est prêt. Sur des sols à texture lourde (p. ex. argile, loam limono-argileux et argile limoneuse), la mise en œuvre du semis direct peut être plus difficile que sur les sols plus légers, notamment dans les régions plus

Tableau 2-1 – Rendement du soya selon la méthode de travail du sol

Un écart de moins de 0,16 t/ha (2,4 bo/ac) est sans importance sur le plan statistique.

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible

Méthode de travail du sol ¹	Écartement des rangs				
	Rang simple 76 cm (30 po)	Rangs jumelés 76 cm (30 po)	Rang de 56 cm (22,5 po)	Rang de 38 cm (15 po)	Rang de 19 cm (7,5 po)
Semis direct	2,72 t/ha (40,4 bo/ac)	3,04 t/ha (45,3 bo/ac)	2,93 t/ha (43,6 bo/ac)	3,06 t/ha (45,5 bo/ac)	3,06 t/ha (45,5 bo/ac)
Charrue à socs à l'automne	2,94 t/ha (43,8 bo/ac)	3,02 t/ha (44,9 bo/ac)	2,93 t/ha (43,6 bo/ac)	3,12 t/ha (46,4 bo/ac)	3,21 t/ha (47,7 bo/ac)
Travail du sol par bandes en profondeur à l'automne	2,78 t/ha (41,3 bo/ac)	2,93 t/ha (43,6 bo/ac)	–	–	–
Travail du sol par bandes en profondeur au printemps ²	2,71 t/ha (40,3 bo/ac)	3,02 t/ha (45,0 bo/ac)	–	–	–

¹ Essais effectués sur les loams de types suivants : argileux, limono-argileux, limoneux et Guelph.

² Travail du sol par bandes en profondeur au printemps effectué environ un jour avant les semis.

fraîches. Par ailleurs, si la culture précédente a laissé des résidus de maïs en grande quantité, le semoir pour semis direct peut avoir du mal à pénétrer le sol, ce qui risque fort de réduire la densité de peuplement.

Dans les cultures par semis direct, on effectue parfois les semis plus tard que dans les champs soumis au travail traditionnel, parce que le sol est plus humide et plus frais. Certains producteurs effectuent un travail du sol vertical au printemps (travail du sol peu profond qui laisse la majeure partie des résidus à la surface), ce qui permet de réduire cet écart. Le travail vertical par passage unique de coutres produit un léger gain de rendement par rapport au simple semis direct. En effet, le passage de coutres à une profondeur de 9 cm (3,5 po) au moment des semis a donné un gain de rendement marginal, et le passage de coutres à une profondeur de 3,8 cm (1,5 po) n'a donné aucune amélioration dans les recherches dont les résultats sont résumés au tableau 22, *Effet du travail réduit du sol au printemps sur le rendement du soya*. Avant d'effectuer un travail du sol vertical, il faut impérativement attendre que la couche souterraine soit suffisamment sèche pour que le sol ne soit pas compacté. Le soya est très sensible à la compaction du sol. Même si les cinq premiers centimètres (2 po) du sol sont assez secs pour permettre un travail vertical, l'opération pourrait entraîner le compactage de la couche souterraine si elle est trop humide, et par le fait même une réduction du rendement.

Gestion des résidus de culture

Quand on sème du soya après des céréales, dès la récolte de celles-ci, on doit porter une attention particulière à la gestion des résidus afin de ne pas nuire à l'établissement du soya. La meilleure méthode consiste à enlever la paille et à étaler la paillette en une couche uniforme. Le retrait de la paille de blé a pour effet d'améliorer l'état des lits de semence et de favoriser l'établissement du peuplement, la croissance et le rendement du soya en semis direct (voir tableau 2-3, *Effets du travail du sol et de la gestion des résidus de blé sur le rendement du soya*). Les résidus céréaliers forment parfois un tapis qui ralentit le réchauffement et l'assèchement du sol au printemps; cela peut avoir pour effet de retarder les semis, la levée et le début de la croissance du soya, et d'accroître les dommages causés par les limaces.

Avec les rendements de maïs qui sont plus élevés et les tiges qui sont plus vertes à la récolte, les producteurs doivent gérer une plus grande quantité de résidus de maïs, qui se traduit par le même type de problèmes que dans le cas des résidus de céréales : peuplements clairsemés, croissance lente, présence de limaces, etc. En présence de résidus en abondance, il vaut mieux utiliser un semoir en ligne avec un écartement de 38 cm (15 po) plutôt qu'un semoir pour semis direct. On peut aussi effectuer un travail vertical ou une forme ou une autre de travail réduit du sol pour réduire la quantité de résidus de maïs que doit traverser

Tableau 2-2 – Effet du travail réduit du sol au printemps sur le rendement du soya

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible

Méthode de travail du sol ¹	Profondeur	Rendement moyen
Semoir de semis direct ²	–	3,03 t/ha (45,1 bo/ac)
Semoir pour semis direct avec coutres ²	3,8 cm (1,5 po)	3,05 t/ha (45,4 bo/ac)
Semoir pour semis direct avec coutres ²	9 cm (3,5 po)	3,09 t/ha (46,0 bo/ac)
Travail du sol vertical (un à trois jours avant les semis)	9 cm (3,5 po)	3,15 t/ha (46,9 bo/ac)

¹ Résultats de 40 essais avec semoir pour semis direct JD 1560. Passage de coutres dans le rang au moment des semis (coutres de 2 cm [0,75 po] de large), ajoutés au semoir sur une barre à outils distincte. Travail du sol vertical effectué un à trois jours avant les semis, à une profondeur de 9 cm (coutres de 4,5 cm [1,75 po] de large).

² Pas d'écart sur le plan statistique entre le semoir pour semis direct et le semoir pour semis direct avec coutres.

Tableau 2-3 – Effets du travail du sol et de la gestion des résidus de blé sur le rendement du soya

Recherches effectuées à Centralia et à Wyoming. Le chaume atteignait des hauteurs d'environ 20 à 30 cm (8 à 12 po), sauf dans les parcelles où il avait été coupé et enlevé.

Types de sol – Centralia : loam, loam argileux; Wyoming : argile limoneuse, loam limono-argileux.

Les cultures de soya ont été semées à l'aide d'un semoir de conservation JD 700 muni d'un coutre simple de 3,2 cm (1,25 po). Le semoir pour semis direct était équipé d'un tasse-résidus.

Méthode de travail du sol (et de gestion de la paille)	Rendement du soya
Labour d'automne à la charrue à socs, paille en balles	3,29 t/ha 48,9 bo/ac
Travail du sol au chisel à l'automne, paille en balles	3,30 t/ha 49,1 bo/ac
Travail du sol au pulvérisateur à disques à l'automne, paille en balles	3,21 t/ha 47,7 bo/ac
Travail du sol par bandes en profondeur à l'automne, paille en balles	3,19 t/ha 47,5 bo/ac
Semis direct, paille et chaume entièrement laissés sur place	2,27 t/ha 33,8 bo/ac
Semis direct, paille en balles mais chaume laissé sur place	3,00 t/ha 44,7 bo/ac
Semis direct, paille en balles et chaume enlevé	3,28 t/ha 48,8 bo/ac

Le travail réduit effectué à l'automne ou au printemps, sans travail superficiel supplémentaire, permet d'améliorer l'état des lits de semence et d'ameublir le sol, ce qui accélère le début de la croissance du soya tout en maintenant une quantité suffisante de résidus pour prévenir l'érosion.

**Photo 2-1 – Levée variable du soya en semis direct**

le semis pour pénétrer le sol. En augmentant le taux de semis de 10 % dans les rangs serrés, on peut également favoriser l'établissement d'un peuplement acceptable.

Il vaut mieux éviter de travailler le sol des collines et des pentes érodables. Dans ce cas, il serait judicieux de travailler uniquement les terres qui restent habituellement fraîches ou humides au printemps.

Rotation des cultures

Les cultures de soya réagissent très bien à la rotation. Le tableau 2-4, *Effets du travail du sol et de la rotation sur le rendement du soya*, résume les résultats de recherches à long terme effectuées au campus de Ridgetown de l'Université de Guelph. La rotation soya, blé d'automne et maïs et la rotation soya et blé d'automne ont donné les meilleurs rendements, tandis que la monoculture de soya a produit le rendement le plus faible, surtout avec la méthode traditionnelle de travail du sol. Les rotations courtes s'accompagnent d'une plus forte incidence des maladies et d'autres problèmes à long terme :

- Hausse rapide des populations de nématodes à kyste du soya;
- Augmentation de l'incidence de la pourriture à sclérotés; le maintien d'une rotation de trois ou quatre ans avec des espèces qui ne sont pas hôtes permet de réduire cette incidence;
- Multiplication des souches de pourriture phytophthoréenne et augmentation de leur gravité; dans les champs ayant déjà été infectés par la maladie, l'utilisation répétée d'herbicides du groupe 2 (inhibiteurs ALS) favorise la multiplication des mauvaises herbes qui y sont résistantes.

Semis de blé d'automne après une culture de soya

En Ontario, le soya est souvent suivi d'une culture de blé d'automne. Pour les producteurs, la difficulté est de trouver le juste milieu entre un cultivar de soya qui donne un rendement élevé et un cultivar dont la récolte arrive relativement tôt pour permettre les semis du blé d'automne. Voici quelques mesures à prendre si l'on prévoit de semer du blé d'automne après une culture de soya :

- Il faut choisir un cultivar dont le groupe de maturité est moins élevé (de 0,5 à 1,0) que le groupe qui prévaut dans la région. Selon des recherches menées au campus de Ridgetown, de l'Université de Guelph, un cultivar ayant un groupe de maturité inférieur de 0,5 à celui d'un cultivar adapté à la région vient à maturité cinq jours plus tôt en moyenne (entre trois

et sept jours), et neuf jours plus tôt si l'écart est de 1,0 (voir tableau 2-5, *Dates de maturité physiologique du soya et nombre de jours avant sa maturité*).

- Il faut semer le soya tôt pour éviter de retarder les semis de blé. Si on sème le soya au début du mois de mai, il est important de choisir un cultivar dont le cycle est plus court (groupe de maturité moins élevé).
- On peut calculer la date de semis du blé à partir de la date de semis du soya et du nombre de jours avant la maturité du cultivar en question.

Voir les dates de semis du blé d'automne au chapitre 4, *Céréales*.

Choix des cultivars

En Ontario, il existe plus de 250 cultivars de soya et leur roulement sur le marché est rapide. Pour faire un choix, il faut prendre en considération non seulement leur date de maturité et leur rendement, mais également leur tolérance ou leur résistance aux maladies et aux pucerons, ainsi que leur résistance à la verse et au nématode à kyste du soya.

Groupe de maturité (MG)

La croissance du soya dépend des caractéristiques génétiques, de la température et du nombre d'heures d'ensoleillement. Selon le moment où ils surviennent,

Tableau 2-4 – Effets du travail du sol et de la rotation sur le rendement du soya

Rendement moyen du soya cultivé en semis direct à long terme (établi en 1995) dans des sols travaillés traditionnellement dans le cadre d'une rotation des cultures sur un loam argileux Brookston à Ridgetown, en Ontario, de 2009 à 2014.

Un écart de moins de 0,27 t/ha (4 bo/ac) est sans importance sur le plan statistique.

LÉGENDE : tr = contre-ensemencé de trèfle rouge

rotation des cultures	Méthode de travail du sol		Moyenne entre les deux méthodes
	Traditionnelle	Semis direct	
Monoculture de soya	3,74 t/ha (55,6 bo/ac)	4,06 t/ha (60,3 bo/ac)	3,90 t/ha (58,0 bo/ac)
Maïs et soya	3,87 t/ha (57,6 bo/ac)	4,14 t/ha (61,5 bo/ac)	4,01 t/ha (59,6 bo/ac)
Blé d'automne et soya	4,35 t/ha (64,7 bo/ac)	4,55 t/ha (67,6 bo/ac)	4,45 t/ha (66,2 bo/ac)
Blé d'automne (tr) et soya	4,49 t/ha (66,8 bo/ac)	4,34 t/ha (64,6 bo/ac)	4,42 t/ha (65,7 bo/ac)
Blé d'automne, soya et maïs	4,37 t/ha (65,0 bo/ac)	4,42 t/ha (65,7 bo/ac)	4,40 t/ha (65,4 bo/ac)
Blé d'automne (tr), soya et maïs	4,51 t/ha (67,0 bo/ac)	4,31 t/ha (64,1 bo/ac)	4,41 t/ha (65,6 bo/ac)
Moyenne des différentes rotations des cultures	4,22 t/ha (62,8 bo/ac)	4,30 t/ha (64,0 bo/ac)	4,26 t/ha (63,4 bo/ac)

Tableau 2-5 – Dates de maturité physiologique du soya et nombre de jours avant sa maturité

La récolte a eu lieu entre trois et dix jours après ces dates.

Année	Date de semis	Groupe de maturité (MG)		
		1,6 MG	2,1 MG	2,6 MG
1990	28 mai	20 sept. 115 jours	25 sept. 120 jours	30 sept. 125 jours
1991	11 mai	8 sept. 120 jours	13 sept. 125 jours	20 sept. 132 jours
1992	15 mai	25 sept. 133 jours	27 sept. 135 jours	2 oct. 140 jours
1993	20 mai	21 sept. 124 jours	26 sept. 129 jours	1 ^{er} oct. 134 jours
1994	27 mai	14 sept. 109 jours	16 sept. 111 jours	21 sept. 116 jours
1995	23 mai	16 sept. 115 jours	18 sept. 117 jours	21 sept. 120 jours
1997	23 mai	17 sept. 116 jours	21 sept. 120 jours	27 sept. 126 jours
1998	21 mai	14 sept. 115 jours	17 sept. 118 jours	23 sept. 124 jours
1999	12 mai	10 sept. 121 jours	13 sept. 124 jours	19 sept. 130 jours

la maladie, le stress hydrique et d'autres types de stress peuvent avoir pour effet d'avancer ou de retarder la date de maturité.

La maturité relative est un système qui consiste à comparer, au fil des ans, la maturité des nouveaux cultivars à celle des cultivars établis. En Amérique, il existe 13 groupes de maturité (MG), du plus petit, MG 000, au plus grand, MG X. Au Canada, les groupes vont de MG 000 à MG III. Chaque décimale correspond à peu près à un jour de maturité; donc un cultivar coté 1,5 MG arrivera à maturité environ cinq jours plus tard qu'un cultivar coté 1,0 MG dans sa région d'adaptation.

Il est conseillé de choisir un cultivar dont le groupe de maturité est celui de la région (voir figure 2-1, *Carte de la maturité relative du soya en Ontario*). Ainsi, un cultivar adapté à la région arrivera à maturité au début de l'automne, s'il est semé dans les temps.

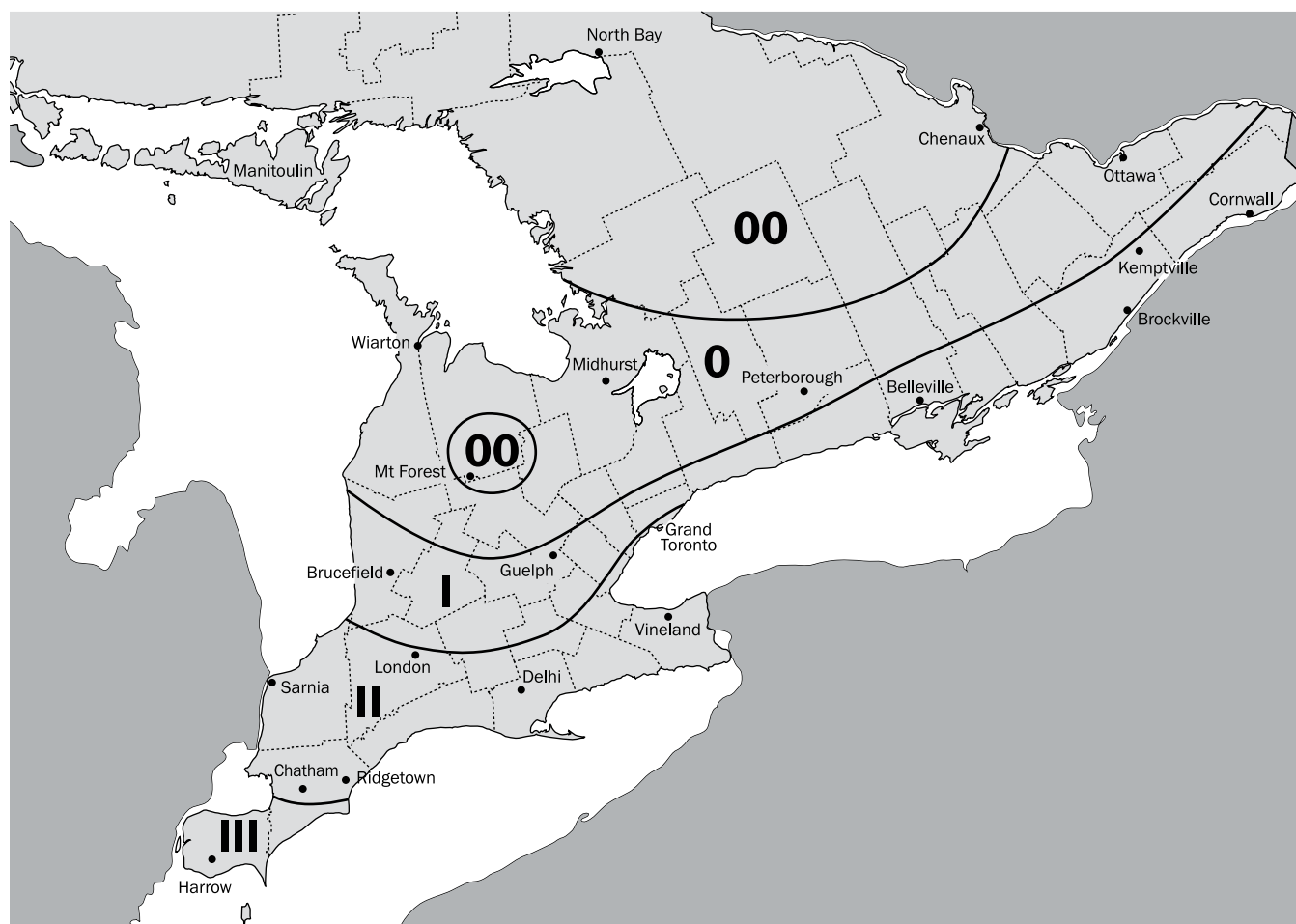


Figure 2-1 – Carte de la maturité relative du soya en Ontario

Les cultivars adaptés permettent de tirer profit de toute la saison de croissance pour assurer le meilleur rendement possible. Cependant, pour les cultures de soya de spécialité comme les cultivars à hile blanc, il est conseillé de choisir ceux ayant un cycle plus court (groupe de maturité moins élevé) pour s'assurer une récolte de qualité.

Couleur du hile

Le hile est le point d'attache de la graine de soya à la gousse. Sa couleur diffère d'un cultivar à l'autre : jaune (Y), jaune imparfait (IY), gris (GR), chamois (BF), brun (BR), noir (BL) ou noir imparfait (IBL). En général, le soya à hile jaune est celui qui est le plus recherché pour les marchés d'exportation. Dans les cultivars à hile jaune imparfait (IY), celui-ci est parfois décoloré, et il se peut que les graines touchées ne soient pas propres à l'exportation.

Cultivars de qualité supérieure

En plus de la date de maturité, d'autres facteurs sont pris en compte dans le choix des cultivars :

- Le potentiel de rendement;
- La résistance aux herbicides;
- La résistance à la verse;
- La résistance aux insectes et aux maladies.

Pour le choix des cultivars de qualité supérieure, il existe trois principales sources de renseignements :

- Les résultats d'essais de rendement;
- Les résultats des bandes d'essai à l'exploitation;
- Les renseignements donnés par les fournisseurs sur les caractéristiques des cultivars.

L'Ontario Soybean and Canola Committee effectue chaque année des essais de rendement à divers endroits de la province. Chaque automne, il publie ses résultats dans un rapport (*Ontario Soya Variety Trials*), qu'il affiche également sur son site Web, au www.gosoy.ca. Ce rapport permet de comparer le potentiel de rendement des différents cultivars et d'établir des cotes de maturité, de hauteur des plants, de résistance à la verse, ainsi que d'autres caractéristiques, telles que la résistance à la pourriture phytophthoréenne dans les sols à texture lourde et la résistance au nématode à kyste du soya.

Pour faciliter les choix, les fournisseurs de semences diffusent des renseignements détaillés sur plusieurs caractéristiques de croissance de leurs cultivars. Dans l'évaluation du rendement, il ne faut pas oublier que les résultats des essais effectués avec le travail du sol traditionnel constituent aussi une indication fiable du rendement du même cultivar obtenu avec la méthode du semis direct.

Si le soya est destiné à nourrir le bétail à la ferme, il faut choisir un cultivar ayant une forte teneur en protéines.

En Ontario, la verse peut réduire considérablement le rendement. Dans les champs qui ont un sol à texture moyenne à légère, qui reçoivent régulièrement du fumier, qui ont une forte teneur en azote résiduel ou qui ont déjà été touchés par la verse, il faut semer des cultivars qui ont une bonne résistance à la verse. On peut aussi diminuer le taux de semis pour prévenir ce phénomène.

Le choix des cultivars est l'un des aspects à ne pas négliger si l'on veut améliorer le rendement du soya. Il est conseillé de cultiver au moins trois cultivars différents chaque année pour évaluer les nouveaux cultivars, qui donnent un rendement plus élevé.

Un même cultivar peut donner des résultats différents selon les conditions de croissance. Pour réduire le risque d'échec de la culture, il est bon de semer plus d'un cultivar. Il faut consacrer le gros de la superficie ensemencée à des cultivars éprouvés et mettre les nouveaux à l'essai sur une superficie moindre.

Cultivars à identité préservée

La préservation de l'identité est l'isolement d'un cultivar à partir du semis jusqu'à la livraison à l'utilisateur. Ce concept n'est pas nouveau puisque ce type de cultivars est déjà présent dans un certain nombre de marchés, par exemple ceux des semences et du soya de consommation humaine. L'arrivée de cultivars génétiquement modifiés a fait naître, chez les consommateurs, une demande pour des soyas à identité préservée non génétiquement modifiés, et ce marché permet au producteur de bénéficier de divers contrats et primes pour produire ce type de cultivars.

Cependant il faut évaluer les primes offertes pour la production de ces cultivars en fonction de leur potentiel de rendement, et du temps, de l'effort de gestion et des coûts supplémentaires que cela entraîne. Il faut limiter ces cultures à une superficie permettant de faire toute la récolte rapidement. Les renseignements sur le rendement de certains cultivars de spécialité peuvent ne pas être disponibles, ou ils ne sont parfois diffusés que par les entreprises qui vendent la semence ou qui acceptent de prendre livraison des récoltes. Il faut évaluer les qualités agronomiques d'un cultivar à identité préservée (rendement, résistance aux maladies et date de maturité) afin de déterminer si la prime offerte à la vente est suffisante. L'Ontario Soybean and Canola Committee effectue des essais de rendement sur divers cultivars de soya de consommation humaine, dont il affiche les résultats sur son site Web, au www.gosoy.ca. Aux fins d'assurance-récolte, Agricorp publie un facteur d'ajustement du rendement pour plusieurs cultivars de soya de spécialité, étant donné que le rendement de certains peut être moindre.

Biotechnologie

En Ontario, il existe des cultivars aux propriétés particulières (p. ex. résistance à certains herbicides). Plus de 75 % des cultivars de soya sont des organismes génétiquement modifiés qui tolèrent les herbicides tels que le glyphosate. Ils pourraient être utiles aux producteurs aux prises avec des mauvaises herbes. Ces cultivars se prêtent également bien à certaines méthodes de travail du sol, avec lesquelles on peut effectuer des traitements de destruction chimique ou des applications d'herbicides sans tuer le cultivar de soya génétiquement modifié résistant. Toutefois, il se peut que ces cultivars, ou les pesticides épandus, ne soient pas acceptés dans tous les marchés de soya.

Semis et croissance de la culture

Qualité des semences

Il est important de connaître la qualité des semences. Celles qui sont certifiées sont conformes à des normes de pureté et de pouvoir germinatif. Pour connaître la qualité des semences communes ou des semences tout-venant provenant de l'exploitation, il faut en faire évaluer le pouvoir germinatif dans un laboratoire accrédité, et ce, avant les semis (voir annexe F, *Laboratoires offrant des tests de germination sur demande en Ontario*).

Viabilité et détérioration

Le facteur de qualité le plus important dans l'évaluation des lots de semences est le pouvoir germinatif, c'est-à-dire la capacité de production de plantules normales dans des conditions favorables (humidité de 95 à 100 % et température de 25 °C). Les sources de stress présentes dans les champs après les semis ont souvent pour effet de faire diminuer la levée des plantules comparativement à ce qu'on obtient en laboratoire.

Un meilleur outil d'évaluation de la capacité des semences à lever rapidement et de façon homogène dans un large éventail de conditions est la mesure de leur cote de vigueur, que l'on évalue par un test de vigueur, également appelé test de stress, ce nom étant plus approprié. Selon les normes visant les semences certifiées, on doit tester leur pouvoir germinatif. En outre, de nombreux distributeurs testent régulièrement la vigueur de leurs semences et en publient les résultats.

La figure 2-2, *Effet de la détérioration des semences sur leur vigueur et leur pouvoir germinatif*, montre la relation entre ces paramètres. À mesure que la détérioration s'accroît, le pouvoir germinatif diminue lentement et la vigueur diminue très rapidement.

Dans le cas du lot A, il y a peu de détérioration, et le pouvoir germinatif et la vigueur sont comparables. Par contre, le lot B a un excellent pouvoir germinatif, mais peu de vigueur.

Divers facteurs sont susceptibles de faire diminuer la vigueur des semences, notamment leurs caractéristiques génétiques, les maladies, les lésions mécaniques, la détérioration au cours de l'entreposage et les conditions atmosphériques présentes avant la récolte. Cependant le facteur le plus important semble être l'environnement. Des études effectuées au moment de la récolte par l'Université de Guelph semblent indiquer que le délai entre la maturation physiologique et la récolte entraîne une perte de vigueur. Pour la production de semences, il est important de récolter le soya au bon moment.

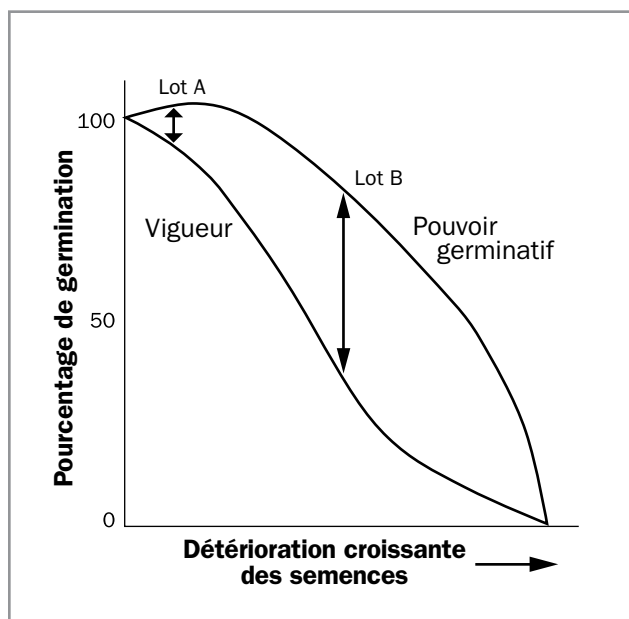


Figure 2-2 – Effet de la détérioration des semences sur leur vigueur et leur pouvoir germinatif

Source : Delouche et Caldwell, 1960.

Inoculation

L'azote gazeux de l'air (N_2) est fixé par des organismes vivants qui le convertissent en une forme d'azote que les plantes peuvent utiliser, soit l'ammonium (NH_4^+). Dans les légumineuses, cette fonction est assurée par les bactéries symbiotiques du type *Rhizobium* qui colonisent les poils racinaires en formant des nodosités. On appelle inoculation l'ajout dans le sol des rhizobactéries propres au soja (*Bradyrhizobium japonicum*). Grâce à la plante, ces bactéries bénéficient d'un milieu de croissance protégé et d'un apport en glucides et en minéraux; inversement, elles lui fournissent de l'azote. Une culture de soja de 3,4 t/ha (50 bo/ac) prélève plus de 200 kg/ha (180 lb/ac) d'azote, en premier lieu à partir des quantités qui sont déjà disponibles dans le sol, le reste (40 à 75 %) étant issu de la fixation biologique. La quantité d'azote prélevée du sol dépend de sa disponibilité, ainsi que des conditions environnementales.

Les inoculants peuvent être appliqués à l'exploitation au moment des semis ou sous forme de « pré-inoculants ». Les pré-inoculants sont formulés pour permettre aux bactéries de survivre sur les semences, de sorte qu'on peut inoculer celles-ci longtemps avant les semis. Ils sont appliqués comme un traitement commercial et sont compatibles avec de nombreux traitements aux fongicides ou aux insecticides. Les pré-inoculants sont aussi efficaces que les inoculants appliqués au moment des semis.

La plupart des produits de ce type actuellement sur le marché sont associés à un porteur stérile ou à une formulation liquide. La base stérile est une poudre de tourbe qui est stérilisée avant l'ajout de la souche d'inoculant. Ces produits contiennent une concentration beaucoup plus élevée de rhizobactéries que l'ancienne poudre de tourbe non stérile, souvent contaminée par des microorganismes susceptibles d'être des concurrents des rhizobactéries.

Dans les champs où l'on cultive du soja pour la première fois, il est recommandé d'utiliser deux inoculants différents pour garantir la formation des nodosités.

Lorsqu'il est semé pour la première fois dans un champ, le soja doit être inoculé avec une souche de rhizobactéries pour donner de bons rendements. Il est parfois difficile d'obtenir un nombre acceptable de nodosités sur les racines dans un champ qui n'a jamais été ensemencé de soja. Pour être sûr d'obtenir une bonne nodulation, il faut employer deux produits différents ou au moins deux lots différents du même produit. Quand le sol est inhabituellement frais, il est fréquent que les nodosités ne se forment pas correctement. Le processus de nodulation et de fixation de l'azote dans le soja est sensible aux températures fraîches du sol. Comme le soja est une espèce subtropicale, la température du sol doit être supérieure à 25 °C pour que son activité symbiotique se déroule au mieux; par ailleurs, la température doit atteindre au moins 15 à 17 °C au niveau des racines pour que la nodulation et la fixation de l'azote se déroulent normalement. Si la température du sol est inférieure à 10 °C, il n'y aura possiblement aucune nodulation. En cas de température extrêmement fraîche, le processus peut être retardé et ne survenir qu'au mois d'août, voire ne pas survenir du tout. Les nodosités peuvent seulement se former sur les nouveaux poils absorbants, qui eux-mêmes ne peuvent se former que si de nouvelles racines poussent. Parfois, avant que la nodulation se produise, il arrive que les racines dépassent l'endroit où l'inoculant a été appliqué, entraînant l'échec de l'inoculation et faisant naître une carence en azote dans la culture. Avec deux produits, les rhizobactéries sont plus nombreuses, ce qui réduit le risque que la nodulation n'ait pas lieu.

Quel que soit l'inoculant, il doit bien recouvrir la semence pour avoir une efficacité maximale. Pour l'application à l'exploitation, il faut placer l'inoculant

à la base de la vis de chargement au moment de remplir le semoir. Les fournisseurs vendent également des dispositifs qu'on accroche sur le côté d'un camion, d'un bac-citerne ou d'une remorque à décharge par gravité. Il arrive que des producteurs utilisent de trop grandes quantités de liquide de traitement des semences ou d'inoculant, ce qui bouche le semoir ou crée un dépôt dans la vis de chargement. On peut prévenir ce problème en appliquant une faible dose de tourbe en même temps.

Certaines formes de traitement des semences et certains engrais liquides peuvent nuire au rendement de l'inoculant. Avant d'utiliser un inoculant, il faut vérifier sur l'étiquette la durée de sa viabilité sur la semence si l'application est effectuée avec une forme de traitement ou en mélange avec un engrais liquide.

Là où l'on a déjà eu une culture de soya de teinte vert foncé ayant un bon nombre de nodosités, l'inoculant n'est pas essentiel, sauf sur les sols acides (pH inférieur à 6,0) ou sableux, et dans les champs mal drainés qui ont été inondés pendant une longue période. Dans de tels cas, on recommande l'inoculation pour chaque nouvelle culture de soya. S'il subsiste une incertitude quant à la formation de nodosités en nombre suffisant dans les cultures précédentes de soya, il est conseillé d'inoculer pour écarter tout risque de mauvaise nodulation. Lors d'essais menés en Ontario, dans des champs où une récolte précédente avait produit suffisamment de nodosités, l'inoculation du soya a donné un gain de rendement de 0,1 t/ha (1,5 bo/ac). Même en l'absence de cultures de soya, les rhizobactéries survivent de 7 à 10 ans dans la plupart des sols, et même parfois plus de 50 ans.

Des études ont montré qu'il était difficile de remplacer les souches de bactéries existantes par d'autres souches plus efficaces. Lorsqu'une souche est établie dans le sol, elle élimine toute nouvelle souche qui pourrait être introduite sur les semences.

Le fumier ou les engrais azotés commerciaux épandus sur les champs de soya constituent une source d'azote rapidement disponible que le soya absorbe avant celui produit par les rhizobactéries. Dans ces champs, la formation de nodosités est parfois retardée, mais les rendements ne sont aucunement touchés. Là où l'on cultive du soya pour la première fois et où l'on épand du fumier ou des engrais azotés commerciaux, les nodosités peuvent ne pas se former et il y a risque de carence en azote à la fin de la saison à moins que le sol en contienne de grandes quantités.

Normalement, les racines du soya sont colonisées par *Bradyrhizobium japonicum* peu après la levée, et les nodosités se forment de deux à trois semaines après le semis. Il faut vérifier les champs à ce stade pour pouvoir appliquer de l'azote en cas d'échec de l'inoculation. Dans les champs où l'on cultive du soya pour la première fois, les nodosités se forment sur la racine pivotante. Là où l'on a déjà cultivé du soya, il y a également des nodosités sur les racines latérales.

La nodulation s'est bien déroulée s'il y a de 7 à 14 nodosités par plante à l'apparition de la première fleur.

Les feuilles de soya passent souvent par une teinte vert clair ou même jaune pâle juste avant que les nodosités commencent à produire des quantités suffisantes d'azote; il s'agit d'une phase importante du développement d'une culture saine. Habituellement, au stade de la troisième feuille trifoliée, lorsque les nodosités se sont établies et commencent à produire de l'azote, les feuilles reprennent leur couleur vert foncé. Si la nodulation se déroule bien, que les éléments nutritifs sont en quantité suffisante et que le taux d'humidité est adéquat, la teinte jaune ne persiste que pendant sept à dix jours.

Date de semis

Le choix de la date de semis est un important outil d'optimisation du potentiel de rendement. Pour semer le soya, il faut vérifier la date du calendrier, l'état du lit de semence et les prévisions météorologiques pour les 48 heures qui suivent les semis. Il est indispensable que le lit de semence soit en bon état. Si d'importantes averses sont prévues, il faut attendre que les conditions s'améliorent avant de procéder aux semis. S'il tombe une pluie froide juste après les semis, la levée peut en faire les frais. Les effets des dates de semis sur le rendement varient selon la saison de croissance et le groupe de maturité du cultivar. En moyenne, les meilleurs rendements sont obtenus avec les semis précoces, généralement effectués avant la mi-mai. Si les conditions printanières sont favorables, il peut même être plus avantageux de semer à la fin avril ou au début mai qu'à la mi-mai. Passé cette date, le rendement peut diminuer de 0,34 t/ha (5 bo/ac), comme le montre le tableau 2-6, *Effets des dates de semis sur le rendement*. Si l'on sème tôt, il faut choisir un cultivar adapté à la région ou à cycle plus long (0,5 MG) pour obtenir un rendement maximal. Lors d'une étude menée sur trois

ans au cours de laquelle on a comparé des cultivars de saison longue à des cultivars adaptés à la région, on a découvert qu'on obtenait un gain de rendement de 0,28 t/ha (4 bo/ac) avec des cultivars de saison longue semés tôt. Voir le tableau 2-7, *Rendement d'un cultivar adapté par rapport à celui d'un cultivar de saison longue avec des semis précoces*.

Tableau 2-6 – Effets des dates de semis sur le rendement

Date de semis	Rendement	% par rapport à un plein rendement
Entre le 15 avril et le 5 mai	4,29 t/ha (63,8 bo/ac)	100 %
Entre le 6 et le 20 mai	4,26 t/ha (63,3 bo/ac)	99 %
Entre le 21 mai et le 5 juin	3,93 t/ha (58,5 bo/ac)	92 %
Moyenne des résultats de 22 essais menés en Ontario entre 2010 et 2012.		

Certains craignent qu'avec des cultivars de soya à cycle plus long, la récolte soit retardée et décale du même coup les semis de blé d'automne. Toutefois, si l'on sème un cultivar à cycle plus long avant la mi-mai, la récolte accuse un retard minime (un à trois jours) par rapport à celle d'un cultivar adapté semé au début de mai.



Photo 2-2 – Différences selon la date de semis; la parcelle de gauche a été semée en mai, et celle de droite, en juin

Tableau 2-7 – Rendement d'un cultivar adapté par rapport à celui d'un cultivar de saison longue avec des semis précoces

Moyenne des résultats de 22 essais menés en Ontario entre 2010 et 2012.

Date de semis	Cultivar	Rendement
Mi-mai (entre le 6 et le 20 mai)	Adapté à la région d'après la carte de la maturité relative	4,17 t/ha (62,1 bo/ac)
Semis précoce (entre le 15 avril et le 5 mai)	Adapté à la région d'après la carte de la maturité relative	4,23 t/ha (62,9 bo/ac)
Semis précoce (entre le 15 avril et le 5 mai)	Cultivar de saison longue (entre 0,5 et 0,8 MG) pour la région, d'après la carte de la maturité relative	4,45 t/ha (66,2 bo/ac)

D'après des études de terrain, les cultivars de saison courte (groupe de maturité peu élevé) semés tôt peuvent donner un mauvais rendement si le temps est sec en août, car ils arrivent à maturité trop tôt et ne peuvent pas profiter des pluies de fin de saison.

Le soya est plus sensible à la température du sol que le maïs. Cependant, de façon générale, si la température du sol et les conditions d'humidité permettent de semer du maïs, elles conviennent aussi aux semis de soya. Si une forte pluie froide survient après les semis et qu'elle provoque l'encroûtement du sol, la levée du soya peut en faire les frais.

Une forte gelée printanière peut tuer le soya semé tôt parce que le point végétatif des plantules levées se situe au-dessus de la surface du sol. Toutefois le soya résiste à des températures pouvant atteindre -2,8 °C pendant une courte période, alors que les tissus du maïs sont endommagés à partir de -2 °C.

Semis retardés

Lorsque les semis sont retardés, le soya prend moins de jours pour arriver à maturité; par exemple, si les semis sont différés d'un mois, la maturité ne sera retardée que de neuf jours. Par ailleurs, le retard dans les semis peut réduire la période de croissance végétative, de sorte que les plants sont plus courts et ont beaucoup moins de nodosités, et les gousses sont plus basses. Le fait de semer tard réduit également la durée de la période de floraison, ce qui se traduit par une diminution du nombre de gousses par plant. La date de semis a aussi une incidence sur la durée du stade de remplissage des gousses.

En général, si les semis sont différés de trois jours, la maturité est retardée d'une journée.

La plupart des ans en Ontario, les semis effectués après le 1^{er} juillet ne sont pas rentables et ne sont pas couverts par l'assurance-récolte. Toutefois, si l'on doit semer après cette date, voici quelques recommandations :

- Sur les sols à texture lourde, choisir des cultivars adaptés. Les cultivars de journées courtes semés tard en saison donnent des plants extrêmement courts avec peu de gousses. Par ailleurs, en cas de gelée précoce, les hiles foncés peuvent « tacher » l'intérieur des graines. Pour éviter ce problème, on peut choisir des cultivars à hile pâle.
- Dans les sols à texture moyenne à légère, un cultivar dont le groupe de maturité est moins élevé (de 0,5 à 1,0 MG) que celui du cultivar adapté peut plus facilement atteindre la maturité avant la première gelée meurtrière.
- Pour améliorer la croissance végétative des semis tardifs, choisir des cultivars qui atteignent une plus grande hauteur et les semer en rangs serrés. Si les semis sont tardifs et que les rangs sont espacés, le potentiel de rendement diminue. Ajouter au moins 10 % au taux de semis pour accroître la hauteur des gousses basses et le nombre de gousses par acre.

Récoltes successives

Pendant les années chaudes, certains producteurs de l'extrême sud de l'Ontario tentent de cultiver du soya immédiatement après la récolte des céréales d'automne ou de pois. Dans la province, les récoltes successives peuvent donner de bons résultats si les semis ont lieu suffisamment tôt, si le taux d'humidité du sol permet la germination et si l'automne se prolonge et que la première gelée meurtrière survient tardivement. Dans le Sud-Ouest de l'Ontario, il est possible d'obtenir un rendement de 2 t/ha (30 bo/ac) si les semis ont lieu le 1^{er} juillet au plus tard, et si les conditions météorologiques sont favorables. Après cette date, le potentiel de rendement diminue d'environ 67 kg/ha (1 bo/ac) par jour, et après le 10 juillet, il chute de manière spectaculaire. Dans les régions qui reçoivent plus de 3 000 UTC, les pronostics sont plus optimistes. Il ne faut toutefois pas oublier qu'en Ontario, les récoltes successives ne sont pas couvertes par l'assurance-récolte.

Les producteurs qui ont opté pour cette méthode récoltent souvent le blé tôt, même s'ils doivent le faire sécher. Quand il s'agit de récoltes successives, chaque jour compte. Voici quelques conseils de gestion pour améliorer les chances de réussite d'une seconde récolte :

- Ne pas enlever un bon peuplement de trèfle rouge pour semer du soya; étant donné les risques liés à cette tentative de deuxième récolte, il vaut mieux s'en tenir aux bénéfices apportés par le trèfle rouge.
- Ne pas tenter de produire une deuxième récolte si le nématode à kyste du soya est présent dans le champ; en effet, la culture de soya immédiatement après une céréale d'automne annulerait une partie des effets bénéfiques de cette dernière culture, qui n'est pas un hôte de ce ravageur, et elle permettrait à celui-ci de se multiplier.
- Les chaumes de blé peuvent contenir de nombreuses graines de mauvaises herbes. Les cultivars tolérant le glyphosate se prêtent généralement mieux aux récoltes successives, car ils permettent davantage de possibilités de lutte contre les mauvaises herbes avec un sol plutôt sec. Les repousses de blé doivent être contrôlées.
- Semer le soya immédiatement après une récolte de céréales ou de pois effectuée au bon moment. Après le 10 juillet, la seconde culture se solde par un échec.
- Utiliser la méthode de semis direct pour retenir l'humidité et réduire les coûts. À la première récolte, laisser environ 20 cm (8 po) de chaume de blé pour favoriser l'allongement de la tige du soya et la formation des gousses plus haut sur le plant.
- Placer les semences de façon à les recouvrir d'une couche de terre humide de 1 cm (0,5 po) d'épaisseur, sans dépasser une profondeur de 7,5 cm (3 po). En cas de sécheresse extrême, ne pas faire de seconde récolte. Souvent, si les secondes récoltes échouent, c'est parce que les semis ont eu lieu dans des conditions sèches.
- Choisir des cultivars à petites graines qui donnent de grands plants et dont le groupe de maturité est inférieur de 1,0 à celui du cultivar suggéré (date de semis normale). Il n'est pas conseillé de choisir des cultivars de journées très courtes (MG 00). En effet, le soya de saison courte semé très tard ne donnera pas un bon rendement, car les plants ne grandiront pas suffisamment.
- Utiliser des taux de semis élevés en semant en rangs serrés (618 000 graines par hectare ou 250 000 graines par acre).

Écartement des rangs et matériel de semis

La culture du soya se prête bien à de nombreux types d'écartements, surtout dans les régions ontariennes où la saison de croissance est longue. Le choix de l'écartement dépend de facteurs tels que la méthode de travail du sol employée, l'équipement, les problèmes de mauvaises herbes, l'état du sol, la présence de pourriture à sclérotés et la date de semis. En Ontario, la plupart du temps, on cultive le soya en semis dense (écartement de 19 cm [7,5 po]) ou en rangs à écartement intermédiaire (38 à 56 cm [15 à 22 po]). Les cultures en rangs espacés sont de plus en plus populaires, en particulier dans les sols fertiles qui sont très propices à la croissance végétative, ou dans les champs régulièrement touchés par la pourriture à sclérotés. En effet, cette méthode laisse mieux circuler l'air, ce qui limite les effets de la maladie.

Les cultures plus espacées permettent le travail du sol entre les rangs (systèmes de production biologique) et sont moins vulnérables à l'encroûtement. Par contre, il est plus difficile de lutter contre les mauvaises herbes en cours de saison dans les rangs espacés, car elles peuvent survenir tardivement. Par ailleurs, les rangs espacés donneront un rendement moindre si le temps est frais ou si les semis sont faits tardivement. Si les rangs sont serrés, le couvert peut se former plus rapidement, ce qui maximise l'interception de la lumière et l'élimination des mauvaises herbes. Le tableau 2-8, *Effet de l'écartement des rangs sur le nombre de jours avant la formation d'un couvert complet (semis en mai)*, montre les différences entre les périodes en question. De plus, la formation rapide du couvert végétal permet souvent de faire une application d'herbicide de moins en cours de saison dans les rangs serrés.

Tableau 2-8 – Effet de l'écartement des rangs sur le nombre de jours avant la formation d'un couvert complet (semis en mai)

Écartement des rangs	Nombre de jours avant la formation d'un couvert complet	
	Semis avant le 15 mai	Semis après le 15 mai
18 cm (7 po)	30 jours	25 jours
38 cm (15 po)	45 jours	40 jours
51 cm (20 po)	55 jours	50 jours
76 cm (30 po)	70 jours	65 jours

Sur les sols plus lourds, notamment argileux, les écartements plus larges permettent de semer davantage de graines par mètre de rang, ce qui peut faciliter la levée (voir photo 2-3). Sur les sols argileux sujets à l'encroûtement, les écartements de 38 cm (15 po) ou plus ont permis une meilleure levée que les semis denses de 19 cm (7,5 po). Il est toutefois déconseillé d'espacer les rangs de 76 cm (30 po) sur les sols argileux lourds, car le couvert met trop de temps à se former, et les rendements sont moins élevés qu'avec des rangs à écartement intermédiaire.



Photo 2-3 – Plantules de soya perçant la croûte

La culture de soya en rangs serrés offre un gain de rendement plus grand dans les régions où la saison de croissance est courte, et ce, dans différents types de sol et conditions de croissance. Cet avantage diminue en importance dans le Sud-Ouest de l'Ontario. Les écartements de 38 cm (15 po) ou moins conviennent parfaitement aux régions où la saison de croissance est courte (moins de 2 800 UTC).

Certains producteurs obtiennent d'excellents rendements avec des rangs espacés de 76 cm (30 po). Ce type de rang convient le mieux aux sols productifs où poussent de grands et luxuriants plants de haricots. Si l'on sème du soya en rangs espacés, il faut choisir des cultivars buissonnants, semer tôt et procéder au travail du sol. Ces pratiques aident le couvert à se former le plus rapidement possible, ce qui réduit les pertes de rendement associées aux rangs espacés. Un semis tardif en rangs espacés peut nuire considérablement au rendement.

Dans le Sud-Ouest de l'Ontario, il se peut également que le rapprochement des rangs à moins de 53 cm (21 po) s'accompagne d'une certaine amélioration des rendements, comme l'indique le tableau 2-9, *Incidence*

de l'écartement des rangs sur le rendement, bien que cet effet soit moins régulièrement observé que dans les régions plus nordiques. Les écartements de 38 cm (15 po) sont de plus en plus employés parce qu'ils permettent d'utiliser des taux de semis moindres que les écartements de 19 cm (7,5 po) tout en donnant un excellent potentiel de rendement. Dans la plupart des régions de l'Ontario, un écartement intermédiaire de 38 cm (15 po) est un bon compromis entre le potentiel de rendement plus élevé associé aux rangs serrés et les avantages que procure une meilleure circulation de l'air dans les rangs espacés. Dans les champs sujets à la pourriture à sclérotés, il est conseillé de semer des rangs espacés de 38 cm (15 po) ou plus, même dans les régions à saison de croissance courte.

Tableau 2-9 – Incidence de l'écartement des rangs sur le rendement

Écartement des rangs	Rendement ¹
18 cm (7 po)	3,3 t/ha (49 bo/ac)
36 cm (14 po)	3,2 t/ha (47 bo/ac)
53 cm (21 po)	3,0 t/ha (45 bo/ac)
71 cm (28 po)	2,7 t/ha (40 bo/ac)

¹ Résultats de recherches effectuées sur des loams argileux dans une zone de correspondant à un groupe de maturité de 2,8 MG. L'incidence devrait être plus prononcée dans les régions à saison de croissance plus courte.

Le tableau 2-10, *Rendements obtenus avec un semoir à céréales et un semoir de précision*, montre les résultats produits par des peuplements ayant des écartements différents (dense et intermédiaire). Le semoir de précision, réglé sur un écartement de 38 cm (15 po), a donné un rendement 3,5 % plus élevé (soit 0,12 t/ha ou 1,8 bo/ac) par rapport au semoir à céréales, avec le même écartement. Il a également surpassé le semoir à céréales de 0,07 t/ha (1,1 bo/ac) lorsque ce dernier était réglé sur un écartement de 19 cm (7,5 po). On attribue souvent ce gain de rendement à la plus grande précision du rayonneur, qui permet de donner un peuplement plus uniforme.

Taux de semis

Le soya produit de bons rendements avec divers taux de semis. Les plants de soya compensent remarquablement bien les variations de peuplement de sorte que les rendements restent comparables. Les semis trop denses représentent un gaspillage d'argent

et augmentent les risques de verse et de maladies. On devrait donc calculer les taux de semis du soya en graines par hectare (graines par acre) et non en kilogrammes par hectare (livres par acre). Dans la plupart des types de sols, les taux de semis de plus de 494 000 graines par hectare (200 000 graines par acre) ne sont aucunement avantageux du point de vue du rendement, comme le montre la figure 2-3, *Effets des taux de semis sur le rendement du soya*.

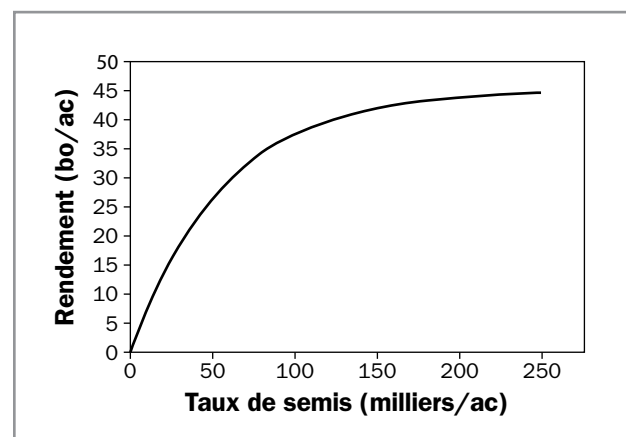


Figure 2-3 – Effets des taux de semis sur le rendement du soya

D'après les résultats de 45 essais effectués en Ontario dans des rangs de 38 cm (7,5 po).

Pour maximiser le potentiel de rendement sur des sols argileux lourds ou avec des semences de mauvaise qualité, il faut augmenter les taux de semis de 10 %. Toutefois, les taux de semis élevés peuvent entraîner la verse, surtout sur les sols plus légers ou lorsque les précipitations sont très abondantes (voir photo 2-4).



Photo 2-4 – Des taux de semis élevés peuvent entraîner la verse (à gauche, les semis ont été réalisés au taux de 250 000 graines par acre; à droite, un peuplement de 200 000 graines par acre ne montre pas de verse)

Voir les quantités indiquées au tableau 2-11, *Taux de semis recommandés pour le soya*. Plus les rangs sont espacés, plus le taux de semis requis est bas. Ces chiffres s'appliquent aussi bien aux cultures utilisant la méthode traditionnelle du travail du sol qu'aux cultures en semis direct. Lorsqu'on utilise un semoir de précision, on peut prévoir un taux de semis de 5 % de moins qu'avec un semoir à céréales. Si l'on traite les semences, on peut encore réduire le chiffre de 5 %. Un taux de levée de 75 à 80 % est considéré comme normal. En Ontario, on obtient un plein rendement avec des densités finales de 309 000 à 370 000 plants par hectare (125 000 à 150 000 plants par acre), selon l'écartement des rangs. Sur les sols argileux lourds, il est parfois nécessaire d'avoir un peuplement plus élevé, surtout si le temps est sec ou si les semis

sont tardifs. Par ailleurs, il faut augmenter le taux de semis si le pouvoir germinatif ou la vigueur est faible ou sur les sols sujets à l'encroûtement. Certains producteurs obtiennent de bons résultats avec des taux de semis aussi bas que 320 000 graines par hectare (130 000 graines par acre) dans des rangs à écartement intermédiaire, voire encore plus bas dans des rangs de 76 cm (30 po). Lors des semis, l'objectif est d'atteindre un nombre précis de plants par hectare ou par acre. Si l'on fait preuve de rigueur et que le sol est en bon état, il est possible d'obtenir le nombre minimal de plants nécessaires par hectare ou par acre avec des taux de semis bas. Pour y parvenir, il faut utiliser un semoir de précision, effectuer les semis tôt et disposer de semences d'excellente qualité.

Tableau 2-10 – Rendements obtenus avec un semoir à céréales et un semoir de précision

Comparaison	Écartement des rangs		
	Semoir à céréales 19 cm (7,5 po)	Semoir à céréales 38 cm (15 po)	Semoir de précision 38 cm (15 po)
Rendement	3,28 t/ha (48,9 bo/ac)	3,24 t/ha (48,2 bo/ac)	3,36 t/ha (50,0 bo/ac)
Densité de peuplement 30 jours après les semis	72,6 %	74,6 %	79,8 %

Tableau 2-11 – Taux de semis recommandés pour le soya

Taux de semis calculés à partir d'un pouvoir germinatif de 90 % et d'une levée de 85 à 90 % (densité de peuplement de 76 à 81 % du taux de semis).

Nombre de graines	Paramètres			
	Rangs de 19 cm (7,5 po) 480 000 graines/ha (194 000 graines/ac) 9 graines/m de rang (2,8 graines/pi de rang)	Rangs de 38 cm (15 po) 437 000 graines/ha (177 000 graines/ac) 17 graines/m de rang (5,1 graines/pi de rang)	Rangs de 56 cm (22 po) 425 000 graines/ha (172 000 graines/ac) 24 graines/m de rang (7,2 graines/pi de rang)	Rangs de 76 cm (30 po) 400 000 graines/ha (162 000 graines/ac) 30 graines/m de rang (9,3 graines/pi de rang)
4 400 graines/kg (2 000 graines/lb)	109 kg/ha (97 lb/ac)	99 kg/ha (89 lb/ac)	98 kg/ha (86 lb/ac)	91 kg/ha (81 lb/ac)
4 900 graines/kg (2 200 graines/lb)	98 kg/ha (88 lb/ac)	89 kg/ha (80 lb/ac)	88 kg/ha (79 lb/ac)	82 kg/ha (74 lb/ac)
5 300 graines/kg (2 400 graines/lb)	91 kg/ha (81 lb/ac)	82 kg/ha (74 lb/ac)	82 kg/ha (72 lb/ac)	76 kg/ha (68 lb/ac)
5 700 graines/kg (2 600 graines/lb)	84 kg/ha (75 lb/ac)	77 kg/ha (68 lb/ac)	76 kg/ha (66 lb/ac)	70 kg/ha (63 lb/ac)
6 200 graines/kg (2 800 graines/lb)	77 kg/ha (69 lb/ac)	70 kg/ha (63 lb/ac)	70 kg/ha (62 lb/ac)	65 kg/ha (58 lb/ac)
6 600 graines/kg (3 000 graines/lb)	73 kg/ha (65 lb/ac)	66 kg/ha (59 lb/ac)	65 kg/ha (58 lb/ac)	61 kg/ha (54 lb/ac)
7 100 graines/kg (3 200 graines/lb)	68 kg/ha (61 lb/ac)	62 kg/ha (55 lb/ac)	61 kg/ha (54 lb/ac)	57 kg/ha (51 lb/ac)
7 500 graines/kg (3 400 graines/lb)	64 kg/ha (57 lb/ac)	58 kg/ha (52 lb/ac)	58 kg/ha (51 lb/ac)	53 kg/ha (48 lb/ac)

$$\text{Nombre de graines par m (pi) de rang} = \frac{\text{Nombre de plants désirés par m (pi) de rang}}{\% \text{ de pouvoir germinatif} \times \% \text{ du taux de levée prévu}}$$

Exemple :

$$\text{Objectif de 156 000 plants/ac : } \frac{4,5 \text{ graines/pi de rang}}{80 \% \text{ de pouvoir germinatif} \times 80 \% \text{ de levée}} = 7 \text{ graines/pi de rang}$$

Exemple :

$$\text{Objectif de 385 500 plants/ha : } \frac{15 \text{ graines/m de rang}}{80 \% \text{ de pouvoir germinatif} \times 80 \% \text{ de levée}} = 23 \text{ graines/m de rang}$$

Il faut porter une attention particulière aux champs sujets à la pourriture à sclérotés; les principaux outils de prévention de cette maladie sont la sélection du cultivar, l'accroissement de l'espace entre les rangs, le semis direct et la réduction de la densité de peuplement. Bien que l'augmentation de l'écartement des rangs et la diminution des taux de semis s'accompagnent d'une certaine perte de rendement les années où les conditions ne favorisent pas la progression de la pourriture à sclérotés, cette stratégie permet de limiter de façon importante la gravité de cette maladie durant les étés humides. Dans les champs sujets à la pourriture à sclérotés, il faut semer des rangs espacés de 38 cm (15 po) ou plus à raison de 370 000 graines par hectare (150 000 graines par acre). Dans les champs ayant été gravement touchés par cette maladie, il faut penser à espacer les rangs de 76 cm (30 po).

Pour faire des semis tardifs jusqu'à la mi-juin, il faut augmenter le taux de semis de 10 %. Tous les cultivars réagissent de façon comparable à la modification du taux de semis. Voici la formule servant à calculer la quantité de semences à employer :

Les écarts de grosseur des semences se répercutent sur les taux de semis : plus les semences sont grosses, plus il faut de semences lors des semis. Pour chaque cultivar, la taille et la qualité des semences dépendent du déroulement de la croissance et des conditions météorologiques de l'année précédente. En effet, la grosseur des semences d'un même cultivar peut varier de 20 % d'une année à l'autre.

Traitement des semences

Le traitement des semences permet d'accroître la densité de peuplement et d'améliorer les rendements dans certaines situations. Il peut s'agir d'un outil important pour l'établissement d'un peuplement uniforme, surtout dans les cultures en semis direct, sur les sols argileux ou dans les champs semés tôt. L'effet

obtenu sur le peuplement et sur le rendement dépend des conditions météorologiques qui suivent les semis et de la pression exercée par la maladie et les insectes. Le tableau 2-12, *Effets du traitement des semences sur la densité de peuplement et le rendement du soya*, montre les résultats d'essais menés à ce sujet. Là où les conditions étaient favorables à une levée rapide et que la pression exercée par la maladie ou les insectes était faible, le traitement des semences de soya n'a produit aucun gain de rendement. Pour en savoir plus sur les animaux nuisibles et sur les mesures de lutte connexes, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Profondeur de semis

Pour le soya, une profondeur de semis de 3,8 cm (1,5 po) convient généralement. Si l'on sème tôt en semis direct, on peut ramener cette profondeur à 2,5 cm (1 po), à condition que le sol soit assez humide. Cependant, compte tenu de la quantité d'eau nécessaire à la germination, il faut placer les semences de façon à les recouvrir d'une couche de terre humide de 1 cm (0,5 po) d'épaisseur, sans dépasser une profondeur de 6,4 cm (2,5 po) (voir photo 2-5). Une semence de soya qui vient d'être mise en terre doit traverser le sol en puisant uniquement dans ses propres réserves d'énergie. De façon générale, les graines plus grosses contiennent plus d'énergie que les graines plus petites, et elles peuvent être placées un peu plus profondément. Certains semoirs à céréales permettent difficilement de placer les semences avec précision, surtout dans les champs qui ont fait l'objet d'un travail réduit du sol ou d'un semis direct. Pour obtenir la profondeur appropriée, il peut être utile d'appliquer de la pression sur le semoir, d'y ajouter du poids ou d'utiliser un système de coutres. Il est important d'assurer un bon contact entre la semence et le sol et de bien fermer le sillon. La clé du succès est de semer dans un sol assez humide à l'aide d'un semoir de précision ou d'un semoir à céréales bien réglé. S'il est

impossible de semer dans la terre humide à l'aide d'un semoir à céréales, il faut songer à utiliser un semoir de précision plutôt que d'attendre la pluie.

Tableau 2-12 – Effets du traitement des semences sur la densité de peuplement et le rendement du soya¹

Effet	Parcelle témoin	Fongicide + insecticide
Densité de peuplement ¹	307 000 plants/ha (124 000 plants/ac)	321 000 plants/ha (130 000 plants/ac)
Rendement	3,3 t/ha (49,4 bo/ac)	3,4 t/ha (51,1 bo/ac)

¹ Densité de peuplement mesurée 30 jours après les semis.



Photo 2-5 – Manque d'uniformité dans la germination ou la levée dû à des semis trop superficiels dans une terre sèche (à gauche, semis à 4 cm [1,5 po] de profondeur; à droite, semis à 2 cm [0,75 po])

Les différents cultivars n'ont pas la même capacité à lever après avoir été semés à une profondeur de plus de 5 cm (2 po). Les fournisseurs de semences communiquent parfois une « cote de levée » ou cote d'élongation de l'hypocotyle, qui témoigne de la capacité de levée des graines semées plus profondément que d'habitude.

Roulage

Le roulage permet de conserver l'humidité du sol et de le préparer en vue de la récolte. Cette opération peut contribuer à aplanir le sol et à enfoncer les cailloux, ce qui facilite le travail de la moissonneuse-batteuse. Certains producteurs roulent leurs champs de soya immédiatement après les semis, et d'autres attendent que la levée ait lieu. Si le roulage a lieu immédiatement après les semis, il améliore le contact entre la semence et le sol, et il risque moins d'endommager les plants;

il accroît cependant les risques d'encroûtement, qui nuit à la levée. Dans les champs de soya qui n'ont pas été roulés après une mise en terre effectuée au semoir à céréales, la levée est souvent plus rapide et plus uniforme. Les champs roulés sont plus exposés à l'encroûtement s'il pleut après les semis. Par contre, si le temps est très sec, le roulage favorise la levée parce qu'il conserve mieux l'humidité du sol. Rien ne permet de croire que le roulage augmente le rendement en stimulant la croissance des plants ou leur floraison. S'il y a des gains de rendement associés à cette opération, c'est certainement parce qu'elle permet au tablier de la moissonneuse-batteuse de faire un meilleur travail.

Le roulage des champs de soya après la levée ne provoque pas de diminution des rendements dans les conditions suivantes :

- Si le roulage a lieu pendant les heures chaudes de la journée, lorsque les plants sont flasques. Les plants de soya sont plus turgescents (rigides) le matin, et ils risquent donc davantage d'être endommagés par le roulage si celui-ci a lieu à ce moment-là.
- Si on laisse les plantules atteindre au moins le stade unifolié, parce qu'au moment de la levée, elles sont très fragiles. Il ne faut toutefois pas procéder au roulage après le stade de la deuxième feuille trifoliée.

Encroûtement du sol

Après une pluie battante ou la formation de flaques d'eau, l'encroûtement du sol peut nuire à la levée du soya et casser l'hypocotyle (partie du plant qui soutient les cotylédons au-dessus de la surface du sol). S'il y a une forte pluie et qu'une croûte tend à se former, il faut la briser avant que les plantules commencent à percer la surface. Souvent, cette opération est effectuée trop tardivement pour aboutir à une réelle amélioration du peuplement.

Pour briser la croûte et faciliter la levée des semences, il faut travailler légèrement le sol avec une houe rotative, une herse, un système de coutres, ou même un semoir de précision ou un semoir à céréales. Habituellement, ces opérations réduisent d'au moins 10 % le nombre de plants qui lèvent; toutefois, les pertes peuvent être plus importantes lorsque l'hypocotyle perce la surface. Il se peut qu'il ne soit pas nécessaire de briser la croûte dans les peuplements uniformément clairsemés (p. ex. 60 %) qui ont déjà un plein potentiel de rendement. Pour déterminer le potentiel de rendement, voir le tableau 2-13, *Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits*.

Tableau 2-13 – Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits

% par rapport à un peuplement complet	Écartement des rangs				Rendement final prévu en % du rendement optimal
	Rang de 18 cm (7 po)	Rang de 36 cm (14 po)	Rang de 53 cm (21 po)	Rang de 76 cm (30 po)	
100 %	553 300 plants/ha (223 900 plants/ac)	402 600 plants/ha (162 900 plants/ac)	392 700 plants/ha (158 900 plants/ac)	405 100 plants/ha (163 900 plants/ac)	100 %
80 %	442 100 plants/ha (178 900 plants/ac)	323 600 plants/ha (131 000 plants/ac)	313 700 plants/ha (127 000 plants/ac)	323 600 plants/ha (131 000 plants/ac)	100 %
60 %	331 000 plants/ha (134 000 plants/ac)	242 100 plants/ha (98 000 plants/ac)	237 100 plants/ha (96 000 plants/ac)	244 500 plants/ha (98 900 plants/ac)	100 %
40 %	222 300 plants/ha (90 000 plants/ac)	160 600 plants/ha (65 000 plants/ac)	158 100 plants/ha (64 000 plants/ac)	163 000 plants/ha (66 000 plants/ac)	87 %
20 %	111 200 plants/ha (45 000 plants/ac)	81 500 plants/ha (33 000 plants/ac)	79 000 plants/ha (32 000 plants/ac)	81 500 plants/ha (33 000 plants/ac)	62 %

Reprise des semis

Le soya est plus sujet à un mauvais établissement des semis que le maïs ou le blé parce que, pour pouvoir lever, les plantules doivent tirer les feuilles des cotylédons à travers le sol. Il peut être difficile de savoir si la reprise des semis d'une culture mal en point est justifiée. Comme la diminution des peuplements est rarement uniforme, il vaut souvent mieux traiter les différentes parties du champ séparément. Il ne faut pas évaluer trop rapidement un peuplement de soya en mauvais état parce que d'autres plantules peuvent lever plus tard. Si le nombre de plants est réduit de 50 %, la reprise des semis n'est pas nécessaire dans la mesure où les pertes sont uniformes et que le peuplement restant est en bonne santé. De nombreuses études, tout comme l'expérience acquise sur le terrain, ont montré qu'il est souvent plus avantageux de conserver un peuplement existant que d'effectuer une reprise des semis qui, par ailleurs, ne garantit pas un peuplement parfait.

Chaque décision de reprise des semis doit être prise en fonction de divers paramètres relatifs au champ en question :

- La densité et la santé du peuplement existant : le taux de semis recommandé comprend une marge de sécurité visant à assurer la levée d'un peuplement acceptable.
- La cause de la diminution de la densité de peuplement : plusieurs facteurs peuvent être en cause, notamment l'encroûtement du sol, les dommages causés par les herbicides, le gel, la grêle, les insectes et les maladies. Par exemple, lors d'une année pluvieuse, la fonte des semis risque de survenir

à cause de deux genres de champignons, *Pythium* et *Phytophthora*; dans ce cas, s'il faut reprendre les semis, il faut choisir un cultivar qui résiste à *Phytophthora* et traiter les semences.

- L'uniformité du peuplement restant.
- Le potentiel de rendement du peuplement existant par rapport à celui du peuplement une fois le champ réensemencé. Ce potentiel commence à diminuer après la date de semis optimale et il continue de décroître pendant tout le mois de juin.
- Les coûts de la reprise des semis et les coûts supplémentaires liés à la lutte contre les mauvaises herbes dans les peuplements clairsemés.

Compensation et écartement des plants (vides)

Les plants de soya ont une remarquable capacité de compensation dans les peuplements clairsemés. En effet, ils peuvent combler des vides pouvant atteindre 30 cm (12 po), à l'intérieur des rangs ou entre ceux-ci, sans nuire au rendement, à condition que les mauvaises herbes n'exercent pas une concurrence pour occuper cet espace. D'après des études effectuées en Ontario, une réduction de 33 % du peuplement, si elle est uniforme, n'a pas d'effet notable sur le rendement.

Cependant, dans un peuplement très clairsemé, les plants se ramifient considérablement, ce qui les alourdit et les rend moins résistants à la verse. Les plants ramifiés tendent à produire plus de gousses près du sol, ce qui peut accentuer les pertes à la récolte. Lors d'essais effectués sur des peuplements clairsemés, la verse n'est apparue que lorsque la densité avait chuté à moins de 60 % d'un peuplement complet.

Évaluation des réductions de peuplement

Il convient de faire une évaluation précise de la densité de peuplement, de l'écartement et de la santé des plants qui restent. En ce qui concerne la densité, voir la méthode qui est présentée à l'annexe K, *Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations d'ennemis à l'aide d'un cadre*.

Le tableau 2-13, *Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits*, montre une estimation du potentiel de rendement par rapport à un peuplement complet, d'après des recherches effectuées en Ontario. Notons que ces chiffres reflètent le nombre de plants sains qui restent dans un peuplement clairsemé de densité uniforme et non soumis à la concurrence des mauvaises herbes.

Sur la plupart des types de sols, il ne faut pas reprendre les semis si la densité du peuplement est supérieure à 222 000 plants par hectare (90 000 plants par acre) avec des rangs espacés de 19 cm (7,5 po). Sur les sols argileux très lourds, la reprise des semis n'est justifiée que si la densité est inférieure à 250 000 plants par hectare (110 000 plants par acre).

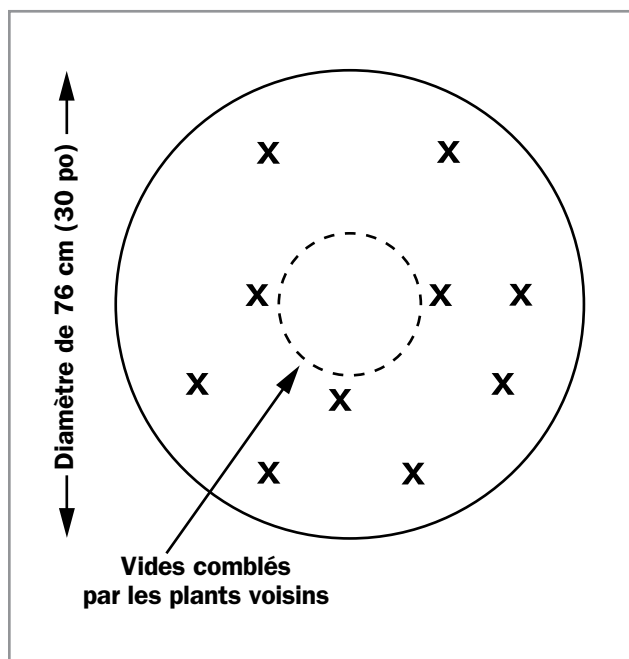


Figure 2-4 – Champ à peuplement réduit

Calcul des bénéfices après une reprise des semis

- Évaluer le rendement d'un peuplement complet semé à la première date.
- Mesurer la densité du peuplement existant; pour ce faire, voir la méthode du cerceau qui est présentée à l'annexe K, *Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations d'ennemis à l'aide d'un cadre*.
- Évaluer le potentiel de rendement du peuplement réduit. Voir le tableau 2-13, *Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits*.
- Évaluer le potentiel de rendement du peuplement complet une fois le champ réensemencé. Le retard des semis entraîne une diminution du potentiel de rendement. Voir le tableau 2-6, *Effets des dates de semis sur le rendement*.
- Évaluer le coût de la reprise des semis.
- Comparer la valeur du peuplement réduit à celle du peuplement complet une fois le champ réensemencé (voir la figure 2-4, *Champ à peuplement réduit*)

Exemple :

On estime qu'un champ ensemencé le 12 mai aurait un potentiel de rendement de 3 t/ha (45 bo/ac) si le peuplement était complet. Le 5 juin, un peuplement réduit semé avec un semis dense (écartement de 18 cm, ou 7 po) a une densité moyenne de 222 220 plants par hectare (90 000 plants par acre); son potentiel de rendement est donc de 87 % du peuplement complet (2,6 t/ha ou 39 bo/ac) (voir le tableau 2-13, *Rendement prévu des peuplements de soya optimaux et réduits*). Si on reprend les semis à une date plus tardive, soit le 6 juin, le rendement prévu sera d'environ 2,8 t/ha (41 bo/ac) (3 t/ha x 92 % ou 45 bo/ac x 92 %, d'après le tableau 2-6, *Effets des dates de semis sur le rendement*). Dans ce cas, la reprise des semis ne serait donc pas justifiée, compte tenu du coût des semences et de la mise en terre, et des risques que l'opération comporte.

Semis ponctuel

Dans le cas d'un établissement médiocre, un nouveau semis effectué entre les plantules déjà établies pour compléter ou épaissir le peuplement existant ne permet d'améliorer le rendement que si le peuplement est très ténu. En effet, les plantules issues de ce nouveau semis ont un retard de croissance si grand qu'elles ne sont pas en mesure de rivaliser avec le peuplement original, même s'il est clairsemé. Néanmoins, il s'agit sans doute de la meilleure solution pour maximiser les rendements, et c'est généralement mieux que de repartir à zéro

en retirant le peuplement existant. Si l'on prévoit de compléter ou d'épaissir le peuplement, il faut employer le même cultivar et ne pas détruire le peuplement existant. Avec cette méthode de réparation, il peut être difficile de choisir le moment des activités de lutte contre les mauvaises herbes et de récolte, mais elle est gérable, en particulier avec les cultivars tolérant le glyphosate.

Croissance des plants

Le tableau 2-14, *Stades végétatifs du soya*, montre les stades de croissance du soya de la levée à la pleine maturité. Le tableau 2-15, *Stades reproductifs du soya*, indique les stades reproductifs du soya, du début de la floraison à la pleine maturité.

Dans la croissance du soya, on distingue deux types de stades : les stades végétatifs (V), pour les feuilles et les nœuds, et les stades reproductifs (R), pour les fleurs, les gousses et les graines. On désigne les stades V selon le nombre de nœuds présents sur la tige principale et portant des feuilles pleinement développées, en commençant par les feuilles unifoliées. On considère qu'une feuille est pleinement développée si les folioles portées par le nœud suivant sont assez déroulées pour que leurs bords ne se touchent plus. Par exemple, au stade V1, les feuilles unifoliées sont entièrement développées, c'est-à-dire que la feuille située au-dessus (première feuille trifoliée) est déroulée; c'est pourquoi on désigne souvent ce stade comme étant celui de la « première feuille trifoliée ». Le nœud est le point où la feuille est ou était attachée à la tige. Pour déterminer les stades V, on ne compte pas les feuilles trifoliées situées sur les branches.

Les deux premières feuilles du plant de soya sont unifoliées (une seule foliole chacune) et opposées; elles se forment au niveau du premier nœud, au-dessus des cotylédons. Les feuilles suivantes sont trifoliées (trois folioles chacune) et alternes. Après l'apparition de deux ou trois feuilles trifoliées, les nodosités, indispensables à la fixation de l'azote atmosphérique, apparaissent sur les racines.

Si on sème les plants de soya à la date optimale, ils forment de cinq à sept feuilles trifoliées avant le début de la floraison, qui est principalement déclenchée par les changements de longueur des jours et de température. Cependant les cultivars très précoces sont presque insensibles à la longueur des jours, et leur floraison dépend essentiellement du nombre d'unités thermiques accumulées. Ceux qui sont plus tardifs sont davantage influencés par la longueur du jour;

les cultivars de saison longue mettent donc moins de temps à arriver à maturité s'ils sont semés tard que s'ils sont semés tôt.

Germination et levée

La germination débute lorsque la graine absorbe l'humidité du sol et atteint une teneur en eau d'environ 50 %. Le premier signe externe de germination est l'apparition de la radicule (racine séminale), qui pousse vers le bas et s'ancre dans le sol. Peu après, l'hypocotyle (partie de la tige située au-dessus de la radicule) commence à pousser vers le haut en entraînant les cotylédons (feuilles séminales). Une fois levé, l'hypocotyle, en forme de crochet, se redresse, les cotylédons se replient vers le bas et le point végétatif est exposé au soleil. Normalement, la levée se produit de 5 à 21 jours après le semis, selon l'humidité et la température du sol ainsi que la profondeur des semis.

En Ontario, les cultivars de soya commerciaux sont indéterminés, c'est-à-dire qu'ils continuent de croître et de produire de nouvelles feuilles après le début de la floraison. Les grands cultivars à croissance déterminée atteignent leur hauteur maximale avant le début de la floraison, qui est de courte durée. En général, les gousses les plus basses des grands cultivars déterminés sont plus hautes que celles des cultivars indéterminés.

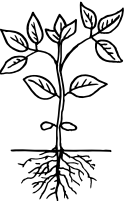
Gestion de la fertilisation

Azote et soufre

Les cultures de soya n'ont généralement pas besoin d'engrais azotés (voir section *Inoculation* du chapitre 2). Les recherches effectuées sur l'épandage d'engrais azotés au moment des semis montrent que l'excès d'azote peut retarder la formation des nodosités et la fixation de l'azote, et favoriser une croissance végétative excessive qui augmente les risques de verse. Selon les recherches menées en Ontario, l'épandage d'engrais azotés sur un champ de soya qui possède suffisamment de nodosités ne produit pas de gain de rendement notable. Rien ne permet non plus de penser que l'application de soufre a un effet sur le soya dans la province.

Si les nodosités ne se forment pas et que les plants de soya sont vert pâle et souffrent d'une carence en azote, on suggère d'appliquer 50 kg/ha (45 lb/ac) d'azote à l'apparition de la première fleur, sous forme d'urée ou de nitrate d'ammonium et de calcium, lorsque la surface du feuillage est sèche.

Tableau 2-14 – Stades végétatifs du soya

	VE	VC	V1	V3*	V5	Vn
						
Stade	Levée	Feuille unifoliée	Première feuille trifoliée	Troisième feuille trifoliée	Cinquième feuille trifoliée	Énième feuille trifoliée
Nombre de jours pour atteindre ce stade ¹	15	5	5	3	3	3 jours par feuille trifoliée
Durée du stade en jours ²	5 à 22	3 à 10	3 à 9	3 à 9	3 à 9	(variable)
Description	• Les plantules lèvent de terre (stade de la crosse).	• L'hypocotyle se redresse et les cotylédons s'ouvrent. • Les feuilles unifoliées se déroulent (leurs bords ne se touchent plus). • Le point végétatif est au-dessus de la surface du sol.	• La première feuille trifoliée est apparue et s'est déroulée. • Début de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes.	• Trois feuilles trifoliées sont apparues et se sont déroulées. • Fin de la période critique de lutte contre les mauvaises herbes. • La fixation de l'azote a débuté.	• Cinq feuilles trifoliées sont apparues et se sont déroulées. • La perte de 50 % des feuilles a peu d'incidence sur le rendement final. • Les cultivars de soya précoces entament le stade R1 vers le stade V4.	• n = nombre de nœuds présents sur la tige principale et portant des feuilles pleinement développées, en commençant par la feuille unifoliée. • Le nombre de nœuds est lié à la cote de maturité, à la date de semis et aux conditions climatiques.

¹ Estimation du nombre de jours requis pour passer d'un stade au suivant.² Estimation du nombre de jours selon la cote de maturité du cultivar, la date de semis, la région de croissance et les conditions climatiques; elle peut varier d'une saison à l'autre et au cours d'une même saison.

* Les stades V2 et V4 sont des stades végétatifs, mais ils ne figurent pas dans le tableau.

Tableau 2-15 – Stades reproductifs du soya

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
								
Stade	Début de la floraison	Pleine floraison	Premières gousses	Remplissage des gousses	Premières graines	Grossissement des graines	Début de la période de maturité	Maturité
Nombre de jours pour atteindre ce stade ¹	3	10	10	11	14	16	11	(variable)
Durée du stade en jours ²	1 à 4	8 à 12	8 à 12	9 à 13	12 à 16	14 à 18	8 à 13	(variable)
Notes	• Floraison déclenchée par le changement de la longueur des journées et de la température. • Une fleur épanouie à n'importe quel nœud de la tige principale. • La première fleur apparaît près du cinquième nœud (stade V4), puis les autres apparaissent ailleurs sur la tige. • Les racines s'allongent plus rapidement. • Une chaleur extrême peut ralentir la croissance des plants, la floraison et le développement des gousses.	• Fleur épanouie à l'un des deux plus hauts nœuds de la tige principale. • 50 % de la hauteur et du poids sec accumulé. • Normalement, le stress ne nuit pas au rendement. • La fixation de l'azote augmente rapidement.	• Gousses courtes visibles sur les quatre nœuds les plus hauts (feuilles pleinement développées) de la tige principale. • Pic de floraison. • Deux à trois graines par gousse.	• Gousses de 2 cm de long sur les quatre nœuds les plus hauts de la tige principale. • Entre les stades R4 et R6, l'apparition d'un stress peut entraîner des pertes de rendement importantes.	• Présence de graines dans l'une des quatre gousses les plus hautes. • Floraison généralement complète. • Les plants ont atteint leur maximum (hauteur, nombre de nœuds et surface foliaire). • Le taux de fixation de l'azote atteint son maximum et commence à diminuer. • Absorption rapide des éléments nutritifs et redistribution aux gousses.	• Les graines remplissent la cavité de la gousse de l'un des quatre plus hauts nœuds. • Les gousses atteignent leur longueur maximale. • La croissance des racines ralentit de façon importante. • Le gain de poids sec au-dessus du sol ralentit. • Les feuilles commencent à jaunir rapidement. • Les feuilles du bas commencent à tomber.	• L'une des gousses de la tige principale est devenue brune. • La teneur en eau des graines commence à diminuer (à environ 60 %). • Les plants ont atteint leur maturité physiologique et leur poids sec maximal.	• 95 % des gousses sont devenues brunes. • Teneur en eau pour la récolte atteinte une à deux semaines après le stade R8.

¹ Estimation du nombre de jours requis pour passer d'un stade au suivant.

² Estimation du nombre de jours selon la cote de maturité du cultivar, la date de semis, la région de croissance et les conditions climatiques; elle peut varier d'une saison à l'autre et au cours d'une même saison.

Phosphate et potasse

Les directives relatives au phosphate et à la potasse dans les cultures de soya figurent aux tableaux 2-16 et 2-17. Elles reposent sur des analyses de sol reconnues par le MAAARO, réalisées avec la méthode axée sur les concentrations convenables, qui consiste à épandre la dose d'éléments nutritifs la plus économique pour une année donnée.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir tableau 9-10, *Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques*, au chapitre 9).

Tableau 2-16 – Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour le soya

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE :

RE = réaction élevée RM = réaction moyenne
RF = réaction faible RTF = réaction très faible
RN = réaction nulle

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium	Quantité de phosphate à appliquer
0 à 3 ppm	80 kg/ha (RE)
4 à 5 ppm	60 kg/ha (RE)
6 à 7 ppm	50 kg/ha (RE)
8 à 9 ppm	40 kg/ha (RE)
10 à 12 ppm	30 kg/ha (RM)
13 à 15 ppm	20 kg/ha (RM)
16 à 30 ppm	0 (RF)
31 à 60 ppm	0 (RTF)
61 ppm et plus	0 (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application du phosphore sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, des apports de phosphate peuvent entraîner des carences en zinc dans les sols pauvres en zinc et augmenter les risques de pollution de l'eau.

Tableau 2-17 – Doses de potasse (K_2O) recommandées pour le soya

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE :

RE = réaction élevée RM = réaction moyenne
RF = réaction faible RTF = réaction très faible
RN = réaction nulle

Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium	Quantité de potasse à appliquer
0 à 15 ppm	120 kg/ha (RE)
16 à 30 ppm	110 kg/ha (RE)
31 à 45 ppm	90 kg/ha (RE)
46 à 60 ppm	80 kg/ha (RE)
61 à 80 ppm	60 kg/ha (RM)
81 à 100 ppm	40 kg/ha (RM)
101 à 120 ppm	30 kg/ha (RM)
121 à 150 ppm	0 (RF)
151 à 250 ppm	0 (RTF)
251 ppm et plus	0 (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application de potasse sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, l'épandage de potasse dans des sols pauvres en magnésium peut provoquer une carence en magnésium.

Une carence en potassium se manifeste sous la forme d'un jaunissement ou d'un brunissement du pourtour des feuilles les plus vieilles, qui, dans les cas les plus graves, touche également les feuilles du sommet du plan (voir photo 2-6). Le soya consomme une très grande quantité de potassium (environ 78 kg/ha pour un rendement de 3,4 t/ha, soit 70 lb/ac pour un rendement de 50 bo/ac). Chaque année en Ontario, de nombreux champs de soya sont carencés en potassium. Pour y remédier, on peut effectuer une application à l'automne ou au printemps. D'après des essais de recherche menés en Ontario, l'épandage en bandes de phosphore et de potassium 5 cm (2 po) à côté et 5 cm (2 po) au-dessous des semences ne produit pas de gain de rendement notable par rapport à un épandage à la volée (voir tableau 2-18, *Effet de l'application d'azote au printemps dans des sols à teneur faible sur le rendement du soya*).



Photo 2-6 – Carence en potassium (K) se manifestant sur le feuillage plus vieux par le jaunissement ou le brunissement du pourtour des feuilles

Tableau 2-18 – Effet de l'application d'azote au printemps dans des sols à teneur faible sur le rendement du soya

Moyenne de trois essais avec analyse du sol au cours desquels ont été appliqués 11 ppm de phosphore (P) et 92 ppm de potassium (K). Tout l'épandage s'est fait au printemps. L'azote épandu à la volée a été incorporé au sol.

Un écart de moins de 81 kg/ha (1,2 bo/ac) est sans importance sur le plan statistique.

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible

Traitement	Rendement	Gain de rendement
Aucun	3,05 t/ha (45,3 bo/ac)	–
25 lb de P + 40 lb de K (à la volée)	3,33 t/ha (49,5 bo/ac)	0,28 t/ha (4,2 bo/ac)
25 lb de P + 40 lb de K (en bandes, 2 x 2 po)	3,35 t/ha (49,8 bo/ac)	0,30 t/ha (4,5 bo/ac)
25 lb de P (dans la raie de semis)	3,32 t/ha (49,3 bo/ac)	0,27 t/ha (4,0 bo/ac)
2-20-18 + inoculant liquide (dans la raie de semis)	3,27 t/ha (48,6 bo/ac)	0,22 t/ha (3,3 bo/ac)

Si les valeurs obtenues lors de l'analyse du sol sont correctes, l'application de phosphore et de potassium n'a pas d'effet sur le rendement. Pour en savoir plus sur les analyses de sol, voir la section *Directives relatives aux engrais* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Méthodes d'application

Le phosphore et le potassium ne doivent pas entrer en contact avec les semences de soya parce qu'ils contiennent des sels qui peuvent les endommager. Le rendement du soya, contrairement à celui du maïs, ne bénéficie pas d'une telle pratique. L'engrais peut être épandu à la volée puis incorporé au sol à l'automne ou au printemps. On peut aussi le placer à une distance de 5 cm (2 po) à côté de la semence et de 5 cm (2 po) au-dessous de celle-ci, au moyen d'un semoir de précision équipé d'un outil spécialement conçu pour la fertilisation. Pour en savoir plus, voir le tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, au chapitre 9.

Analyse des tissus végétaux

Pour l'analyse des tissus du soya, on recommande de prélever la feuille pleinement développée la plus haute (trois folioles et la tige) à l'apparition de la première fleur (voir tableau 2-19, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le soya*). Si l'échantillonnage est fait à un autre moment, il faut prélever des échantillons provenant de parties du champ qui sont saines et de parties touchées pour en faire la comparaison. À l'échantillon de tissu végétal, on peut joindre un échantillon de sol prélevé au même endroit et en même temps pour étayer l'interprétation diagnostique.

Oligo-éléments

Manganèse

Le manganèse (Mn) est le seul oligo-élément pour lequel une carence a été signalée dans les cultures de soya en Ontario, mais on peut s'attendre à des carences en zinc sur les terres où la couche arable a été emportée par l'érosion.

Lorsqu'il y a carence en manganèse, les feuilles supérieures deviennent vert pâle (carence légère) ou presque blanches (carence prononcée), bien que les nervures restent vertes (voir photo 2-7). Les analyses de sol et de tissus végétaux permettent de prévoir à quels endroits des carences en manganèse sont susceptibles de se produire. On peut les commander auprès des laboratoires accrédités par le MAAARO dont la liste figure à l'annexe C, *Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario*.

Tableau 2-19 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le soja

Ces valeurs se rapportent à la feuille pleinement développée la plus haute (trois folioles et la tige) à l'apparition de la première fleur.

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible

Élément nutritif	Concentration critique ¹	Concentration normale maximale ²
Azote (N)	4,0 %	6,0 %
Phosphore (P)	0,35 %	0,5 %
Potassium (K)	2,0 %	3,0 %
Calcium (Ca)	–	3,0 %
Magnésium (Mg)	0,10 %	1,0 %
Bore (B)	20,0 ppm	55,0 ppm
Cuivre (Cu)	4,0 ppm	30,0 ppm
Manganèse (Mn)	14,0 ppm	100,0 ppm
Molybdène (Mo)	0,5 ppm	5,0 ppm
Zinc (Zn)	12,0 ppm	80,0 ppm

Source : Yin, Xinhua et Tony J. Vyn, « Soybean Responses to Potassium Placement and Tillage Alternatives following No-Till », *Agronomy Journal*, n° 94, p. 1367-1374, 2002.

¹ Prévoir une baisse de rendement due à une carence en un élément nutritif donné lorsque la concentration de ce dernier tombe au niveau critique ou sous celui-ci.

² Les concentrations normales maximales sont plus que suffisantes, mais ne causent pas nécessairement de toxicité.

Pour corriger une telle carence, on suggère d'effectuer une pulvérisation foliaire de manganèse. En cas de carence prononcée, une deuxième pulvérisation peut être souhaitable.



Photo 2-7 – Carence en manganèse (Mn) reconnaissable aux feuilles supérieures qui deviennent vert pâle, ou presque blanches, alors que les nervures restent vert foncé

Avertissement : Avant d'appliquer des oligo-éléments, pour éviter d'endommager la culture, il est indispensable de nettoyer le réservoir du pulvérisateur si celui-ci a servi à l'épandage d'herbicides.

L'épandage de manganèse sur le sol n'est pas recommandé, quelle qu'en soit la source, parce qu'il en faudrait de très grandes quantités. De plus, les applications de manganèse chélaté au sol réduisent le rendement.

En général, le soja réagit bien à un apport de manganèse dans les parties du champ où la carence est évidente. Sur des cultures de soja qui ne manifestent aucun signe de carence, l'application de manganèse ne présente aucun avantage.

Récolte et entreposage

Limiter les pertes à la récolte

Les cultures de soja sont moissonnées directement, de préférence au moyen d'une moissonneuse-batteuse munie d'une barre de coupe flottante flexible et d'un tablier automatique réglable. On peut récolter le soja lorsque sa teneur en eau est inférieure à 20 %; cependant, on ne doit l'entreposer que lorsque celle-ci est de 14 % ou moins.



Photo 2-8 – Moissonneuse-batteuse munie d'un rabatteur avec soufflerie pour limiter les pertes

Les pertes à la récolte et les dommages mécaniques peuvent être importants si le soja est récolté à une teneur en eau inférieure à 12 %. La perte de seulement 43 graines par mètre carré (4 graines par pied carré) représente une perte totale de 67 kg/ha (1 bo/ac). On peut réduire les pertes de cette nature en maintenant la

vitesse d'avancement entre 4 et 5 km/h. De plus, il faut régler la vitesse du rabatteur selon l'état des cultures.

La barre de coupe flottante permet de couper les plants de soya près du sol. Pour améliorer la récolte, il faut :

- ajuster la soufflerie pour fournir le plus d'air possible sans envoyer les gousses dans l'élévateur de retour ou derrière la moissonneuse-batteuse;
- régler la grille supérieure pour permettre à la soufflerie de séparer les gousses et la paille;
- ajuster le crible pour ne laisser passer que le soya;
- modifier les réglages de la grille supérieure et du crible au cours de la journée, en fonction des conditions météorologiques et de la teneur en eau du soya.

L'entretien du tablier est important, parce que c'est là que surviennent la plupart des pertes. La barre de coupe doit être bien affûtée et les couteaux doivent bien entrer en contact avec les doigts pour permettre une coupe rapide et l'entrée immédiate des parties coupées dans le dispositif. Pour charger rapidement les plants courts, il faut ajouter des courroies sur le rabatteur à battes ou utiliser un rabatteur à soufflerie.

Si le tablier ne réussit pas à couper tous les plants, il faut :

- vérifier les couteaux et les doigts;
- songer à réduire la vitesse d'avancement.

Qualité et préservation de l'identité

Avant la récolte

Si le soya est destiné à un marché à identité préservée, il faut prendre les dispositions nécessaires pour éviter la perte de qualité, dont les principales causes sont les taches et les dommages mécaniques. Ces derniers peuvent entraîner le rejet d'un chargement complet. Les taches peuvent être causées par des mauvaises herbes, des graines immatures, la saleté et la poussière. Avant la récolte, il faut nettoyer de fond en comble les moissonneuses-batteuses, les camions, les remorques ainsi que les silos et autres dispositifs de manutention afin de prévenir toute contamination. Il faut examiner les champs pour repérer les plants indésirables et les repousses (p. ex. maïs), et vérifier que les rangs situés en bordure de champ ou de route ne contiennent aucun morceau de verre, de métal, de poteau ou autre. Pour éviter les taches vertes sur les graines, avant de récolter, il est conseillé d'attendre que les tiges de soya

et les mauvaises herbes soient tout à fait sèches. Il faut arracher les mauvaises herbes telles que la morelle noire de l'Est et le phytolaque d'Amérique avant la récolte, ou demander à l'opérateur de la moissonneuse-batteuse d'éviter les zones envahies par ces espèces.



Photo 2-9 – Taches violacées sur des graines de soya

Récolte et entreposage

Pour récolter un cultivar à identité préservée autre que celui qui a été récolté en dernier, il est préférable de nettoyer la moissonneuse-batteuse de fond en comble pour éliminer les graines qui y sont coincées. Une autre méthode, moins efficace toutefois, consiste à récolter séparément une petite superficie du cultivar à identité préservée et de traiter le produit comme étant rejeté. Cet échantillon peut servir à vérifier la teneur en eau de la culture et le réglage de la moissonneuse-batteuse, et peut être vendu comme du soya à identité non préservée.

Voici quelques autres conseils concernant les opérations de récolte :

- Superviser les moissonneurs contractuels pour s'assurer que leur équipement est prêt.
- Conserver une copie du contrat de soya à identité préservée afin de respecter les consignes de qualité au moment de la récolte; commencer la récolte plus tard dans la journée et la terminer plus tôt que pour les cultivars commerciaux, principalement pour éviter de tacher les graines. Il est très difficile de nettoyer une moissonneuse-batteuse qui a été contaminée.
- De préférence, récolter lorsque la teneur en eau est près de 14 %, ce qui permet d'effectuer le séchage à l'air ambiant. Faire la récolte du soya quand sa teneur en eau est d'au moins 12 %, et le manipuler soigneusement pour empêcher le tégument de fendiller.
- Au cours de la journée, régler la moissonneuse-

batteuse à mesure que les conditions de récolte évoluent; les réglages effectués dans le but de réduire les dommages mécaniques peuvent accroître la quantité d'impuretés, mais ces pertes sont largement compensées par les primes offertes aux producteurs.

- Entreposer le soya à identité préservée dans des silos distincts des autres cultivars et des autres grains et oléagineux.

Si le soya est cultivé en vertu d'un contrat signé, toutes ces exigences y sont mentionnées. Avec ou sans contrat, tout manquement peut entraîner une réduction des primes.

Séchage du soya

Bon nombre de cultivars à identité préservée ne peuvent pas être séchés artificiellement, notamment avec de l'air chaud. Pour savoir quels sont les taux d'humidité acceptables et les méthodes de séchage du soya à identité préservée, il faut communiquer avec l'acheteur.

Séchoirs à grains

Trois grands types de séchoirs sont utilisés dans les exploitations agricoles :

- Cellules sèches;
- Séchoirs discontinus;
- Séchoirs continus.

Aucun système de séchage en particulier n'est supérieur aux autres à tous les égards. Le choix d'un système dépend des caractéristiques recherchées :

- Capacité de séchage;
- Qualité du grain;
- Efficacité énergétique ou de séchage (kJ/kg ou BTU/lb d'eau retirée);
- Facilité d'utilisation et main-d'œuvre nécessaire au fonctionnement;
- Possibilité de sécher différents types de cultures;
- Besoin d'entretien et coût d'investissements.

Tous les séchoirs font passer de l'air sur les graines pour faire évaporer l'humidité qu'elles contiennent et l'évacuer. Cet air de séchage est chauffé, ce qui réduit son humidité relative et accroît ainsi son pouvoir de séchage. On peut sécher les graines humides à des températures plus élevées parce que l'évaporation de

l'humidité les refroidit. Au fur et à mesure que les graines sèchent, elles s'approchent de la température de l'air de séchage. Par conséquent, plus elles demeurent longtemps en contact avec l'air chauffé, plus elles deviennent sèches et chaudes.

Séchage du soya à l'air chaud et à l'air froid

On récolte parfois le soya à une teneur en eau plus élevée en raison d'un temps pluvieux, ou à une date plus précoce que d'habitude pour limiter les pertes. Il est possible d'adapter toutes les méthodes de séchage au soya si l'on suit certaines règles sur l'utilisation de la chaleur et les pratiques de manutention.

Il faut faire preuve de prudence quand on utilise de l'air chaud pour sécher du soya dont la teneur en eau est plus élevée que la valeur recommandée pour un entreposage sûr à long terme. Il faut maintenir le degré d'humidité relative de l'air de séchage au-dessus de 40 % pour empêcher le tégument de fendiller. L'expérience montre que 100 % des graines se fendillent après seulement cinq minutes d'exposition à une température très élevée. Dans la majorité des cas, on recommande une température de séchage maximale de 55 à 60 °C pour le soya commercial. Si les conditions atmosphériques sont favorables, il se pourrait qu'on doive réduire cette température pour éviter ce phénomène. Pour évaluer l'effet du séchage, il faut vérifier le nombre de graines fendillées avant et après l'opération.

Le soya de semence doit être séché à une température inférieure à 40 °C, et l'opération ne devrait être entreprise que par des personnes ayant plusieurs années d'expérience. Certains fournisseurs de soya de semence désapprouvent toute utilisation de chaleur dans le conditionnement de ce type de produit. Il est important de communiquer avec l'entreprise qui achètera la semence pour connaître la méthode qu'elle préconise.

Pour ce qui est des cellules sèches, il faut faire preuve de prudence si on utilise un système équipé d'un dispositif de brassage qui fait circuler les graines dans le silo. La manutention peut causer des dommages considérables, surtout si la teneur en eau tombe à 12 % ou en dessous.

Séchage à l'air ambiant

Le soya dont la teneur en eau est légèrement supérieure à celle recommandée pour l'entreposage peut être

séché à l'air ambiant si les conditions s'y prêtent. Cette opération exige beaucoup d'attention de la part de l'exploitant parce que le soya absorbe et perd facilement de l'humidité. Il faut mettre le ventilateur en marche uniquement lorsque les conditions extérieures sont propices au séchage. Il ne faut pas laisser le ventilateur en marche 24 heures sur 24, parce que les graines redeviendraient humides pendant la nuit, ce qui annulerait les progrès réalisés pendant le jour.

Exigences minimales pour le séchage du soya à l'air ambiant

- Aménager un faux fond entièrement perforé dans la cellule de stockage.
- Nivelier la surface du soya dans toute la cellule de stockage.
- Assurer un débit d'air d'au moins $6,5 \text{ l/sec/m}^3$ ($0,5 \text{ pi}^3/\text{min/bo}$).
- Nettoyer les graines afin de les débarrasser des gousses et des particules fines accumulées.
- Mesurer précisément la teneur en eau du soya dans la cellule de stockage.
- Bien lire la température de l'air et l'humidité relative à l'extérieur.
- Bien connaître la teneur en eau à l'équilibre du soya.
- Installer un interrupteur de commande du ventilateur.

Il faut un faux fond entièrement perforé pour permettre à l'air de circuler de façon uniforme partout dans la cellule; avec un faux fond partiellement perforé ou un réseau de conduits d'air, il reste des zones où l'air ne circule pas, ce qui présente des risques d'altération. Les gousses, les résidus et les particules fines qui s'accumulent dans la cellule de stockage gênent le passage de l'air ou le dévient. L'air qui traverse la masse de soya suit toujours le chemin offrant le moins de résistance.

Détermination du débit d'air

Il faut un débit suffisant pour faire passer l'air dans toute la masse de soya. Pour retirer l'humidité, le débit d'air doit être au moins de $6,5 \text{ l/sec/m}^3$ ($0,5 \text{ pi}^3/\text{min/bo}$); en deçà de ce seuil, il aura pour effet de modifier la température du soya sans toutefois influencer sa teneur en eau. Les débits d'air de 26 l/sec/m^3 ($2 \text{ pi}^3/\text{min/bo}$) ou plus permettent seulement d'accélérer le séchage. Pour calculer la valeur du débit en l/sec/m^3 ($\text{pi}^3/\text{min/bo}$) pour une cellule donnée, il faut déterminer le nombre de boisseaux qu'elle contient et la pression statique que le ventilateur doit vaincre. On peut utiliser un

manomètre, un appareil tout simple servant à mesurer la pression statique dans le faux fond perforé sous la cellule. Il affiche la pression en centimètres ou en pouces d'une colonne d'eau (voir figure 12-1, *Manomètre de fabrication artisanale*). À partir de la courbe de rendement du ventilateur, on peut calculer son débit à la pression statique mesurée. Pour ce faire, il faut diviser le débit en l/sec (pi^3/min) par le nombre de boisseaux contenus dans la cellule de stockage. Pour obtenir un débit suffisant, on peut aussi ne remplir que partiellement la cellule de stockage. Ainsi le ventilateur devra vaincre une pression statique moins importante et donnera un débit d'air par boisseau plus élevé.

Teneur en eau à l'équilibre

Des chercheurs ont mis au point des tableaux qui indiquent la teneur en eau finale du soya selon la température et l'humidité relative de l'air (voir tableau 2-10, *Teneur en eau à l'équilibre (% à l'état humide) du soya exposé à l'air*). Par exemple, pour connaître la teneur en eau à l'équilibre du soya exposé à l'air extérieur à 10°C et à 70 % d'humidité relative, il suffit de trouver l'intersection de la rangée et de la colonne correspondantes dans le tableau. La valeur indiquée à cet endroit (13,2 %) est la teneur en eau à l'équilibre du soya, qu'il atteindra s'il est soumis à ces mêmes conditions extérieures pendant un délai suffisamment long.

Tableau 2-20 – Teneur en eau à l'équilibre (% à l'état humide) du soya exposé à l'air

Température	Humidité relative				
	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
0 °C	10,0	11,8	13,7	16,2	19,8
5 °C	9,8	11,5	13,5	15,9	19,6
10 °C	9,5	11,2	13,2	15,7	19,4
15 °C	9,2	11,0	13,0	15,5	19,2
20 °C	9,0	10,7	12,8	15,2	19,0
25 °C	8,7	10,5	12,5	15,0	18,8

Mesure du taux d'humidité relative

Pour sécher le soya à l'air, il est important de connaître avec précision le taux d'humidité relative de l'air extérieur, qui peut être difficile à mesurer. Dans certains cas, cette information peut être communiquée par une station météorologique de la région, mais les conditions peuvent varier d'un endroit à l'autre. Pour le séchage à l'air du soya gourd, il n'est pas conseillé

d'utiliser un hygromètre domestique, ce type d'appareil n'étant généralement pas assez précis. On recommande plutôt d'utiliser un psychromètre fronde ou un hygromètre de bonne qualité, qui conviennent tous deux parfaitement à cet usage.

Quand faire fonctionner le ventilateur

Il faut mettre le ventilateur en marche non pas en fonction de l'heure de la journée, mais bien en fonction de la température et du taux d'humidité relative de l'air. En effet, selon la journée, le séchage peut avoir lieu entre 9 h et minuit ou seulement entre 9 h et 18 h. Il faut souvent vérifier la température et le taux d'humidité relative de l'air au cours de la journée. Pour que le séchage progresse, l'air extérieur doit être plus sec que l'air intérieur. Si pendant une journée donnée, la teneur en eau à l'équilibre est inférieure à la teneur en eau des graines les plus humides, le séchage est possible et le ventilateur doit être mis en marche. On peut installer un humidistat permettant à l'opérateur de régler à l'avance le taux d'humidité auquel le ventilateur doit se mettre en marche.

Le soya qui se trouve sur le dessus de la cellule de stockage séchera en dernier. Chaque jour où le ventilateur fonctionne, le front de séchage progresse un peu plus vers le haut de la cellule. Il se peut que l'ensemble du front du séchage n'atteigne pas le haut de la cellule aussi rapidement que prévu. Il faut prélever des échantillons chaque fois à la même profondeur pour connaître l'évolution de la teneur en eau à cet endroit. Les cellules de stockage pourvues de dispositifs de brassage afficheront des teneurs en eau relativement uniformes.

Autres problèmes liés aux cultures

Insectes et maladies

La figure 2-5, *Calendrier de dépistage des ennemis du soya*, montre les insectes et les maladies qui peuvent endommager la culture de soya et nuire à son rendement, et la période à laquelle ils peuvent agir. Les traitements de lutte contre les insectes et animaux nuisibles et les maladies sont présentés dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Dommages causés par le gel et la grêle

Début de saison

Les plants endommagés sous les cotylédons par le gel ou la grêle en début de saison ne se rétablissent pas (voir photo 2-10). Si le gel ou la grêle endommage le point végétatif du plant sans toutefois toucher la tige sous celui-ci, le plant produit de nouvelles pousses à partir de la base des feuilles ou des cotylédons. Il faut de trois à quatre jours aux nouvelles pousses pour sortir du point d'attache des feuilles sur la tige (aisselle). D'après des essais de recherche, la perte de feuilles aux premiers stades de la croissance a peu d'incidence sur le rendement final ou la maturité. Le tableau 2-21, *Pourcentage de perte de rendement des cultivars de soya indéterminés selon la surface foliaire endommagée et le stade de croissance*, résume les pertes de rendement prévues dans différents cas.



Photo 2-10 – Dommages causés par la grêle; le soya est surtout vulnérable à la grêle pendant la floraison et le remplissage des gousses

Dommages aux tiges

Les bris ou les coupures de tiges ont plus d'incidence sur le rendement et la maturité que la perte de feuilles. Si moins de 50 % des tiges sont perdues avant la floraison, la perte de rendement sera inférieure à 10 %. Pour évaluer les dommages causés par la grêle, il faut vérifier s'il y a des meurtrissures sur les tiges. Si celles-ci sont gravement endommagées, les plants se rétablissent plus difficilement et ils peuvent aussi devenir plus vulnérables aux maladies. Les meurtrissures, qui n'entraînent pas la cassure de la tige, ont très peu d'incidence sur le rendement.

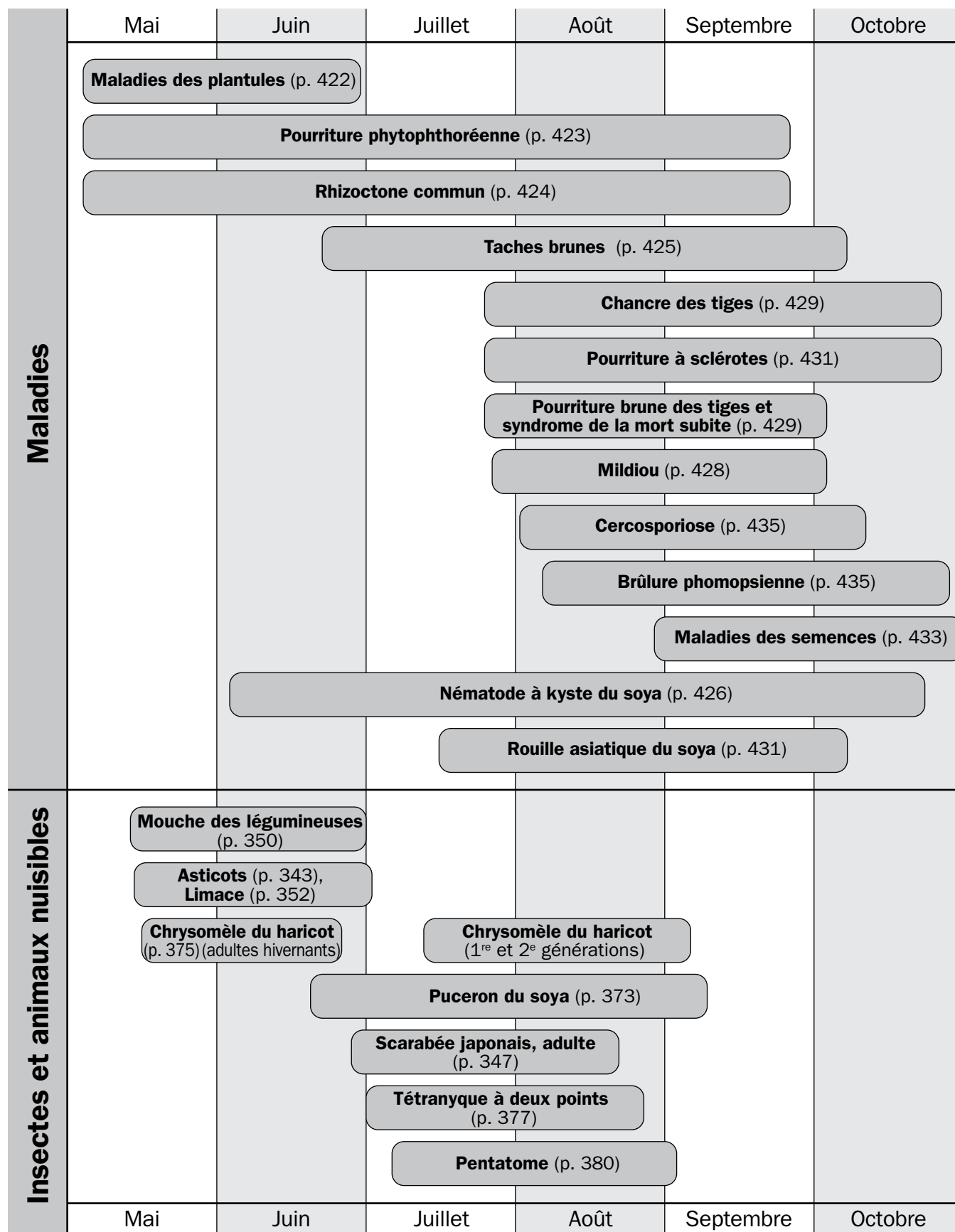


Figure 2-5 – Calendrier de dépistage des ennemis du soya

Tableau 2-21 – Pourcentage de perte de rendement des cultivars de soya indéterminés selon la surface foliaire endommagée et le stade de croissance

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible

Stade de croissance	Surface de feuilles détruites (%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
VC-Vn	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
R1	–	1	2	3	3	4	5	6	8	12
R2	–	2	3	5	6	7	9	12	16	23
R2,5	1	2	3	5	7	9	11	15	20	28
R3	2	3	4	6	8	11	14	18	24	33
R3,5	3	4	5	7	10	13	18	24	31	45
R4	3	5	7	9	12	16	22	30	39	56
R4,5	4	6	9	11	15	20	27	37	49	65
R5	4	7	10	13	17	23	31	43	58	75
R5,5	4	7	10	13	17	23	31	43	58	75
R6	1	6	9	11	14	18	23	31	41	53
R6,5	0	1	1	3	4	5	7	13	18	23

Imprimé avec l'autorisation de National Crop Insurance Services (NCIS). Ne pas reproduire sans autorisation.

En ce qui a trait aux pertes de rendement, c'est lors de la floraison et du remplissage des gousses que le soya est le plus vulnérable. C'est particulièrement le cas si les tiges sont cassées, ce qui entraîne une diminution du nombre de gousses et de la taille des graines. Il peut aussi y avoir des retards dans la maturité.

Dommages causés par le froid et le gel en fin de saison

Le soya est considéré comme une culture de saison chaude, et il est donc relativement sensible au froid, notamment pendant la floraison. En effet, on croit qu'une période de froid prolongé (moins de 10 °C) pendant la floraison nuit à la formation du pollen, et il en résulte des gousses apyrènes (dites « parthénocarpiques »). Cependant certains cultivars n'ont pas la même tolérance au temps froid que d'autres.

Les cultivars qui ont une pubescence brun jaunâtre sont souvent plus tolérants au froid que ceux qui ont une pubescence grise.

Le soya peut facilement être endommagé par le gel jusqu'à ce qu'il atteigne la maturité physiologique au stade R7 (lorsque l'une des gousses de la tige principale devient brune ou grise). Passé ce stade, le gel n'abîme généralement pas les plants de soya si les gousses ne sont pas touchées. Mais avant ce stade, il peut nuire à la qualité des graines. Pendant la floraison et le remplissage des gousses, une forte gelée peut réduire les rendements de 80 %. Si elle survient lors du remplissage des gousses, les graines sont fortement endommagées et prennent une teinte verdâtre (aspect « confit »). Même les graines modérément gelées de couleur verdâtre et dont le tégument est légèrement ridé sont considérées comme endommagées. Elles peuvent être rejetées si elles sont trop nombreuses parce qu'elles finissent par sécher avec un tégument ridé. Bien que les plants endommagés par le gel puissent arriver à maturité plus tôt, ils ont la même teneur en eau que les plants non touchés. La germination se trouve elle aussi gravement réduite. La Commission canadienne des grains considère comme endommagés par la gelée les plants de soya dont le cotylédon, une fois coupé, « est vert ou d'un brun verdâtre avec un aspect cireux et vitreux ».

Au fur et à mesure que la récolte arrive à maturité, les gelées de fin de saison produisent des pertes de rendement de moins en moins importantes. Si elles surviennent au stade R5, les gelées réduisent le rendement de 50 à 70 %. Au stade R6, les pertes sont de 20 à 30 %. Lorsque la récolte a atteint le stade R7, les pertes prévues sont seulement de 5 à 10 %. Si les plants ont atteint leur pleine maturité, aucune perte de rendement n'est prévue.

Dommages dus à la foudre

Les dommages dus à la foudre sont limités à un cercle ou un ovale d'un diamètre de 5 à 10 m (13 à 30 pi). Les plants sont généralement tués, mais ils survivent parfois en bordure de la zone touchée. Celle-ci est nettement délimitée (l'eau stagnante ou l'eau courante s'y est accumulée durant l'orage), ce qui rend le diagnostic relativement facile (voir photo 2-11). La partie touchée ne s'élargit pas avec le temps. Les tiges sont souvent noircies, et les feuilles mortes restent attachées aux plants.



Photo 2-11 – Dommages causés par la foudre, qui prennent la forme de petites plaques circulaires avec une bordure bien définie

Graines de soya vertes à maturité

Après une saison de croissance extrêmement sèche, les graines mûres peuvent être vertes à la récolte bien que leur teneur en eau soit inférieure à 13 % (voir photo 2-12). Ce phénomène est généralement plus accentué dans les régions où il fait extrêmement sec en juillet et en août, sur des sols qui retiennent peu l'eau. Comme les graines sont sèches, l'« activité » qui se déroule à l'intérieur est réduite au minimum. L'enzyme qui dégrade normalement la chlorophylle ne peut agir à une teneur en eau aussi faible, ce qui explique que la couleur verte ne disparaisse pas. À terme, la teinte verte peut s'estomper dans une certaine mesure à l'extérieur de la graine, mais elle persistera à l'intérieur de celle-ci, que ce soit au champ ou à l'entreposage. On ne peut pas faire grand-chose pour enrayer ce phénomène, qui est attribuable aux conditions météorologiques. La meilleure méthode de prévention, c'est d'opter pour une bonne rotation des cultures et de choisir les cultivars les mieux adaptés à la région concernée.



Photo 2-12 – Chez les plants stressés par la sécheresse, on trouve des graines restées vertes à maturité parce que la chlorophylle ne s'est pas décomposée au stade du remplissage des gousses (à droite, des graines vertes à maturité)

3. Cultures fourragères

Les fourrages sont des plantes entières que l'on cultive pour nourrir le bétail. Ils constituent un élément important de la rotation des cultures dans de nombreuses exploitations agricoles. Ils procurent de nombreux avantages à cet égard, de même que sur le plan environnemental, puisqu'ils permettent de réduire l'érosion du sol et d'améliorer sa santé et sa teneur en matière organique. D'ailleurs, il a été démontré que lorsqu'une culture de luzerne précède une culture de maïs dans une rotation, elle lui apporte non seulement 100 lb/ac d'azote, mais aussi un gain de rendement de 10 à 15 %.

La production des cultures fourragères tient une grande place en Ontario, où elles sont utilisées pour nourrir le bétail. Le foin sec et le foin destiné à l'ensilage préfané sont cultivés sur 831 000 ha (2 000 000 ac), auxquels s'ajoutent 239 000 ha (600 000 ac) de pâturages ensemencés et 415 000 ha (1 037 000 ac) de pâturages naturels. Environ 104 000 ha (260 000 ac) sont consacrés à la production de maïs à ensilage. La production des cultures fourragères est évaluée à environ 10 % de la production agricole ontarienne.

La gestion des fourrages est plus complexe que celle de nombreuses autres cultures, et ce, pour plusieurs raisons :

- Ils sont généralement cultivés en association avec différentes espèces;
- On peut les utiliser sous forme de fourrages entreposés ou de pâturage;
- Il y a des espèces annuelles et des espèces vivaces;
- Ils sont soumis à de nombreuses méthodes de récolte et d'entreposage différentes;
- Pour survivre à l'hiver, les espèces vivaces doivent être gérées de manière particulière.

Pour en savoir plus sur la production de maïs à ensilage, voir la section *Choix des hybrides destinés à l'ensilage* du chapitre 1, *Maïs*. Dans la section *Ensilage préfané et ensilage de maïs* du présent chapitre, on trouvera également de l'information sur l'ensilage du maïs et son entreposage.

Pour plus d'information sur les pâturages, voir la publication 19F du MAAARO, *La culture des pâturages*, qui se trouve sur le site du ministère à l'adresse ontario.ca/cultures.

Espèces

Légumineuses vivaces

La plupart des légumineuses cultivées pour le fourrage ont des racines pivotantes ainsi que de larges feuilles composées (formées de plusieurs folioles) disposées en alternance sur la tige. Les nouvelles pousses naissent sur le collet de la plante, et le point végétatif de chacune des pousses se trouve à son extrémité. Dans l'ensemble, les légumineuses ont une teneur en protéines plus élevée que les graminées. Le tableau 3-1, *Caractéristiques des espèces fourragères vivaces cultivées en Ontario*, résume les points forts de ces espèces et les mises en garde à leur sujet.

Lorsqu'elles sont bien inoculées, les légumineuses utilisent l'azote atmosphérique, de sorte qu'elles n'ont pas besoin d'engrais azoté. De plus, les légumineuses fournissent une quantité considérable de cet élément aux graminées avec lesquelles elles sont en association.

Tableau 3-1 – Caractéristiques des espèces fourragères vivaces cultivées en Ontario

Espèce	Utilisation	Persistance (années)	Points forts	Mises en garde
Légumineuses				
Luzerne	Fourrage entreposé	3 à 4 (Sud de l'Ontario) 1 à 4 (Nord de l'Ontario)	• Excellente qualité • Excellent rendement	• Faible persistance en pâturage • Faible tolérance aux sols acides ou mal drainés • Utilise la période de repos pour reconstituer ses réserves racinaires • Peut être météorisante
Lotier corniculé	Pâturage Fourrage entreposé	5 et plus (peut se resemer)	• Grande qualité • Non météorisant • Bonne tolérance aux sols acides et à drainage variable	• Lent à s'établir • Croissance printanière et repousse lentes • Inappétent pour les chevaux
Trèfle rouge	Pâturage Fourrage entreposé Culture couvre-sol	1 à 3	• Excellent rendement la première année • S'établit facilement • Grande qualité • Bonne tolérance aux sols acides et à drainage variable	• Concurrence, en particulier avec les autres légumineuses • Difficile à sécher pour la production de foin • Peuplement s'éclaircissant rapidement • Peut être météorisant • Peut causer une infertilité temporaire des brebis au pacage
Trèfle blanc	Pâturage	5 et plus	• Qualité et sapidité excellentes • Bonne tolérance au broutage à ras répété	• Peut être météorisant • Faible tolérance à la sécheresse
Graminées				
Fléole	Fourrage entreposé	5 et plus	• S'établit facilement • Bonne tolérance aux variations de drainage du sol • Semences bon marché • Meilleure qualité nutritionnelle en raison de sa maturité tardive	• Faible capacité de repousse estivale
Brome inerme	Pâturage Fourrage entreposé	5 et plus	• Propagation des rhizomes qui forment un gazon sur le sol dénudé • Garde mieux sa qualité à maturité	• Grosses graines qui peuvent compliquer les semis • Faible persistance si on fait plusieurs coupes (il vaut mieux se limiter à deux coupes)
Brome des prés	Pâturage Fourrage entreposé	5 et plus	• Croissance précoce au début du printemps • Repousse rapide après broutage ou coupe • Bonne résistance à l'hiver • Bonne sapidité	• Grosses graines qui peuvent compliquer les semis • Sensible aux inondations • Se propage moins par ses rhizomes que le brome inerme
Dactyle pelotonné	Pâturage Fourrage entreposé	5	• Pâturage très précoce • Excellente repousse • Bonne tolérance à la sécheresse • Bonne tolérance au broutage à ras • Fortement stimulé par l'azote	• Perd rapidement sa sapidité et sa qualité à maturité • Grands écarts de maturité entre les cultivars • Forte concurrence avec les autres espèces • Tolère mal les variations de drainage du sol et la présence de glace
Alpiste roseau	Pâturage Fourrage entreposé	5 et plus	• Excellent rendement sur des sols secs ou mal drainés • Bonne repousse • Fortement stimulé par l'azote	• Lent à s'établir • Première coupe, perd rapidement sa sapidité et sa qualité à maturité • Faible tolérance au broutage à ras et aux coupes fréquentes
Fétuque des prés	Pâturage Fourrage entreposé	5 et plus	• Convient mieux au pâturage géré qu'à la production de fourrage entreposé • Pousse au début du printemps et à la fin de l'automne • Tolère bien les sols à drainage variable • Meilleure sapidité que la fétuque élevée • Prévention de l'érosion des voies d'eau	• Semence devant être enrobée • Forte concurrence avec les autres espèces • Faible tolérance à la sécheresse • Qualité médiocre à maturité • Moins persistante et rendement moindre que la fétuque élevée

Tableau 3-1 – Caractéristiques des espèces fourragères vivaces cultivées en Ontario

Espèce	Utilisation	Persistance (années)	Points forts	Mises en garde
Fétuque élevée	Pâturage Fourrage entreposé Voies d'eau engazonnées	5 et plus	• Rendement élevé • Bonne croissance estivale • Bonne qualité fourragère à l'automne pour le broutage des herbages mis en réserve • Bonne tolérance aux sols acides	• Feuillage épais et sapidité faible du foin sec • Nécessité d'utiliser des semences exemptes d'endophytes
Ray-grass vivace	Pâturage Fourrage entreposé	2 à 3 (Sud de l'Ontario)	• Qualité nutritionnelle et sapidité excellentes • S'établit très rapidement • Bonne tolérance au broutage à ras	• Tolère mal la sécheresse estivale et la chaleur • Tolère mal les variations de drainage du sol • Persistance variable
Pâturin des prés	Pâturage Voies d'eau engazonnées	5 et plus	• Bonne qualité et sapidité • Bonne tolérance au broutage à ras	• Faible rendement saisonnier • Faible production estivale • Établissement très lent

Luzerne

En Ontario, la luzerne est la culture fourragère vivace qui donne le meilleur rendement, et la légumineuse fourragère la plus cultivée. Elle a un meilleur rendement et produit plus de protéines par unité de surface que les autres légumineuses fourragères. On peut la cultiver seule, mais on la cultive souvent en association avec diverses graminées. Pour que sa persistance et son rendement soient bons, il lui faut un sol bien drainé, un pH supérieur à 6,1, une fertilisation adéquate et une saine gestion de la récolte. Bien géré, un champ de luzerne peut normalement produire pendant trois ans ou plus. Les teneurs en énergie et en protéines des fourrages à base de luzerne varient en fonction du stade de croissance atteint au moment de la récolte. La survie de la luzerne en hiver dépend de plusieurs facteurs, soit la récolte automnale, le calendrier de fauche, la fertilité du sol, son drainage et l'âge des peuplements.

Lotier corniculé

Le lotier corniculé est une légumineuse non météorisante idéale pour les pâturages permanents. Comme il se resème spontanément, il constitue un excellent choix pour les terrains rocailleux ou en pente qui ne peuvent être travaillés. Bien que les plants individuels ne vivent que quelques années, les peuplements peuvent demeurer productifs pendant de nombreuses années si on les laisse monter en graine. De plus, cette espèce s'adapte bien aux sols mal drainés. Le lotier corniculé a un potentiel de rendement inférieur à celui de la luzerne et prend plus de temps à sécher; c'est pourquoi on le recommande pour la production de foin uniquement dans les zones où la culture de la luzerne est difficile. Comme les semis mettent beaucoup de temps à s'établir, il faut attendre au moins un an avant d'avoir un peuplement satisfaisant.

Trèfle rouge

Le trèfle rouge est une légumineuse vivace de courte durée. Ses rendements sont bons l'année qui suit son établissement, mais souvent médiocres l'année suivante, en particulier dans le Sud de l'Ontario. Il s'établit bien et peut être semé dans les champs trop humides ou trop acides pour la luzerne. De plus, il a une excellente qualité fourragère. On l'entrepasse le plus souvent sous forme d'ensilage préfané ou d'ensilage en balles parce qu'il est difficile à sécher et produit souvent un foin poussiéreux ou moisi.

En Ontario, on en cultive surtout deux types : le trèfle rouge à deux coupes et le trèfle rouge à une coupe. Le premier fleurit pendant l'année de l'établissement et donne une repousse vigoureuse après la coupe. Le trèfle rouge à une coupe pousse plus lentement et arrive à maturité environ deux semaines après le trèfle rouge à deux coupes; il ne fleurit pas pendant l'année de l'établissement ni après la première coupe les années suivantes.

L'utilisation du trèfle rouge comme culture couvre-sol est maintenant très répandue. Pour en savoir plus à ce sujet, voir le chapitre 8, *Gestion assurant la santé du sol*.

Trèfle blanc

Le trèfle blanc est surtout cultivé dans les pâturages. C'est une espèce vivace de courte durée qui se resème. Il en existe trois grands types : le trèfle ladino, le trèfle rampant et le trèfle blanc sauvage. Ils se ressemblent tous, mais diffèrent par leur taille : le trèfle blanc sauvage est le plus petit et le trèfle ladino, le plus grand. Le trèfle blanc est doté de stolons, c'est-à-dire des tiges qui rampent sur le sol et dont les ramifications poussent bien droites ou un peu penchées. Les racines,

peu profondes et fasciculées, se développent à partir des nodosités des stolons rampants. Le trèfle blanc pousse mal par temps sec, mais il tolère relativement bien les broutages fréquents et a une bonne sapidité. On peut le semer sur le sol gelé ou en semis direct dans des pâturages de graminées pour améliorer la qualité du fourrage et son rendement.

Mélilot

Le mélilot est une légumineuse bisannuelle à croissance lente occasionnellement cultivée comme plante fourragère et parfois utilisée pour alléger le sol. Il ne fleurit pas pendant l'année de son établissement. Au printemps de la deuxième année, il croît rapidement et devient une plante haute à tige grossière. Comme il contient de la coumarine, le bétail l'apprécie moins. Il en existe deux espèces : le mélilot blanc (à fleurs blanches) et le mélilot officinal (à fleurs jaunes). Le mélilot blanc a une tige plus longue et plus grossière que le mélilot officinal, ainsi que des racines plus profondes; il se prête mieux à la production d'engrais vert que de cultures fourragères. Le mélilot officinal est meilleur au goût pour le bétail et attire davantage les abeilles; il convient donc mieux à la production de fourrage. **Un foin de mélilot qui est moisi peut contenir du dicoumarol, un anticoagulant qui peut causer la mort du bétail par hémorragie.**

Trèfle d'Alsike

Le trèfle d'Alsike est une plante vivace, parfois traitée comme plante bisannuelle. Il peut pousser sur des sols acides et mal drainés. Il ne donne qu'une coupe de foin par année et il constitue rarement un premier choix comme légumineuse fourragère. **Il peut causer la photosensibilité et des dommages au foie chez les chevaux; il ne faut donc pas l'inclure dans le foin ni dans les mélanges de pâturage qui leur sont destinés.**

Graminées vivaces

Les graminées possèdent de nombreuses feuilles longues et minces portées par une tige. Elles ont des racines très fasciculées qui retiennent le sol et réduisent ainsi l'érosion. Les graminées « gazonnantes » ont des rhizomes (ou tiges souterraines) qui produisent de nouvelles pousses à partir de chaque nœud. Elles peuvent se propager et rendre un peuplement plus dense. Les graminées « en touffe » ne peuvent pas se propager par des rhizomes, mais elles peuvent produire des talles à partir des bourgeons du collet, à la base du plant.

Les diverses espèces de graminées exercent une concurrence variable face aux légumineuses, ce qui se répercute sur le ratio légumineuse-graminée du peuplement établi. Le dactyle pelotonné et le ray-grass, par exemple, font souvent davantage concurrence à la luzerne que la fléole ou le brome. Les graminées sont moins riches en protéines que les légumineuses lorsqu'on les récolte au même stade de croissance. Toutefois, elles ont généralement une teneur en fibres plus élevée et une meilleure digestibilité des fibres.

Fléole

La fléole est la graminée fourragère la plus cultivée en Ontario, généralement en association avec la luzerne. Elle arrive à maturité plus tard que les autres graminées, ce qui facilite la gestion de la récolte. Les semences de fléole se mélangent bien aux semences de luzerne et peuvent passer par les petits trous des semoirs. C'est une graminée en touffe qui se prête peu au tallage; elle ne livre donc pas une concurrence intense aux autres espèces. Elle s'établit facilement au début du printemps ou à la fin de l'été et s'adapte bien aux sols lourds et à drainage variable. La fléole a une bonne sapidité et un rendement élevé à la première coupe. Bien que certains cultivars aient été créés pour favoriser une meilleure repousse, leur production est limitée après la première coupe et à la mi-saison, surtout si le temps est chaud et sec, car ils tolèrent mal la sécheresse. La fléole est la graminée à privilégier dans la production de foin pour chevaux.

Brome inerme

Le brome inerme se propage par des rhizomes et ses peuplements peuvent devenir denses avec le temps. Il arrive à maturité un peu plus tôt que la fléole. Il a une faible persistance face aux calendriers de fauche intensifs, mais il peut être coupé deux fois. Le brome inerme a une bonne sapidité et, à l'approche de la maturité, il conserve mieux sa valeur nutritionnelle que la plupart des autres graminées. Ses graines, grosses et légères, passent mal dans les petits trous des semoirs. Le brome inerme s'établit difficilement s'il est semé en surface ou à plus de 5 cm (2 po) de profondeur.

Brome des prés

Le brome des prés ressemble au brome inerme, mais il est plus utile pour les pâturages parce qu'il pousse rapidement au début du printemps et se rétablit sans tarder après le broutage.

Dactyle pelotonné

La plupart des cultivars de dactyle pelotonné arrivent à maturité avant toutes les autres graminées fourragères. Cette espèce perd rapidement sa sapidité et sa digestibilité après l'épiaison. On a créé de nouveaux cultivars dont l'arrivée à maturité, plus tardive, correspond mieux à celle des autres espèces du mélange. Le dactyle pelotonné pousse beaucoup plus vigoureusement à la mi-été, par temps chaud et sec, que la fléole ou le brome, ce qui se traduit par un rendement plus élevé et une plus forte proportion de graminées à la deuxième et à la troisième coupes des mélanges luzerne-graminée. Le dactyle pelotonné ne résiste pas aussi bien à l'hiver que la plupart des autres graminées fourragères et ne persiste pas bien dans les sols humides. Ses plantules sont agressives et s'établissent facilement. Compte tenu de sa précocité, c'est une espèce à privilégier dans les pâturages intensifs.

Alpiste roseau

L'alpiste roseau est connu pour sa capacité à tolérer des sols mal drainés, mais il peut aussi avoir un rendement élevé dans les sols bien drainés. Il a également un meilleur rendement que les autres espèces de graminées en cas de sécheresse. L'alpiste roseau se propage par des rhizomes. Il lui pousse une tige et des feuilles grossières après l'épiaison, et il perd vite sa sapidité et sa digestibilité. Sa repousse est purement végétative et ne produit pas de tiges porte-graines, si bien que les deuxième et troisième coupes peuvent être de très bonne qualité. Comme il s'établit lentement et que son rendement est généralement peu élevé les deux premières années, l'alpiste roseau convient mieux aux rotations plus longues.

Auparavant, les animaux nourris aux anciens cultivars d'alpiste roseau donnaient un rendement médiocre en raison des alcaloïdes qu'il contenait. En effet, ces derniers réduisaient la sapidité, la prise alimentaire et le rendement des animaux. Les cultivars actuellement recommandés sont exempts de tryptamine et de carboline, et certains contiennent également moins de graminées (toutes des substances de la famille des alcaloïdes).

Fétuque élevée

La fétuque élevée est une graminée en touffe au feuillage grossier et dense qui est utilisée dans les pâturages, dans les mélanges à base d'ensilage préfané de luzerne et comme outil de prévention de l'érosion. Toutefois, on ne l'utilise pas aussi fréquemment en association avec le foin sec. Elle s'adapte à la plupart

des types de sol, tolère les drainages imparfaits et supporte bien le passage des animaux. Le fait qu'elle conserve sa qualité fourragère tard à l'automne en fait une graminée utile dans les « pâturages de réserve » d'automne. Les problèmes de santé et la médiocrité du rendement des animaux nourris dans certains pâturages de fétuque élevée seraient dus à un champignon systémique transmis par les graines : l'endophyte. Les juments poulinières en gestation sont particulièrement touchées par ce phénomène. Une fois les graines infectées, il devient impossible d'enrayer la propagation de cet organisme dans un peuplement installé. Pour éviter que des endophytes se retrouvent dans la nourriture des animaux, il faut semer des cultivars qui en sont exempts.

Fétuque rouge traçante

La fétuque rouge traçante est une graminée gazonnante dense qui s'établit et se multiplie vigoureusement sur la plupart des sols, y compris les sous-sols bien fertilisés. Son système racinaire solide et ses pousses fines et denses en font une excellente graminée à semer pour protéger les berges et les voies d'eau engazonnées. Elle est parfois utilisée dans les pâturages à long terme, mais comme elle ne pousse pas très haut, elle est difficile à couper et convient mal à la production de foin.

Fétuque des prés

La fétuque des prés est une graminée rustique employée pour la production de foin et dans les mélanges de pâturage. Elle pousse mieux dans les sols fertiles et profonds, mais tolère également bien les sols à drainage variable et peu fertilisés. Elle donne un bon rendement en été et à l'automne et conserve sa qualité fourragère plus tard en saison que la plupart des autres graminées. La fétuque des prés possède plusieurs caractéristiques qui la distinguent de la fétuque élevée : elle a des feuilles plus effilées et un système racinaire moins profond, et elle est plus petite et moins persistante.

Ray-grass vivace

Il s'agit d'une plante vivace de courte durée; il existe des cultivars destinés à l'engazonnement, aux pâturages et à la production de foin. Les cultivars destinés aux pâturages produisent généralement des feuilles plus fines, ainsi que des talles plus petites et plus nombreuses que les cultivars utilisés pour la production de foin, et ils viennent à maturité plus tard en saison. Le ray-grass vivace destiné aux gazons contient des endophytes, si bien qu'on ne doit pas l'employer comme fourrage. Le ray-grass vivace est

précoce et vigoureux au printemps, et il continue de croître pendant une bonne partie de l'automne; sa croissance s'arrête toutefois pendant les mois chauds et secs de l'été. Il produit un fourrage d'excellente qualité. Dans les mélanges avec la luzerne qu'on laisse hiverner, la croissance excessive des parties aériennes peut entraîner la destruction du ray-grass vivace durant l'hiver. Cette graminée résiste mal dans les régions où le sol est couvert de glace pendant de longues périodes et où le froid est extrême et la neige peu abondante.

Festulolium

Festulolium est un croisement entre *Festuca* (fétuque des prés ou fétuque élevée) et *Lolium* (ray-grass d'Italie ou ray-grass vivace). Par sélection, cette espèce allie la grande qualité nutritionnelle du ray-grass aux qualités de la fétuque, à savoir sa résistance à l'hiver, sa persistance et sa tolérance au stress.

Pâturin

En Ontario, deux variétés fourragères communes sont cultivées sur environ 400 000 ha (un million d'acres) de pâturage permanent, soit le pâturin comprimé et le pâturin des prés. Dans le Sud, le pâturin a un système racinaire peu profond et donne une pousse riche avec une bonne sapidité au printemps; il est toutefois improductif pendant les mois chauds et secs de l'été. On peut accroître son rendement de façon importante par une bonne gestion et une fertilisation adéquate, en particulier dans les zones fraîches du Nord de l'Ontario. Dans les pâturages, ces espèces tolèrent le broutage à ras et le piétinement répétés et comblent les espaces laissés vides par les autres espèces.

Choix des espèces

Le choix des espèces fourragères dépend souvent de l'état du sol et des pratiques de gestion. Pour un mélange, il faut choisir les graminées après les légumineuses parce que celles-ci sont souvent plus sensibles au drainage et au pH. Une légumineuse qui persiste à long terme peut être préférable sur les sols rocaillieux ou en pente. Pour connaître la tolérance des légumineuses à diverses qualités du sol, voir la figure 3-1, *Drainage du sol requis par les espèces fourragères*.

Espèce fourragère	Drainage du sol			
	Excellent	Bon	Passable à mauvais	Très mauvais
Luzerne				
Lotier corniculé				
Trèfle rouge				
Trèfle blanc				
Trèfle d'Alsike				
Mélilot				
Brome				
Fléole				
Alpiste roseau				
Dactyle pelotonné				
Ray-grass vivace				
Ray-grass annuel				
Fétuque élevée				
Fétuque des prés				
Fétuque rouge traçante				
Vulpin des prés				
Pâturin des prés				

Figure 3-1 – Drainage du sol requis par les espèces fourragères

Les légumineuses telles que la luzerne sont parfois cultivées sous forme de peuplement pur, notamment par les producteurs laitiers, qui donnent ainsi à leurs animaux un ensilage préfané riche en éléments nutritifs. Néanmoins, on cultive généralement les légumineuses en association avec au moins une graminée. Les principaux avantages d'un peuplement de légumineuses pur sont les suivants :

- Teneurs en protéines et en énergie alimentaire plus élevées;
- Déclin moins rapide de la qualité nutritionnelle à l'approche de la maturité;
- Peu de variation de la qualité d'une coupe à l'autre.

Sans une bonne gestion, les peuplements de légumineuses purs peuvent présenter les inconvénients suivants :

- Présence accrue de mauvaises herbes;
- Perte complète en cas de dommages graves causés par l'hiver;
- Séchage plus lent dans le champ;
- Risque accru de verse;
- Moins grande sapidité dans certaines conditions.

On cultive moins souvent les graminées en peuplements purs parce que leur rendement est faible en l'absence d'importants apports d'azote. Pour en savoir plus, voir la section *Gestion de la fertilisation* du présent chapitre. Même avec une fertilisation adéquate, certaines espèces de graminées donnent un rendement très faible par temps chaud et sec durant le milieu de l'été. Toutefois, si l'objectif est de produire du foin pour chevaux ou si l'état du sol (p. ex. mauvais drainage) empêche la culture de mélanges contenant des légumineuses, les peuplements de graminées purs peuvent être très productifs à condition que l'on choisisse les espèces et les programmes de fertilisation appropriés.

Choix des mélanges d'espèces

Maturité des graminées pour la récolte

Dans le choix d'une graminée, la maturité à la récolte est un facteur très important. Pour les espèces qui ont une épiaison précoce comme le dactyle pelotonné et l'alpiste roseau, il faut récolter tôt, sinon la sapidité et la qualité du produit en souffriront. Si la récolte doit se faire plus tard, on conseille de choisir plutôt une graminée à maturité plus tardive telle que la fléole. Il ne faut pas oublier que le moment de la maturité diffère souvent beaucoup parmi les cultivars de la même espèce.

Ratio légumineuse-graminée

Il faut prendre en compte le ratio légumineuse-graminée souhaité dans le mélange. Si l'on peut accepter une teneur en protéines plus faible, comme dans les fourrages destinés à des bovins de boucherie, à des génisses laitières ou à des chevaux, on peut opter pour une proportion de graminées plus élevée. Les mélanges contenant une plus forte proportion de graminées résistent généralement mieux aux invasions de mauvaises herbes, surtout de pissenlits. Si les conditions sont peu favorables à la survie des légumineuses, il faut utiliser une plus grande proportion de graminées pour garantir le peuplement. Les espèces les plus agressives, comme le dactyle pelotonné, donnent une plus grande proportion de graminées, même si leur part est à peu près égale dans le mélange de semences.

Nombre de coupes

La fléole n'envahit pas la luzerne; dans un régime à trois coupes, elle fournit généralement très peu de fourrage aux deuxième et troisième coupes. Mélangé à la luzerne, le dactyle pelotonné produit plus à la mi-été que la fléole. Pour obtenir une forte proportion de graminées dans le mélange, surtout aux deuxième

et troisième coupes, on peut opter pour le dactyle pelotonné, une graminée agressive qui envahit la luzerne à mesure que le peuplement vieillit. Le brome et l'alpiste roseau occupent une place intermédiaire entre la fléole et le dactyle pelotonné pour ce qui est de l'agressivité, et ils ne se prêtent pas bien aux régimes à trois et à quatre coupes.

Récolte précoce ou tardive

Le mode de gestion a un effet sur la concurrence entre les graminées et les légumineuses. Une récolte tardive, effectuée au moment de la floraison des graminées, favorise celles-ci par rapport aux légumineuses, notamment dans le cas de l'alpiste roseau. Coupé lors du gonflement, l'alpiste roseau n'envahit pas les légumineuses. Cependant, si on le laisse avoir une épiaison complète, il domine rapidement le peuplement. Il est important de récolter les graminées dès le stade de gonflement, surtout dans les mélanges de dactyle pelotonné et de brome ou d'alpiste roseau. Si cela n'est pas possible ou pratique, la fléole constitue alors un meilleur choix comme graminée.

Choix des cultivars

Toutes les semences fourragères vendues sous un nom de cultivar doivent être certifiées et porter l'étiquette bleue attestant le nom du cultivar. Les semences certifiées doivent répondre à certaines exigences concernant leur pouvoir germinatif et leur teneur en graines de mauvaises herbes.

Sur le marché, certaines semences fourragères sont vendues sans nom et d'autres sous une marque de commerce. Il peut s'agir de mélanges de lots différents. Elles doivent aussi répondre à des exigences relatives au pouvoir germinatif et à la teneur en graines de mauvaises herbes, ces exigences étant cependant moins rigoureuses que pour les semences certifiées. Les semences sans nom ne font l'objet d'aucune garantie sur la résistance aux maladies et la persistance. Le rendement des peuplements établis à partir de semences vendues sans nom ou sous une simple marque de commerce est donc imprévisible et varie souvent d'une année à l'autre. Par conséquent, on recommande fortement l'utilisation de semences certifiées, la seule option qui garantisse le rendement, la persistance, la résistance aux maladies et le délai de maturité voulus. Pour obtenir des précisions techniques sur les différents cultivars, il faut communiquer avec les fournisseurs de semences fourragères.

Le tableau 3-2, *Mélanges suggérés pour le fourrage entreposé et le pâturage*, résume les caractéristiques des espèces fourragères vivaces et des mélanges cultivés en Ontario.

Tableau 3-2 – Mélanges suggérés pour le fourrage entreposé et le pâturage

LÉGENDE : S = suggéré — = déconseillé				
Mélange : taux de semis¹	Usage			Directives particulières
	Fourrage entreposé	Pâturage	Pâturage intensif	
Luzerne (14 kg/ha)	S	—	—	Dans les sols bien drainés seulement. Plus facile à sécher comme ensilage que comme foin. Récolter au stade qui convient pour obtenir une meilleure qualité nutritionnelle.
Luzerne (13 kg/ha) + fléole (1 kg/ha)	S	—	—	Augmenter la quantité de semences de fléole jusqu'à 4 kg/ha pour obtenir une plus grande proportion de graminées et un meilleur fanage. La fléole assure la survie du peuplement là où la luzerne est vulnérable à la destruction par l'hiver. Récolter lorsque la fléole est au stade de gonflement pour obtenir une meilleure qualité nutritionnelle.
Luzerne (11 kg/ha) + brome (9 kg/ha)	S	—	—	Conserve mieux sa qualité à maturité que les mélanges contenant du dactyle pelotonné ou de la fléole. En raison de ses rhizomes, le peuplement de brome peut devenir plus dense avec le temps. Il a toutefois une faible persistance face aux calendriers de fauche intensifs.
Luzerne (11 kg/ha) + dactyle pelotonné (2 kg/ha)	S	—	S	Production de mi-été supérieure à celle du mélange luzerne-fléole. Choisir des cultivars tardifs de dactyle pelotonné et des cultivars précoces de luzerne. Couper ou faire paître tôt pour maintenir la qualité et la sapidité. Dans toutes les coupes, donne un pourcentage de graminées plus élevé que les mélanges à base de fléole ou de brome.
Luzerne (9 kg/ha) + fléole (4 kg/ha) + brome (9 kg/ha) + trèfle blanc (2 kg/ha)	S	—	S	Convient bien aux combinaisons foin-pâturage.
Lotier corniculé (9 kg/ha) + fléole (2 kg/ha)	S	S	—	Utiliser de la fléole à maturité tardive.
Lotier corniculé (9 kg/ha) + brome (4 kg/ha)	S	S	—	Pour des peuplements de longue durée et une production précoce. Faire paître tôt pour réduire la concurrence du brome. Bonne croissance du brome à l'automne.
Lotier corniculé (8 kg/ha) + dactyle pelotonné (4 kg/ha)	—	—	S	Bonne production précoce et en mi-saison. Faire paître le dactyle pelotonné pour réduire sa concurrence avec le lotier corniculé. De préférence, opter pour les cultivars de dactyle pelotonné à maturité tardive.
Lotier corniculé (8 kg/ha) + fétuque élevée ² (10 kg/ha)	S	S	S	Bonne production tout au long de la saison. Bonne croissance et bonne qualité de la fétuque élevée à l'automne.
Lotier corniculé (8 kg/ha) + fétuque rouge traçante (6 kg/ha)	—	S	—	Bonne production estivale et automnale. Excellente qualité à l'automne.
Trèfle rouge (11 kg/ha)	S	—	—	Production à court terme d'ensilage préfané ou d'engrais vert.
Trèfle rouge (7 kg/ha) + fléole (6 kg/ha)	S	—	—	Production d'ensilage préfané à court terme. Quand le trèfle disparaît, labourer ou fertiliser à l'azote pour maintenir la production.

Tableau 3-2 – Mélanges suggérés pour le fourrage entreposé et le pâturage

LÉGENDE : S = suggéré — = déconseillé				
Mélange : taux de semis¹	Usage			Directives particulières
	Fourrage entreposé	Pâturage	Pâturage intensif	
Trèfle blanc (2 kg/ha) + dactyle pelotonné (9 kg/ha)	—	—	S	À utiliser pour les pâturages convenant au trèfle blanc. Pour une production optimale, il faut une bonne fertilisation, une humidité adéquate et une bonne gestion du pâturage. Dans les régions sèches, ajouter de la luzerne.
100 kg/ha = 90 lb/ac				
¹ Dans d'excellentes conditions. Pour un semis précoce dans un lit de semence ferme et à texture fine, ces taux peuvent être réduits, sauf quand on emploie des semences enrobées.				
² Utiliser des semences exemptes d'endophytes.				

Fourrages annuels

Il existe de nombreux autres types de cultures fourragères annuelles qui peuvent être intégrées dans l'assolement régulier de l'exploitation ou utilisées en cas d'urgence, quand les fourrages vivaces ont été détruits par l'hiver ou deviennent rares sur le marché. Les fourrages annuels constituent une source précieuse de foin, de pâturage ou d'ensilage. En Ontario, la première culture fourragère annuelle est le maïs, que l'on récolte pour l'ensilage. Pour en savoir plus, voir la section *Ensilage préfané et ensilage de maïs* du présent chapitre.

Céréales d'automne (seigle, triticales)

Après la récolte de nombreux types de cultures, notamment après le maïs à ensilage, on peut semer du seigle ou du triticales d'automne pour obtenir plus de fourrages. Si ces céréales sont semées à la fin de l'été ou à l'automne, elles peuvent être récoltées sous forme d'ensilage préfané lors de la seconde quinzaine de mai, ou être brouées à l'automne et au début du printemps. Une fois complètement détruites avec un traitement au glyphosate ou par le travail du sol, les céréales peuvent être suivies de cultures plus tardives comme le soya ou le sorgho-Soudan. Étant donné que la qualité nutritionnelle, la sapidité et la prise alimentaire diminuent très rapidement à l'épiaison, la période de récolte est très restreinte. On conseille d'effectuer la récolte à la sortie de la feuille paniculaire ou au début du gonflement pour obtenir une qualité nutritionnelle élevée. Le seigle arrive à maturité environ sept à dix jours avant le triticales, ce qui permet de semer la culture suivante plus tôt. Il est recommandé d'épandre de l'azote au printemps lorsque la culture commence à verdifier pour accroître le rendement et la teneur en protéines brutes.

Céréales de printemps (avoine, orge, triticales, blé)

Les céréales de printemps se prêtent très bien à la production de fourrage sous forme d'ensilage préfané, d'ensilage en balles ou de pâturages. Elles sont toutefois difficiles à sécher pour la production de foin en Ontario. L'avoine, l'orge et le blé de printemps sont très employés comme cultures-abris dans les semis de plantes fourragères vivaces. Pour éviter toute concurrence et ainsi améliorer l'établissement de ces dernières, on conseille de récolter les céréales comme fourrages. Dans le cas d'une deuxième récolte, on peut semer des céréales de printemps en août après une culture de blé d'automne ou de céréales de printemps pour les récolter au début d'octobre sous forme d'ensilage préfané ou d'ensilage en balles.

Pour bon nombre de personnes, l'avoine fourragère est la céréale qui possède la plus grande sapidité. Pour maximiser le rendement, il faut semer au début du printemps. Comme un apport d'azote stimule la croissance végétative, le rendement et la teneur en protéines brutes, on suggère d'en épandre 55 kg/ha (50 lb/ac). En règle générale, l'avoine doit croître pendant 60 jours après la germination pour atteindre le stade de gonflement. Étant donné que la qualité fourragère baisse rapidement après l'épiaison, on conseille de récolter au stade de gonflement ou au début de l'épiaison. Le rendement augmente à mesure que le plant approche de la maturité, mais sa qualité fourragère diminue énormément. Généralement, au gonflement, les céréales ont une teneur en protéines brutes d'environ 16 %, et une teneur en fibres au détergent neutre (NDF) de 54 %, et digèrent très bien les fibres. Pour en savoir plus sur la production de fourrage à partir des céréales de printemps, visiter le site <http://fieldcropnews.com/>.

Mélanges céréales-pois

Les pois des champs, en association avec des céréales (avoine, triticales de printemps), améliorent la qualité nutritionnelle du mélange; ils permettent d'en accroître la teneur en protéines et la digestibilité s'ils représentent au moins 50 % (en poids) du total. Cependant, l'ajout de pois augmente le coût des semences, donc il faut choisir de préférence des cultivars de pois fourragers. Le mélange céréales-pois peut être utilisé comme culture-abri pour la luzerne et devrait être récolté pour l'ensilage. À la récolte, les pois sont habituellement plus abondants lorsqu'ils sont mélangés avec le triticales que lorsqu'ils sont mélangés avec l'avoine. Le produit obtenu est généralement de meilleure qualité, mais le flétrissement des plants est plus long, tout comme le temps de fanage avant l'ensilage. Il faut faucher lorsque la céréale commence à épier, lorsque le pois commence à peine à faire ses gousses. Si les semis sont effectués à la fin avril, ce stade de croissance se produit habituellement vers la dernière semaine de juin. Les mélanges céréales-pois se flétrissent lentement, et les plants peuvent verser si le peuplement est dense. Si un tel mélange est utilisé comme culture-abri, sa coupe, son flétrissement et son retrait du champ doivent avoir lieu rapidement pour que la luzerne puisse s'établir correctement.

Ray-grass de type Westerwold et ray-grass d'Italie (ray-grass annuel)

Le ray-grass est une graminée en touffe à croissance rapide qui pousse particulièrement bien dans les sols frais et humides, et qui donne de mauvais résultats par temps chaud et sec. Il a une qualité nutritionnelle plus élevée que les autres graminées de saison fraîche, au même niveau de maturité. Même si on les range parfois tous les deux dans la catégorie « ray-grass annuel », le ray-grass de type Westerwold et le ray-grass d'Italie diffèrent sur plusieurs points.

1. Le ray-grass de type Westerwold est une vraie graminée annuelle qui produit des tiges et des tiges porte-graines l'année des semis, et qui ne survit pas à l'hiver. Bon marché, il est le plus souvent utilisé comme culture couvre-sol. Les cultivars de Westerwold atteignent une bonne hauteur et produisent des tiges, ce qui facilite la production de foin sec. On conseille de le faucher à l'épiaison ou avant parce que la qualité fourragère diminue rapidement après ce stade.

2. Le ray-grass d'Italie est en fait une plante bisannuelle qui a besoin de vernalisation pour fleurir, c'est-à-dire une exposition au froid (comme le blé d'automne). L'année des semis, il demeure végétatif et ne produit pas de tige porte-graines, mais il donne un feuillage fourni qui constitue un fourrage de qualité exceptionnelle. S'il hiverne, il produit une tige porte-graines l'année suivante; il est donc important de le récolter au bon moment pour garantir la qualité du fourrage. Il peut être semé au printemps ou en août. Malgré les risques de destruction par l'hiver, le ray-grass d'Italie semé en août peut être récolté à la fin de l'automne et donner du fourrage en début de saison, le printemps suivant. On peut faire une coupe au mois de mai, puis ensemer le champ avec du maïs à ensilage, du soya, des haricots comestibles ou du sorgho-Soudan. On peut aussi effectuer des coupes toutes les quatre semaines, jusqu'à ce que la culture ne soit plus productive. Lorsque le ray-grass d'Italie est récolté correctement, sa valeur de digestibilité des fibres (dNDF), sa sapidité et sa prise alimentaire sont particulièrement élevées. On peut donc le donner aux vaches laitières très productives pour augmenter la part de fourrage de leur ration alimentaire.

Graminées annuelles de saison chaude

Les membres de la famille du sorgho, du sorgho herbacé et du millet sont des graminées annuelles tropicales, de saison chaude, qui poussent dans des zones semi-arides. Elles sont très sensibles au gel, aussi bien au printemps qu'à l'automne, et elles y succombent facilement. On utilise parfois les graminées annuelles de saison chaude comme fourrages dans les situations d'urgence lorsque la luzerne a été détruite par l'hiver ou lorsque les semis sont retardés. Elles présentent des avantages par rapport au maïs à ensilage, parce qu'elles permettent l'emploi du matériel de semis et de récolte traditionnel. En Ontario, on les utilise également pour l'ensilage (haché ou en balles), le fourrage vert ou le pâturage. Le sorgho et le sorgho herbacé ne sont pas recommandés pour la production de foin sec parce qu'ils sont difficiles à sécher. Le millet est généralement récolté comme fourrage, mais si les conditions de séchage sont bonnes, il peut être transformé en foin. On le préfère parfois au sorgho pour le pâturage ou le fourrage vert parce qu'il ne contient pas d'acide prussique. Le millet et le sorgho sont facilement endommagés par les animaux au pâturage, raison pour laquelle ils doivent être pâturés par bandes.

Millet

Le nom « millet » désigne de nombreuses espèces de graminées qui ont de petites graines comestibles. La plupart des espèces (notamment le millet du Japon, le millet commun, le millet d'Italie, le millet pied-de-coq, le millet kodo, le mil rouge et le teff) ont des tiges courtes (0,3 à 1,2 m, soit 1 à 4 pi) et minces. Chez le millet perlé, en revanche, la tige est épaisse et au moins deux fois plus longue (1,5 à 3 m, soit 5 à 10 pi). En Ontario, les espèces les plus utilisées pour le fourrage sont le millet perlé et le millet du Japon. Bien gérées, les prairies de millet peuvent donner un fourrage de très bonne qualité. Le millet a une plus petite tige que le sorgho et est légèrement plus riche en protéines et en unités nutritives totales que ce dernier.

Millet perlé

Le millet perlé produit une masse de talles et de racines secondaires très fines et fasciculées. Il résiste bien à la sécheresse et pousse particulièrement bien sur les sols légèrement sableux et les loams sableux. On sème le millet perlé lorsque les risques de gel sont passés et que la température du sol atteint 12 °C ou plus. Le meilleur moment pour semer est habituellement la dernière semaine de mai ou le début de juin, mais on peut aller jusqu'au début de juillet. On suggère de semer à raison de 8 à 10 kg/ha (7 à 9 lb/ac), à une profondeur de 0,5 à 1 cm (0,25 à 0,5 po). Le millet perlé a sensiblement le même type de croissance que les hybrides sorgho-Soudan.

La qualité du fourrage et sa quantité dépendent du stade de maturité au moment de la récolte. Pour obtenir une qualité fourragère optimale, il faut généralement faire la première coupe environ 55 à 60 jours après les semis, lorsque le millet est encore au stade végétatif. La deuxième coupe se fait environ 30 à 35 jours plus tard. Pour accélérer la repousse, il faut laisser un chaume d'environ 10 cm (4 po), et d'environ 15 à 20 cm (6 à 8 po) pour le broutage.

Pour l'épandage d'azote, la même directive générale s'applique au millet perlé et aux hybrides sorgho-Soudan : on conseille d'épandre la première moitié au semis et la deuxième moitié après la première coupe si l'on prévoit d'effectuer une seconde coupe. L'épandage d'azote en deux fois permet d'optimiser le rendement et la qualité. Dans les cultures de millet perlé, les méthodes de lutte contre les mauvaises herbes sont limitées. Voir la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

La famille du sorgho

Les membres de la famille du sorgho utilisés comme fourrages comptent le sorgho fourrager, le sorgho herbacé et divers hybrides. Les qualités agronomiques et nutritionnelles diffèrent considérablement entre les espèces, les hybrides et les cultivars.

Sorgho et sorgho-Soudan

Le sorgho fourrager et le sorgho-Soudan produisent de grands plants et peuvent donner un rendement élevé. Les anciens cultivars de sorgho fourrager étaient adaptés aux récoltes à une coupe produisant une qualité de fourrage faible, mais un rendement élevé. Le sorgho-grain, appelé aussi milo, n'est pas recommandé pour la production de fourrage en raison de son faible rendement.

De nouveaux types de sorgho fourrager ont été créés pour les fourrages de saison courte, à plusieurs coupes et de grande qualité. Les racines secondaires fines et fasciculées du sorgho fourrager et les talles qu'il forme lui confèrent une meilleure tolérance à la sécheresse. Le sorgho fourrager tolère mieux les sols lourds que le millet perlé. Il a une croissance optimale dans un milieu chaud et humide.

On conseille de semer le sorgho fourrager lorsque le risque de gel est passé et que la température du sol dépasse 12 °C, généralement pendant la dernière semaine de mai ou au début de juin, à raison de 22 à 44 kg/ha (20 à 40 lb/ac). De façon générale, on peut augmenter les taux de semis si les rangs sont plus rapprochés et si les conditions de semis sont médiocres. Pour un cultivar donné, les fournisseurs de semences indiquent parfois le taux recommandé. On conseille de semer à une profondeur de 2 à 4 cm (0,75 à 1,5 po). Le phosphore et la potasse doivent être épandus en fonction des résultats de l'analyse de sol. Pour le sorgho, la dose suggérée est de 23 kilogrammes par tonne (45 lb/t. c.) de matière sèche fourragère prévue par acre. Le fractionnement de l'application d'azote (la moitié au moment des semis et l'autre après la première coupe) permet d'optimiser le rendement et la qualité. Voir la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Le stade de maturité au moment de la coupe est le facteur le plus déterminant en ce qui concerne la qualité et la quantité du fourrage. En général, le sorgho fourrager se récolte 60 à 65 jours après les semis (fin juillet ou début août), et il est prêt pour une deuxième coupe 30 à 35 jours plus tard. Pour favoriser une repousse plus rapide après la fauche, il faut laisser au

moins 10 cm (4 po) de chaume à la récolte, ou 15 à 20 cm (6 à 8 po) pour le broutage. Le régime à une coupe augmente considérablement le rendement, mais aux dépens de la qualité fourragère, et celle-ci baisse énormément après l'épiaison.

On a créé des cultivars de sorgho fourrager et de sorgho-Soudan à nervure principale brune possédant une bien meilleure qualité nutritionnelle. La nervure principale brune résulte d'une mutation génétique qui réduit la quantité de lignine, améliore la digestibilité des fibres, et augmente l'énergie digestible et la prise alimentaire. Toutefois, elle peut aussi nuire à la croissance vigoureuse et augmenter le risque de verse.

Sorgho herbacé

Le sorgho herbacé est utilisé pour le broutage. Il a des tiges de la grosseur d'un crayon et conserve sa sapidité même après l'épiaison. Il ne doit pas être brouté avant d'avoir atteint une hauteur de 45 cm (18 po). En pâturage tournant, la culture demeure productive et succulente toute la saison. Le sorgho herbacé tolère des sols légèrement plus humides que les autres espèces de sorgho, mais il préfère les endroits assez bien drainés ou bien drainés.

Intoxication à l'acide prussique

L'intoxication à l'acide prussique (acide cyanhydrique) peut survenir chez le bétail nourri au sorgho et au sorgho herbacé. Les plants jeunes ou immatures et ceux qui ont souffert du gel ou de sécheresse peuvent avoir une teneur en acide prussique plus élevée. Généralement, le sorgho présente un risque plus élevé en la matière que le sorgho herbacé, et le sorgho-Soudan occupe une place intermédiaire. Certains nouveaux hybrides de sorgho fourrager ont des teneurs moins élevées en acide prussique. Le millet ne présente pas de risques d'intoxication de ce type. L'ensilage peut contenir de l'acide prussique, qui peut être libéré dans l'air lorsqu'il fermente et lorsqu'on le déplace et qu'on le donne aux animaux. Si de nouvelles pousses se forment après un épisode de gel, le risque d'intoxication peut être élevé si le champ est destiné au pâturage. Voici quelques conseils pour réduire le risque d'intoxication à l'acide prussique :

- Ne pas pacager le sorgho ni en faire de fourrage vert avant qu'il atteigne 45 à 60 cm (18 à 24 po) de hauteur;
- Après une gelée meurtrière, attendre trois à cinq jours avant d'ensiler le sorgho de plus de 76 cm (30 po) de hauteur ou d'en faire du fourrage vert.

Il faut attendre que l'ensilage soit complètement fermenté (six à huit semaines) avant de le donner aux animaux.

- Immédiatement après une gelée, retirer le bétail du pâturage jusqu'à ce que ce dernier soit sec (généralement au bout de six à sept jours). Si de nouvelles pousses se forment, effectuer une récolte sous forme d'ensilage plutôt que de pâturage.
- Après une période de sécheresse suivie d'une pluie, ne pas faire paître la repousse.

Intoxication aux nitrates

Les fourrages ayant des teneurs anormalement élevées en nitrates (NO_3) peuvent provoquer des intoxications mortelles chez le bétail et, si le fourrage est ensilé, des émanations de gaz d'ensilage qui posent un risque très grave pour la santé humaine. Parmi les diverses espèces fourragères, ce sont le sorgho, le maïs et les céréales qui accumulent les plus fortes teneurs de nitrates; les légumineuses n'en contiennent que peu et sont rarement source de danger, alors que les graminées fourragères se situent entre ces deux groupes. La plupart du temps, le risque d'intoxication aux nitrates se pose lorsqu'on récolte du maïs à ensilage dans les journées qui suivent un épisode de pluie ayant mis fin à une sécheresse

Les teneurs élevées en nitrates deviennent dangereuses dans des conditions de croissance anormales, telles que les suivantes :

- Sols à très forte teneur en azote (apports excessifs d'engrais azotés ou de fumier, ou une combinaison de ces causes, avec l'enfouissement d'une légumineuse comme engrais vert);
- Longue période de sécheresse suivie de pluie; dans ces circonstances, attendre 10 jours après la pluie avant de récolter pour permettre la transformation des nitrates en protéines;
- Toutes les circonstances naturelles entraînant la destruction des feuilles pendant que les racines et les tiges sont encore actives et accumulent les nitrates (p. ex. gel, grêle et parfois sécheresse).

La fermentation réduit la teneur en nitrates des fourrages. Il faut qu'ils aient fermenté pendant au moins trois à cinq semaines avant d'être donnés aux animaux. On peut analyser les aliments douteux pour mesurer leur teneur en nitrates. À noter que l'ensilage de fourrage à forte teneur en nitrates peut produire un gaz mortel, le dioxyde d'azote (voir la section *Gaz d'ensilage* du présent chapitre).

Brassicacées fourragères : colza fourrager, chou fourrager et navet fourrager

Le colza fourrager, le chou fourrager et le navet fourrager font d'excellents pâturages de septembre à décembre. Pour en savoir plus, voir le tableau 8-5, *Caractéristiques des cultures couvre-sol cultivées en Ontario*, du chapitre 8, ou voir la publication 19F du MAAARO, *La culture des pâturages*.

Le tableau 3-3, *Caractéristiques des cultures fourragères annuelles en Ontario*, résume les particularités de toutes ces espèces cultivées dans la province.

Tableau 3-3 – Caractéristiques des cultures fourragères annuelles en Ontario

Culture annuelle	Utilisation	Date de semis	Taux de semis	Dose d'azote	Rendement prévu en matière sèche	Récolte
Avoine	Ensilage préfané Ensilage en balles Pâturage	Avril à août	80 à 100 kg/ha	30 à 50 kg/ha	2,5 à 4,5 t/ha	De fin gonflement à début épiaison
					5,5 à 8,5 t/ha	D'épiaison à grain pâteux mou
Orge	Ensilage préfané Ensilage en balles	Avril à juin	100 à 125 kg/ha	40 à 70 kg/ha	2,5 à 5,5 t/ha	De fin gonflement à début épiaison
					5,5 à 9,5 t/ha	D'épiaison à grain pâteux mou
Avoine + pois ou triticale + pois	Ensilage préfané Ensilage en balles	Avril à juin	Avoine ou triticale : 80 à 100 kg/ha Pois : 50 à 75 kg/ha	20 à 30 kg/ha	2,5 à 5,0 t/ha	De fin gonflement à début épiaison
					6,0 à 9,0 t/ha	D'épiaison à grain pâteux mou
Seigle d'automne Triticale d'automne	Ensilage préfané Ensilage en balles Pâturage	Août et septembre	90 kg/ha	55 à 80 kg/ha au printemps	5,0 à 9,0 t/ha	Sortie de la feuille paniculaire ou gonflement en mai
					1,0 à 1,5 t/ha	Faire paître 7 semaines après les semis ou au début du printemps
Soya	Ensilage préfané	Mai et juin	80 à 100 kg/ha	Aucun	6,0 à 9,0 t/ha	Jaunissement des feuilles du bas
Sorgho herbacé	Pâturage	1 ^{er} au 15 juin	15 à 20 kg/ha	30 à 50 kg/ha	5,0 à 7,0 t/ha	45 cm (18 po) de hauteur
Hybrides sorgho-Soudan	Pâturage Ensilage préfané Ensilage en balles	1 ^{er} au 15 juin	15 à 20 kg/ha	50 à 100 kg/ha	8,0 à 12,0 t/ha	Gonflement ou début épiaison
Sorgho fourrager	Ensilage préfané Ensilage en balles Pâturage	1 ^{er} au 15 juin	10 à 30 kg/ha (régime à plusieurs coupes)	100 kg/ha	7,0 à 9,0 t/ha	Gonflement ou début épiaison, ou > 1 m (3,3 pi)
Millet perlé	Ensilage préfané Ensilage en balles Pâturage foin	1 ^{er} au 15 juin	9 à 20 kg/ha	45 à 90 kg/ha	4,0 à 12,0 t/ha	Gonflement ou début épiaison
Colza fourrager	Pâturage	1 ^{er} au 15 juillet	2 à 6 kg/ha	45 à 70 kg/ha	7,0 à 9,0 t/ha	10 à 12 semaines après les semis

Suite à la page suivante

Suite de la page précédente

Tableau 3-3 – Caractéristiques des cultures fourragères annuelles en Ontario

Culture annuelle	Utilisation	Date de semis	Taux de semis	Dose d'azote	Rendement prévu en matière sèche	Récolte
Chou fourrager	Pâturage	Juin et juillet	2 à 6 kg/ha	45 à 70 kg/ha	9,0 à 12,0 t/ha	10 à 15 semaines après les semis
Navet fourrager	Pâturage	1 ^{er} au 15 juillet	2 à 6 kg/ha	80–100 kg/ha	6,0 à 9,0 t/ha	10 à 12 semaines après les semis
Ray-grass d'Italie	Ensilage préfané Ensilage en balles Pâturage	Avril et mai Août	39 à 45 kg/ha	56 kg/ha par coupe	6,0 à 8,5 t/ha	8 semaines après les semis ou 35 à 45 cm (14 à 18 po) de hauteur
Ray-grass de type Westerwold	Ensilage préfané Ensilage en balles Pâturage Foin	Avril et mai	20 à 30 kg/ha	56 kg/ha par coupe	8,0 à 12,0 t/ha	Faucher ou faire paître 6 à 8 semaines après les semis

100 kg/ha = 90 lb/ac

1 t/ha (0,45 t. c./ac)

Établissement (semis)

Une culture fourragère doit s'établir selon un peuplement uniforme exempt de mauvaises herbes, qui aura une croissance rapide et vigoureuse et donnera un rendement élevé. Lorsqu'on choisit un champ, il faut déterminer s'il convient au mélange que l'on envisage de semer. Si le pH est faible, si le sol est mal drainé ou s'il y a des mauvaises herbes telles que le chiendent, il faut prendre des mesures correctives avant les semis. Dans l'idéal, les plantules devraient pouvoir sortir sans qu'il pleuve. Pour réussir les semis, il faut impérativement que le lit de semence soit ferme et que les semences soient correctement mises en terre.

Préparation du lit de semence

La préparation du lit de semence a quatre fonctions :

- Produire un lit de semence ferme, nivelé et à texture fine qui permet une bonne maîtrise de l'uniformité de la profondeur de semis;
- Produire un lit de semence bien tassé qui permet un bon contact entre la semence et le sol;
- Éliminer les résidus qui pourraient nuire à l'établissement;
- Produire une surface lisse en vue des travaux de récolte.

Les semences fourragères étant très petites, pour pouvoir germer, elles doivent absolument être bien en contact avec le sol, surtout si celui-ci est sec. Un lit de semence meuble et grumeleux s'assèche rapidement, et les mottes nuisent à la levée uniforme des plantules. Le lit de semence doit impérativement être ferme, nivelé et sans mottes pour que la profondeur de semis soit uniforme et qu'il y ait un bon contact entre la semence et le sol. Le travail du sol en profondeur est à éviter, car il ramollit et aère le lit de semence. Le passage d'une herse à dents rigides avant le passage du semoir aura pour effet d'ameublir le sol au lieu de le tasser. Au moment des semis, le sol doit être assez ferme pour qu'une empreinte de pied ne s'enfonce pas de plus de 9 mm (0,33 po). En plus du tassage après les semis, il peut être utile de tasser aussi le sol avant de semer.

Taux et profondeur de semis

Les taux de semis suggérés au tableau 3-2, *Mélanges suggérés pour le fourrage entreposé et le pâturage*, et au tableau 3-4, *Taux de semis recommandés pour les peuplements de légumineuses et les peuplements de graminées purs*, ont été calculés pour des conditions moyennes à bonnes. On peut réduire ces taux d'au plus 25 % lorsque la gestion est excellente et les conditions, favorables à l'établissement. Cependant, il ne faut pas réduire les taux de semis lorsqu'on utilise des semences enrobées, parce que celles-ci sont moins nombreuses

par unité de poids. Les conditions médiocres (p. ex. un lit de semence irrégulier, une culture-abri dense) ne peuvent être compensées par une augmentation des taux de semis.

La taille des semences peut varier entre les cultivars et les lots de semences d'un même cultivar. Il faut calibrer soigneusement le semoir pour éviter de semer trop ou pas assez de semences. Pour en savoir plus, voir le tableau 3-4, *Taux de semis recommandés pour les peuplements de légumineuses et les peuplements de graminées purs*.

En règle générale, on enfouit les semences de la plupart des cultures fourragères à 6 à 12 mm (0,25 à 0,5 po) de profondeur dans les sols argileux et loameux, et à 12 à 18 mm (0,5 à 0,75 po) dans les sols sableux. Le pourcentage de levée baisse rapidement si les semences fourragères sont enfouies à plus de 20 mm (0,75 po) de profondeur. Les semences de légumineuses déposées en surface peuvent s'établir si les conditions d'humidité sont idéales après le semis. Elles ont beaucoup plus de chances de s'établir si les semis ont lieu à la fin mars ou au début avril (y compris les semis sur sol gelé) qu'à la fin avril ou en mai.

Matériel de semis

Semoir à céréales

Pour les semis de cultures fourragères, le dispositif le plus employé est le semoir à céréales muni d'une trémie pour semences de petit calibre. On peut se servir d'une trémie de ce type pour semer les graines de légumineuses et les graines de graminées plus petites comme celles de la fléole et de l'alpiste roseau, et les graines de dactyle pelotonné et de *Festulolium* en petite quantité. Certains semoirs à céréales sont équipés d'une trémie supplémentaire et d'un agitateur conçus pour les graminées, comme le brome et le dactyle pelotonné, dont les graines plus grosses et plus légères ne passent pas bien dans une trémie standard.

La plupart des semoirs à céréales conventionnels devraient laisser quelques graines à la surface du sol. Si ce n'est pas le cas, il se peut que la mise en terre soit trop profonde.

Pour épandre un engrais phosphaté de démarrage par le semoir à céréales, il faut aligner les tubes de descente de façon à ce que les semences tombent alignées, par-dessus l'engrais mis en place par le disque ouvre-sillons. Il faut faire tomber les semences derrière le disque

Tableau 3-4 – Taux de semis recommandés pour les peuplements de légumineuses et les peuplements de graminées purs

LÉGENDE : — = aucune donnée disponible		
Espèce	Taux de semis	Nombre de graines
Légumineuses		
Luzerne	13 kg/ha (12 lb/ac)	440 000 graines/kg (200 000 graines/lb)
Trèfle rouge	11 kg/ha (10 lb/ac)	605 000 graines/kg (274 000 graines/lb)
Trèfle blanc	—	1 760 000 graines/kg (798 000 graines/lb)
Lotier corniculé	9 kg/ha (8 lb/ac)	935 000 graines/kg (424 000 graines/lb)
Mélicot	8 à 10 kg/ha (7 à 9 lb/ac)	572 000 graines/kg (259 000 graines/lb)
Trèfle d'Alsike	—	1 540 000 graines/kg (699 000 graines/lb)
Graminées (peuplements purs)¹		
Fléole	8 à 10 kg/ha (7 à 9 lb/ac)	2 706 000 graines/kg (1 227 000 graines/lb)
Dactyle pelotonné	8 à 10 kg/ha (7 à 9 lb/ac)	1 439 000 graines/kg (653 000 graines/lb)
Brome	10 à 14 kg/ha (9 à 12,5 lb/ac)	300 000 graines/kg (136 000 graines/lb)
Fétuque élevée et fétuque des prés	9 à 11 kg/ha (8 à 10 lb/ac)	506 000 graines/kg (230 000 graines/lb)
Fétuque des prés ²	10 à 12 kg/ha (9 à 11 lb/ac)	506 000 graines/kg (230 000 graines/lb)
Ray-grass vivace	10 à 15 kg/ha (9 à 13,5 lb/ac)	500 000 graines/kg (227 000 graines/lb)
Alpiste roseau	10 à 12 kg/ha (9 à 13,5 lb/ac)	1 173 000 graines/kg (532 000 graines/lb)
Pâturin	—	4 790 000 graines/kg (2 173 000 graines/lb)

¹ Pour un semis précoce dans un lit de semence ferme et à texture fine, ces taux peuvent être réduits de 25 %, sauf pour les semences enrobées.

² Utiliser des semences enrobées et semer avec la trémie du semoir.

ouvre-sillons pour qu'un peu de terre recouvre l'engrais avant l'arrivée de la semence. L'apport d'engrais de démarrage est particulièrement utile dans les sols dont la teneur en phosphore est faible ou moyenne.

Le tassage du sol après les semis peut se traduire par une germination plus rapide et plus uniforme, surtout si le temps est sec et le sol, léger. Les roues plombeuses

permettent de mieux recouvrir les semences fourragères et d'affermir le sol autour d'elles. On peut aussi tirer un rouleau derrière le semoir, ou effectuer un tassage dès que possible après les semis pour prévenir la perte excessive d'humidité. Il est préférable d'utiliser un rouleau brise-mottes plutôt qu'un rouleau lisse pour éviter de provoquer un encroûtement du sol et pour enfoncer dans le sol les graines qui se trouvent à la surface. L'utilisation du rouleau n'est pas conseillée lorsque le sol est mouillé, surtout sur les loams argileux où il y a des risques d'encroûtement.

Avec un semoir pneumatique ou un semoir à céréales doté d'un dispositif de distribution et d'ouvre-sillons à air, on peut ensemer rapidement de grandes superficies.

Semoirs cultitasseurs

Les semoirs cultitasseurs comme les Brillion peuvent très bien servir à semer des cultures fourragères; ils sont équipés de trémies pour les semences de petit et de gros calibre, et de deux rouleaux. Le premier rouleau affermit et nivelle le sol, et il ouvre un sillon à la surface duquel la semence est ensuite déposée. Le deuxième rouleau enterre les semences et affermit le sol autour d'elles. Les semoirs cultitasseurs permettent une excellente maîtrise de la profondeur de semis et affermissent bien le lit de semence. Toutefois, ils ne donnent pas de bons résultats sur les sols très durs ou sableux, et ne peuvent pas épandre l'engrais de démarrage en bandes comme le font certains semoirs à céréales. C'est un inconvénient, surtout là où le sol a une teneur en phosphore faible ou moyenne.

Semoirs à la volée

Le principal avantage des semoirs à la volée est qu'ils permettent d'augmenter la vitesse et la capacité de semis. Cependant, il peut s'avérer difficile de maîtriser la profondeur de semis, et il faut effectuer un tassage pour recouvrir les semences. Il est préférable d'utiliser un rouleau brise-mottes plutôt qu'un rouleau lisse pour enfoncer dans le sol les graines qui se trouvent à la surface.

Il existe deux types de semoirs à la volée :

1. Les semoirs à disques rotatifs peuvent donner une répartition inégale, surtout par temps venteux ou lorsque les mélanges sont composés de semences légères et de semences lourdes. Cette méthode de semis produit généralement des peuplements de moins bonne qualité.

2. Les unités de distribution à air évitent les problèmes de vent, de ségrégation des semences et de distribution non uniforme tout en étant très rapides. On peut aussi utiliser un épandeur d'engrais à air pour appliquer du phosphate monoammonique en même temps que les semences fourragères.

Semoirs pour semis direct

Le semis direct des cultures fourragères donne d'assez bons résultats lorsque le sol est lisse et nivelé après la culture précédente. La lutte contre les mauvaises herbes, la mise en place des semences à la bonne profondeur et le passage des roues tasseuses sont tous des aspects importants à prendre en compte. Là où il y a une épaisse couche de résidus en surface, les limaces peuvent endommager les plantules. Cependant une couche épaisse de résidus végétaux protège davantage les sols sujets à l'érosion. Quoi qu'il en soit, le matériel de semis doit pouvoir fonctionner malgré la quantité de résidus laissée en place après un travail réduit, sans compromettre la mise en place des semences et tout en assurant un contact suffisant entre celles-ci et le sol. Par ailleurs, si le sol est trop humide, les raies issues du semis direct pourraient ne pas se fermer correctement, ce qui nuirait au contact entre la semence et le sol.

Si l'on sème en semis direct ou en présence d'importantes quantités de résidus, il faut suivre quelques directives :

- Éliminer les mauvaises herbes vivaces comme le chiendent, les pissenlits et les annuelles hivernales avant les semis. Épandre de l'herbicide pour prévenir l'apparition de mauvaises herbes annuelles dicotylédones dans les nouveaux semis.
- Veiller à ce que les résidus de la culture précédente soient répartis de manière uniforme. Gérer le surplus de résidus pour améliorer la mise en place des semences et prévenir les dommages dus aux limaces. Pour optimiser les résultats, faire les semis de printemps par semis direct dans le chaume de soya, de céréales et de maïs à ensilage.
- Semer à 6 à 12 mm (0,25 à 0,5 po) de profondeur dans les sols argileux et loameux, et à 12 à 18 mm (0,5 à 0,75 po) dans les sols sableux. Vérifier que les ouvre-sillons placent les semences dans le sol et non dans les résidus de surface.

Semis direct ou semis avec culture-abri

Lorsqu'on sème une culture fourragère avec une culture-abri de céréales (avoine, triticales, orge), celle-ci exclut les mauvaises herbes annuelles et procure une protection relativement rapide contre l'érosion sur les terrains accidentés. L'inconvénient de la culture-abri, c'est qu'elle fait concurrence à la culture fourragère pour l'humidité, la lumière et les éléments nutritifs. Si l'un de ces facteurs fait défaut, la culture fourragère en souffre avant la culture de graminées.

Les semis de cultures fourragères sans culture-abri éliminent ce risque pour l'établissement. Les peuplements fourragers en semis direct sont souvent plus fournis et plus uniformes, notamment dans le cas de la luzerne, du lotier corniculé et de l'alpiste roseau, qui ne tolèrent pas les zones très ombragées. En l'absence d'une culture céréalière exerçant une concurrence pour l'humidité du sol, les semis directs sont moins vulnérables aux périodes sèches de juin et juillet.

Les semis directs effectués au début du printemps peuvent donner une ou deux coupes de fourrage pendant l'année du semis, soit de 50 à 65 % du rendement d'un peuplement établi. Si les conditions s'y prêtent, la première coupe peut avoir lieu 60 à 70 jours après les semis.

Les semis directs sont plus répandus en Ontario, pour les raisons suivantes :

- Le risque d'érosion est moindre;
- Les sols sont bien drainés, ce qui permet de faire les semis au début du printemps;
- La lutte contre les mauvaises herbes se fait efficacement dans le cadre des rotations;
- Il faut de l'ensilage préfané avec une qualité nutritionnelle constamment élevée, notamment dans les fermes laitières.

Les semis directs ne connaissent pas le succès sur toutes les exploitations agricoles. La concurrence des mauvaises herbes peut être plus intense avec les semis directs qu'avec une culture-abri contre-ensemencée. Une culture-abri de céréales peut protéger rapidement les champs qui sont plus menacés par l'érosion au début de l'établissement, par exemple les sols légers en pente. Les semis directs effectués sur des loams argileux lourds nécessitent plus de soins à la préparation du lit de semence et aux semis, surtout aux endroits plus vulnérables à l'encroûtement et aux problèmes de levée si les semis sont suivis de fortes pluies.

Récolte de la culture-abri pour l'ensilage

Il n'est pas conseillé de récolter la culture-abri de céréales sous forme de grains au moyen d'une moissonneuse-batteuse, car cette pratique réduit l'établissement de la culture fourragère pendant toute l'existence du peuplement. La récolte des céréales au stade du gonflement sous forme d'ensilage préfané ou d'ensilage en balles offre plusieurs avantages : réduire la concurrence, améliorer l'établissement de la culture fourragère, contribuer à éliminer les mauvaises herbes et à prévenir l'érosion, et offrir une source supplémentaire de fourrage. La culture-abri est enlevée avant d'être touchée par la verse et d'exercer une concurrence excessive pour la lumière et l'humidité. Si, après la coupe, on laisse la culture céréalière se flétrir dans l'andain étalé pendant un certain temps, elle peut endommager les nouveaux semis de la culture fourragère.

Certains producteurs choisissent un taux de semis correspondant à une culture céréalière complète et appliquent de l'azote pour maximiser le rendement de la culture fourragère, mais cette croissance plus soutenue peut nuire à l'établissement de cette dernière. Quand on opte pour un taux réduit (50 %) et qu'on évite d'épandre de l'azote, on obtient généralement un meilleur établissement de la culture fourragère.

L'avoine est la culture de céréales en herbe par excellence. Bien qu'elle puisse être touchée par la rouille, l'avoine fourragère donne généralement un meilleur rendement que l'orge (surtout dans de mauvaises conditions et avec des semis tardifs), produit moins de repousses et d'épis lors de la deuxième coupe, et ne produit pas de barbes. On ajoute parfois des pois aux céréales pour améliorer la qualité nutritionnelle du fourrage. Avec cette technique par contre, on ne peut pas lutter contre les mauvaises herbes au moyen d'un herbicide, et le flétrissement peut prendre plus de temps et ainsi endommager les semis de la culture fourragère.

Il faut couper les céréales au stade qui correspond le mieux aux besoins nutritionnels du bétail. Pour obtenir une qualité fourragère élevée, on conseille de récolter les céréales au stade du gonflement. Le report de la récolte au moment de l'épiaison complète augmente le rendement, mais réduit la qualité du fourrage. Les céréales peuvent atteindre le stade du gonflement en seulement 60 jours, donc si elles sont semées avant la première semaine de mai, elles peuvent être récoltées à la fin juin ou au début juillet. Lorsque le sol demeure raisonnablement humide après la récolte, on a de

bonnes chances de pouvoir faire une autre coupe de fourrage en août dans les zones recevant 2 800 unités thermiques de croissance ou plus.

Pour en savoir plus sur la production de fourrage à partir des céréales de printemps, visiter le site <http://fieldcropnews.com/>.

Récolte de la culture-abri sous forme de grains

Même si la récolte sous forme de grains d'une culture céréalière contre-ensemencée d'une culture fourragère permet d'obtenir des grains et de la paille pendant l'établissement de la culture fourragère, la concurrence exercée par les céréales peut nuire au peuplement de la culture fourragère et réduire les rendements. La verse de la culture céréalière et le retard de la mise en balles de la paille peuvent également poser problème. Il ne faut donc pas perdre de vue que l'objectif principal du semis est l'établissement de la culture fourragère, tandis que la production de grains et de paille est plutôt secondaire. Si l'on récolte une culture-abri sous forme de grains, il faut tenir compte des éléments suivants pour réduire les dommages qui pourraient toucher les nouveaux semis de la culture fourragère :

- Le blé de printemps et le triticale de printemps exercent habituellement moins de concurrence que l'avoine et l'orge à l'égard des semences fourragères. L'orge à six rangs est préférable à l'orge à deux rangs.
- En règle générale, pour réduire la concurrence au minimum, choisir le cultivar de céréale le plus précoce et avec la tige la plus courte et la plus forte.
- Réduire les taux de semis des céréales de printemps à 60 à 70 kg/ha (54 à 62 lb/ac).
- Réduire la dose d'engrais azoté (< 15 kg/ha ou 13 lb/ac) ou de fumier pour éviter de produire une culture de céréales dense et sensible à la verse.

Période des semis

Semis de printemps

La meilleure période pour faire les semis de fourrages est le début du printemps, qu'il s'agisse de semis directs ou avec une culture-abri. Lorsque les semis ont lieu au printemps, le sol est habituellement assez humide et les plants ont le temps de bien s'établir pour pouvoir survivre à l'hiver. Il faut semer dès que le lit de semence peut être prêt, pour accroître les probabilités que les plants bénéficient d'une humidité adéquate pendant la période cruciale que sont la germination et le début de la croissance.

Semis d'été

Les semis d'été peuvent être une solution de rechange viable aux semis de printemps. Ils ont l'avantage de donner un plein rendement l'année suivante. Des semis d'été peuvent normalement suivre une récolte de céréales d'automne ou de printemps. Les cultures-abris ne sont pas recommandées en semis d'été, parce qu'elles peuvent exercer une concurrence trop intense pour l'humidité disponible.

Date de semis

Si l'on effectue les semis trop tôt en été, on augmente les risques de chaleur et de sécheresse pendant la germination et le développement des plantules. Si l'on sème trop tard, on augmente les risques qu'une gelée meurtrière survienne avant que les plantules de légumineuses n'aient le temps de bien s'établir et d'accumuler suffisamment de réserves dans leurs racines pour pouvoir passer l'hiver. Les légumineuses semées après le début de septembre survivent rarement à l'hiver parce que dans ce cas, les jeunes plants sont plus sujets au déchaussement. Même s'ils ne meurent pas, ils sont moins précoces et leur rendement est moins élevé. La luzerne a besoin d'environ six semaines de croissance après la germination pour résister à l'hiver; en général, si le collet se développe avant la première gelée meurtrière, le plant survit.

Pour les mélanges avec la luzerne, il faut effectuer les semis d'été avant les dates suivantes :

- plus de 3 100 UTC – du 10 au 20 août;
- de 2 700 à 3 100 UTC – du 1^{er} au 10 août;
- moins de 2 700 UTC – du 20 au 30 juillet.

Dans le cas du lotier corniculé, le développement des plantules est lent et les semis d'été sont donc généralement voués à l'échec. Les graminées, elles, peuvent être semées plus tard; les graminées à tige dressée semées en septembre peuvent réussir à s'établir, sauf l'alpiste roseau, qui est trop lent.

Préparation du lit de semence

Le contact entre la semence et le sol revêt une importance particulière lorsque l'été est sec. Un lit de semence meuble et grumeleux s'assèche rapidement. Le tassage peut contribuer à conserver l'humidité. En août, il peut être plus difficile de préparer un lit de semence à texture fine sur des loams argileux que sur des loams, des loams sableux ou des loams limoneux. Il faut éviter de faire des semis d'été dans les sols lourds où la luzerne a déjà été touchée par le déchaussement.

Lutte contre les mauvaises herbes et repousse de céréales

Il est fréquent que la présence de mauvaises herbes annuelles hivernales après les semis d'été rende nécessaire l'épandage d'herbicides. Voir la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*. Il faut toutefois éviter d'effectuer un traitement à l'herbicide qui retarderait la croissance de la culture.

Comme les repousses de céréales sont parfois denses et compétitives, elles peuvent poser de sérieuses difficultés lorsqu'un semis d'été suit une culture céréalière, notamment de blé d'automne. L'avoine et l'orge sont détruites par l'hiver en novembre, mais le blé d'automne résiste jusqu'à la première coupe de l'année suivante. On peut travailler le sol et épandre du glyphosate pour réduire les problèmes causés par les repousses de céréales, mais les semis seront alors retardés.

Semis direct

Les semis directs d'été peuvent réussir si l'on prête une attention suffisante à la gestion des résidus, à la mise en place des semences et à la lutte contre les mauvaises herbes. Toutefois, il n'est pas recommandé d'employer le semis direct pour réensemencer un champ de luzerne en août en raison de l'autotoxicité de la luzerne, ainsi que des limaces et des maladies qui peuvent être présentes dans l'ancienne prairie.

Autotoxicité de la luzerne

Il est très risqué de semer de la luzerne à la place d'un ancien peuplement de luzerne parce que celui-ci laisse une toxine qui inhibe la germination, le développement des racines et la croissance des nouvelles plantules de la même espèce. C'est ce qu'on appelle l'autotoxicité de la luzerne. Les racines des plants touchés sont gonflées, recourbées et décolorées, et elles n'ont pas de poils absorbants. Les effets ainsi produits sur la croissance des racines peuvent avoir des répercussions importantes sur les rendements pendant toute l'existence du peuplement.

Si l'on resème la luzerne deux ou trois semaines après avoir détruit un ancien peuplement, le nouveau peuplement germera mal et sera clairsemé. Un délai prolongé permet un établissement complet, mais les toxines peuvent persister pendant six mois et endommager de façon permanente les parties souterraines des nouveaux plants, ce qui limitera les

rendements pendant toute la vie du peuplement. Pour obtenir un rendement maximal, si la luzerne a deux ans ou plus, il faut semer un autre type de culture et attendre un an avant de semer à nouveau de la luzerne.

Les toxines issues de la culture de luzerne établie ne sont pas présentes la première année après les semis; les semis infructueux ou les nouveaux plants détruits par l'hiver peuvent donc être ressemés sans qu'il y ait risque d'autotoxicité. Cela est valable pour un semis d'été après l'échec d'un semis de printemps, ou un semis de printemps après l'échec d'un semis d'été ou d'un autre semis de printemps.

On ne recommande pas d'effectuer un semis sous couvert pour augmenter la densité d'un peuplement de luzerne établi, parce que les chances de succès sont très minces. Souvent, les nouveaux semis germent, semblent d'abord croître correctement, puis meurent au cours de l'été. En cas d'urgence, il est préférable de semer du trèfle rouge dans les zones clairsemées.

Semis sur sol gelé dans les pâturages

À la fin de l'hiver ou au début du printemps, on peut effectuer un semis à la volée de légumineuses (trèfles et lotier) dans un pâturage établi pour augmenter la teneur en légumineuses du peuplement. Il est préférable de procéder quand le sol est encore gelé, car le cycle de gel-dégel qui survient au début du printemps contribue à assurer un bon contact entre la semence et le sol. Il faut faire paître le pâturage à maintes reprises au cours de l'automne précédent pour réduire la concurrence exercée par l'espèce vivace qui y est établie. La luzerne et la plupart des graminées semées sur sol gelé donnent généralement de très mauvais résultats.

Inoculation

Pour croître normalement, toutes les légumineuses doivent avoir des nodosités productrices d'azote dans leur système racinaire. Ces nodosités sont formées par la bactérie *Rhizobium*.

Pour produire une nodulation adéquate, chaque espèce de légumineuse (luzerne, trèfle, lotier corniculé) a besoin d'une souche de *Rhizobium* qui lui est propre. Si on sème une légumineuse pour la première fois dans un champ, la semence doit être inoculée avec la souche correspondante de bactérie *Rhizobium* avant le semis. L'utilisation de semences préinoculées donne des résultats satisfaisants, à condition que

l'inoculant soit appliqué pendant la saison en cours. Comme l'inoculant doit être vivant, il faut vérifier la date d'expiration et suivre les avertissements relatifs à la manipulation qui figurent sur l'emballage pour s'assurer d'une fixation adéquate de l'azote. Lorsqu'une légumineuse fourragère est semée régulièrement dans un champ comme culture dans la rotation, ces bactéries sont habituellement présentes dans le sol et devraient permettre une bonne nodulation. Le coût de la bactérie *Rhizobium* est peu élevé si on le compare à celui des semences. En cas de doute sur la présence de la bactérie *Rhizobium* dans le sol, il est conseillé d'inoculer les semences.

Gestion de la fertilisation

Azote

Les engrais azotés ont un effet sur le rendement des peuplements de cultures fourragères qui contiennent moins de 50 % de légumineuses. Pour en savoir plus, voir le tableau 3-5, *Doses d'azote recommandées sur les cultures fourragères vivaces*.

Les peuplements de graminées contenant moins d'un tiers de légumineuses ont besoin d'azote pour donner un rendement optimal. Si les conditions le permettent, il est généralement plus économique de semer un mélange contenant des légumineuses. Il peut cependant être profitable d'ajouter de l'azote à des peuplements de graminées composés d'espèces fourragères productives; s'ils sont bien gérés, ces peuplements réagiront bien à l'ajout d'azote. Pour les peuplements de graminées (contenant moins d'un tiers de légumineuses), la dose suggérée est de 23 kilogrammes par tonne (45 lb/t. c.) de matière sèche fourragère prévue.

L'apport d'azote augmente aussi la teneur en protéines des graminées. Pour le foin ou les pâturages, faire la première application aussitôt que possible au printemps, lorsque la culture commence à verdifier, puis une deuxième après la première coupe et une troisième après la deuxième coupe. Pour éviter les risques de toxicité par les nitrates, une application d'azote ne peut pas dépasser un taux de 170 kg/ha (150 lb/ac).

Les signes de carence en azote dans les fourrages sont le jaunissement généralisé et le rabougrissement des plants. Ces signes peuvent apparaître d'abord sur les parties basses des plants. Chez les légumineuses, la carence en azote résulte généralement d'une mauvaise nodulation ou du faible pH du sol, ou des deux.

Tableau 3-5 – Doses d'azote recommandées sur les cultures fourragères vivaces

Cultures	Quantité d'azote suggérée
Semis de légumineuses ou d'un mélange légumineuse-graminée	
Sans culture-abri	0 kg/ha
Avec culture-abri	15 kg/ha
Pâturage non amélioré	50 kg/ha
Graminée de semence	90 kg/ha
Foin ou pâturage	
Plus de la moitié en légumineuses	0
Un tiers à un demi en légumineuses	60 kg/ha
Graminées (moins du tiers en légumineuses)	23 kg/t (45 lb/t. c.) de matière sèche prévue
100 kg/ha = 90 lb/ac	

Phosphate et potasse

Les directives pertinentes figurent au tableau 3-6, *Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour les cultures fourragères*, et au tableau 3-7, *Doses de potasse (K_2O) recommandées pour les cultures fourragères*. Elles reposent sur des analyses de sol reconnues par le MAAARO, réalisées avec la méthode axée sur les concentrations convenables, qui consiste à épandre la dose d'éléments nutritifs la plus économique pour une année donnée. Pour plus d'information sur l'utilisation de ces tableaux ou en l'absence d'une analyse de sol reconnue par le MAAARO, voir la section *Directives relatives aux engrais* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Dans le cas d'un semis direct sur un sol nécessitant un apport de phosphate, l'établissement de la culture peut être amélioré par l'épandage d'un engrais riche en cet élément à 5 cm (2 po) sous la semence. À cette fin, on utilise un semoir à céréales muni d'une trémie pour engrais et d'une autre pour les semences de graminées. L'engrais est déposé par les ouvre-sillons et les semences fourragères sont déposées sur un sol bien ferme, juste derrière les ouvre-sillons. Habituellement, on conseille de tasser la surface du sol immédiatement après le semis.

La potasse peut améliorer davantage la persistance des fourrages si elle est ajoutée dans les six semaines précédant le début de la période de repos d'automne. Chez la luzerne, une carence en potasse se manifeste par l'apparition de petits points pâles sur les folioles. Ces points peuvent se trouver n'importe où sur la foliole, mais ils sont habituellement regroupés près

du pourtour (voir photo 3-1). Chez les graminées et les trèfles, ces signes sont moins distinctifs mais se traduisent par un ralentissement de la croissance et une réduction du rendement. Toutefois, une concentration de potassium élevée peut entraîner l'absorption de quantités excessives de cet élément par la luzerne et, par la suite, des problèmes nutritionnels lorsque le fourrage est servi aux vaches laitières avant le vêlage. Dans les sols où la teneur est supérieure à 150 ppm, l'application de potassium n'est pas recommandée parce qu'elle n'améliore pas sensiblement la résistance de la luzerne à l'hiver.



Photo 3-1 – Chez les graminées et les trèfles, les signes de carence en potasse sont moins distinctifs mais se traduisent par un ralentissement de la croissance et une réduction du rendement

Le phosphate, si nécessaire, peut être appliqué en même temps que la potasse ou à un autre moment dans l'année. Les signes de carence en phosphate sont rares et non spécifiques chez les cultures fourragères, mais dans le cas des légumineuses, il peut s'agir d'un rabougrissement et d'une faible survie à l'hiver.

Tableau 3-6 – Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour les cultures fourragères

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE

RE = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium	Au semis avec ou sans culture-abri	Semis en bandes sans culture-abri ¹	Peuplements établis	Pâturage non amélioré
0 à 3 ppm	130 kg/ha (RE)	130 kg/ha (RE)	180 kg/ha (RE)	70 kg/ha (RE)
4 à 5 ppm	110 kg/ha (RE)	110 kg/ha (RE)	120 kg/ha (RE)	60 kg/ha (RE)
6 à 7 ppm	90 kg/ha (RE)	90 kg/ha (RE)	90 kg/ha (RE)	50 kg/ha (RE)
8 à 9 ppm	70 kg/ha (RE)	70 kg/ha (RE)	60 kg/ha (RE)	30 kg/ha (RE)
10 à 12 ppm	50 kg/ha (RM)	50 kg/ha (RM)	30 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)
13 à 15 ppm	30 kg/ha (RM)	40 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)
16 à 20 ppm	20 kg/ha (RM)	30 kg/ha (RM)	0 (RF)	0 (RF)
21 à 25 ppm	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)	0 (RF)	0 (RF)
26 à 30 ppm	0 (RF)	20 kg/ha (RF)	0 (RTF)	0 (RF)
31 à 40 ppm	0 (RF)	20 kg/ha (RF)	0 (RTF)	0 (RTF)
41 à 50 ppm	0 (RTF)	20 kg/ha (RF)	0 (RTF)	0 (RTF)
51 à 60 ppm	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RTF)
61 ppm et plus	0 (RN) ²	0 (RN) ²	0 (RN) ²	0 (RN) ²

100 kg/ha = 90 lb/ac

¹ Seulement pour les semis en bandes effectués directement au-dessus de l'engrais enfoui.

² Quand la cote est « RN », l'application du phosphore sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures fourragères et peut augmenter le risque de carence en magnésium.

Tableau 3-7 – Doses de potasse (K₂O) recommandées pour les cultures fourragères

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle

Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium	Au semis avec ou sans culture-abri	Applications à l'été ou à l'automne sur de nouveaux semis et des peuplements établis
0 à 15 ppm	90 kg/ha (RÉ)	480 kg/ha (RÉ)
16 à 30 ppm	80 kg/ha (RÉ)	400 kg/ha (RÉ)
31 à 45 ppm	70 kg/ha (RÉ)	320 kg/ha (RÉ)
46 à 60 ppm	50 kg/ha (RÉ)	270 kg/ha (RÉ)
61 à 80 ppm	40 kg/ha (RÉ)	200 kg/ha (RÉ)
81 à 100 ppm	30 kg/ha (RM)	130 kg/ha (RÉ)
101 à 120 ppm	20 kg/ha (RM)	70 kg/ha (RM)
121 à 150 ppm	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)
151 à 180 ppm	0 (RF)	0 (RF)
180 à 250 ppm	0 (RTF)	0 (RTF)
251 ppm et plus	0 (RN) ¹	0 (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac		

¹ Quand la cote est « RN », l'application du phosphore sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures fourragères et peut augmenter le risque de parésie post-partum chez les vaches laitières durant le tarissement. Par exemple, l'épandage de potasse dans des sols pauvres en magnésium peut provoquer une carence en magnésium.

Soufre

En Ontario, on observe davantage de carences en soufre (S) dans la luzerne, qui se traduisent par des pertes de rendement considérables. Les signes de carence en soufre sont semblables à ceux d'une carence en azote, soit un jaunissement général des plants. La biodisponibilité du soufre varie d'une année à l'autre, en fonction de la température et des précipitations. Tout comme les nitrates, il peut s'infiltrer sous la zone des racines. Dans le fumier, le soufre est présent sous sa forme élémentaire ou sous une forme lentement assimilable. Les carences en soufre risquent davantage de se manifester dans le Nord-Ouest de l'Ontario, dans les sols pauvres en matière organique et dans ceux qui n'ont pas reçu de fumier depuis quelques années. L'analyse des tissus de luzerne est une méthode diagnostique efficace pour prévoir si l'apport de soufre aura un effet ou non (voir tableau 3-8, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour la luzerne*). Si besoin est, il faut appliquer 5 lb/ac de soufre par tonne de matière sèche prévue. Pour que les plants puissent l'assimiler, le soufre doit être appliqué sous forme de sulfate; c'est donc cette forme qui agit le plus

rapidement sur le rendement. L'application de soufre élémentaire mélangé en vrac avec un autre engrais représente la façon la plus économique à long terme d'apporter du soufre à une culture.

Oligo-éléments

Bore

Le bore est important pour la luzerne, mais il n'est pas nécessaire d'en épandre sur tous les sols. La carence en bore apparaît surtout dans les sols sableux à pH élevé. On conseille souvent d'épandre du bore sur les sols sableux, en particulier sur les loams et les loams sableux de la région située à l'est de l'escarpement du Niagara, jusqu'au comté de Frontenac inclus. La carence en bore est plus fréquente en cas de sécheresse, dans les sols qui s'assèchent rapidement.

À mesure que la carence s'accroît, les jeunes feuilles supérieures commencent à jaunir ou à rougir sur différents plants (voir photo 3-2). La croissance de la luzerne peut être gravement compromise, tout comme sa résistance à l'hiver.

Généralement, il est possible de corriger la carence en bore, ou encore de la prévenir, en épandant à la volée de 1 à 2 kg/ha (0,9 à 1,8 lb/ac) de bore avec un autre engrais (p. ex. de la potasse). Il ne faut pas épandre le bore en bandes au semis.



Photo 3-2 – À mesure que la carence s'accroît, les jeunes feuilles supérieures commencent à jaunir ou à rougir sur différents plants

Tableau 3-8 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour la luzerne

Ces valeurs se rapportent à un plant fauché à une hauteur de coupe normale à la fin du stade du bouton.

LÉGENDE : — = aucune donnée disponible

Élément nutritif	Concentration critique ¹	Concentration normale maximale ²
Azote (N)	—	5,5 %
Phosphore (P)	0,20 %	0,5 %
Potassium (K)	1,70 %	3,5 %
Calcium (Ca)	—	4,0 %
Magnésium (Mg)	0,20 %	1,0 %
Soufre (S)	0,22 %	—
Bore (B)	20,0 ppm	90,0 ppm
Cuivre (Cu)	5,0 ppm	30,0 ppm
Manganèse (Mn)	20,0 ppm	100,0 ppm
Molybdène (Mo)	0,5 ppm	5,0 ppm
Zinc (Zn)	10,0 ppm	70,0 ppm

¹ Prévoir une baisse de rendement due à une carence en un élément nutritif donné lorsque la concentration de ce dernier tombe au niveau critique ou sous celui-ci.

² Les concentrations normales maximales sont plus que suffisantes, mais ne causent pas nécessairement de toxicité.

Autres oligo-éléments

Aucune carence en cuivre, en zinc ou en manganèse n'a jamais été observée dans les cultures fourragères en Ontario.

Analyse des tissus végétaux

Pour l'analyse des légumineuses fourragères, il est conseillé d'échantillonner chaque espèce séparément. Il faut couper le plant à la hauteur de coupe normale, à la fin du stade du bouton (voir tableau 3-8, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour la luzerne*). Cependant les plants soupçonnés d'avoir une carence en éléments nutritifs devront être échantillonnés dès l'apparition des premiers signes. Si l'échantillonnage est effectué à un autre moment que l'épiaison et sur d'autres espèces que la luzerne, il faut prélever dans les zones carencées et dans des zones saines du champ pour permettre des comparaisons. À l'échantillon de tissu végétal, il faut joindre un échantillon de sol prélevé au même endroit et en même temps.

Épandage de fumier sur les cultures fourragères

L'épandage de fumier liquide sur les cultures fourragères permet d'apporter une grande quantité d'éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium et soufre) et d'oligo-éléments. Il est facile à épandre en saison et peut améliorer le rendement et la qualité des fourrages. C'est sur les vieux peuplements de luzerne-graminée que les épandages de fumier donnent les meilleurs résultats. Voici quelques principes généraux :

- Il faut épandre le fumier de manière uniforme aussitôt que possible après la récolte, avant la repousse. Le passage de machinerie sur les nouvelles pousses entraîne une perte de rendement. Si le sol est humide, il faut retarder l'épandage jusqu'à ce que la coupe suivante soit faite.
- L'épandage de fumier liquide de bovins laitiers en quantité idéale (de 33 à 45 m³/ha, soit de 3 000 à 4 000 gal/ac) apporte respectivement environ 56, 50 et 100 kg/ha (50, 45 et 90 lb/ac) d'azote, de phosphate et de potasse.
- Quand il fait beau et chaud, il faut éviter d'épandre du fumier liquide qui fournit plus de 85 kg/ha (75 lb/ac) d'azote ammoniacal, pour éviter de brûler les nouveaux tissus.
- La teneur en azote moyenne du fumier de bovins laitiers (8 % de matière sèche) se compose environ de 50 % d'ammoniac et de 50 % d'azote organique. Plus la matière sèche diminue, plus la quantité d'ammoniac augmente. Il est possible de perdre

deux tiers de l'ammoniac présent dans le fumier. Les pertes les plus importantes ont lieu dans les 24 heures qui suivent l'épandage, et aux endroits où le fumier a été épandu en trop grande quantité (là où des « flaques » se sont formées). S'il pleut après l'épandage, les pertes d'ammoniac seront réduites.

- À moins que sa consistance permette l'application d'une couche mince et uniforme, sans grosses mottes, le fumier solide peut étouffer une culture. En déplaçant le fumier solide de la litière accumulée de l'étable pour l'entreposer temporairement au champ au début du printemps, on peut en améliorer la composition et ainsi permettre un épandage plus uniforme.
- Il faut éviter d'épandre du fumier sur les cultures fourragères destinées à l'ensilage en balles, car il peut y avoir production d'acide butyrique en grande quantité. Le problème ne se pose pas dans le cas de l'ensilage préfané.
- Le foin sec provenant d'une culture fourragère qui a reçu du fumier peut transmettre la maladie de Johne. Il faut éviter d'épandre du fumier sur les peuplements dont les fourrages seront donnés à des jeunes bovins (moins d'un an) pendant la même saison de croissance. L'ensilage des fourrages peut réduire le risque de propagation de la maladie.
- Il faut prélever des échantillons du fumier épandu sur les cultures fourragères et les faire analyser pour calculer les apports en éléments nutritifs provenant du fumier.

Chaulage

Les légumineuses ne tolèrent généralement pas les sols acides. La luzerne donne un rendement très limité sur les sols ayant un pH faible, en partie car la nodulation est mauvaise. Il faut chauler les champs pour augmenter leur pH à au moins 6,7. En deçà de cette valeur, le rendement de la luzerne chute considérablement. La chaux agit lentement sur les sols acides; elle doit donc être appliquée et incorporée un an avant les semis, aux doses recommandées par les rapports d'analyse de sol (voir la section *Acidité du sol et chaulage* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*). L'application de chaux sur des peuplements établis est inefficace.

Récolte et entreposage

Gestion des pâturages

Un pâturage bien géré fournit un fourrage abondant à faible coût. Pour produire un bon pâturage, il faut lui accorder une période de repos pour qu'il se régénère après chaque broutage. Pour optimiser la quantité de fourrage et le rendement du bétail, il faut employer un système de rotation à plusieurs enclos. Idéalement, dans un pâturage, le peuplement consommé par le bétail devrait contenir au moins 35 % de légumineuses. Le choix des espèces fourragères dépend en partie du drainage du sol et de sa texture. Il est souhaitable d'épandre 50 à 75 kg/ha (45 à 67 lb/ac) d'azote sur les pâturages contenant moins de 35 % de légumineuses. L'épandage doit coïncider avec les bonnes conditions de croissance et avec le besoin de plus grandes quantités de pâturage. Pour dépasser cette quantité, il faut faire plusieurs épandages.

Pâturages tournants

Le moment de la mise à l'herbe de printemps doit être choisi en fonction de la croissance des graminées. Il est conseillé de faire paître les espèces précoces telles que le dactyle pelotonné assez tôt pour les empêcher d'atteindre un stade de maturité trop avancé. La rotation des pâturages doit se faire assez rapidement. Plus l'herbe pousse vite, plus la rotation doit être rapide. Dans les pâturages tournants, il est important d'estimer le moment où le bétail sera déplacé en fonction du dernier enclos de la rotation. Au début de la saison de croissance, une rotation complète peut durer 20 jours. Vers la fin de la saison, pour permettre une repousse et un rétablissement suffisants, on peut devoir attendre 40 jours ou plus avant de revenir au même enclos.

Prévention du ballonnement sur les pâturages

Les légumineuses peuvent provoquer le ballonnement chez les ruminants; plus les plants sont jeunes, plus le risque est élevé. Lorsque le pâturage contient plus de 50 % de légumineuses, il est recommandé de prendre certaines mesures pour prévenir le ballonnement :

- Faire en sorte que le bétail soit bien nourri avant d'arriver dans le pâturage;
- Amener le bétail au pâturage lorsque celui-ci est sec et non lorsqu'il est mouillé par la pluie ou par une rosée abondante au début de la matinée;
- Lui offrir du foin riche en tiges pour stimuler le rumen;

- Faire paître les légumineuses lorsqu'elles sont en fleurs;
- Penser à employer un additif alimentaire anti-ballonnement tel que le poloxalène.
- Faire paître de petites superficies à la fois (l'équivalent de la consommation d'une journée) pour inciter le bétail à manger les tiges en même temps que les feuilles météorisantes.

Pour en savoir plus sur la gestion des pâturages, voir la publication 19F du MAAARO, *La culture des pâturages*, qui se trouve à l'adresse ontario.ca/cultures.

Qualité du fourrage

Dans le cas des cultures fourragères récoltées pour l'entreposage, c'est le type de bétail à nourrir qui détermine la qualité du fourrage. Celle-ci doit correspondre aux besoins nutritionnels des animaux. Un troupeau de vaches laitières très productives a besoin d'un fourrage de qualité, c'est-à-dire à forte teneur en énergie et en protéines digestibles. Les valeurs repères pour la luzerne destinée à des vaches laitières très productives sont 20 % de protéines brutes, 30 % de fibres au détergent acide (ADF) et 40 % de fibres au détergent neutre (NDF). Le fourrage doit aussi avoir une valeur de digestibilité des fibres (dNDF) élevée. Pour les vaches de boucherie, le meilleur foin est plus mature et a un rendement plus élevé et, par conséquent, il a une teneur en protéines et une digestibilité plus faibles. Comme bon nombre de chevaux ont des besoins nutritionnels nettement moins élevés, les propriétaires préfèrent le foin plus mature qui renferme davantage de graminées que n'en contient normalement le foin destiné aux vaches laitières. Les chevaux étant sujets aux problèmes respiratoires et aux coliques, le foin qui leur est donné doit absolument être exempt de dommages dus à la pluie, de moisissures et de poussières. Par ailleurs, sur le marché de première qualité, le foin doit avoir une couleur verte et être exempt de mauvaises herbes. Plus loin dans cette section, le terme « qualité nutritionnelle élevée » désigne une teneur élevée en protéines et en énergie digestibles.

Les analyses de laboratoire sur les fourrages sont indispensables pour la mise au point d'une ration alimentaire précise. La teneur en éléments nutritifs varie considérablement selon le type de fourrage, le degré de maturité à la coupe et la bonne préservation.

La fiche technique du MAAARO intitulé *Terminologie de la fabrication des aliments pour animaux et de la nutrition animale* contient de plus amples renseignements sur l'interprétation des rapports d'analyse de fourrages. Pour en savoir plus, visiter le site ontario.ca/cultures.

Mesure de l'énergie digestible de l'ensilage de maïs

L'ensilage de maïs a la particularité d'allier deux composants très différents : les grains très humides et les épis débarrassés des grains. L'énergie digestible doit être élevée pour réduire le besoin en supplément de céréales. La teneur en NDF doit être faible et la valeur de digestibilité des fibres (dNDF) doit être plus élevée pour accroître la prise alimentaire; c'est également le cas de l'énergie.

L'énergie digestible de l'ensilage de maïs dépend principalement des quantités relatives d'amidon et de NDF, et de leur digestibilité. Par le passé, on évaluait l'énergie à partir d'ADF et la prise alimentaire à partir des NDF, mais à elles seules ces valeurs ne prennent pas en compte la digestibilité. De nouvelles méthodes permettent de calculer l'énergie digestible de l'ensilage de maïs avec plus de précision à partir des protéines brutes, des NDF, de la dNDF, de l'amidon, des cendres et des lipides. Il est également possible de calculer la digestibilité de l'amidon à partir de la teneur en eau, des cotes de conditionnement du grain et d'autres tests de digestibilité effectués en laboratoire.

Période de récolte du fourrage

La période de récolte est le facteur le plus important pour la production d'un fourrage de qualité nutritionnelle élevée. La valeur nutritive des cultures fourragères baisse au fur et à mesure qu'elles arrivent à maturité. Après le stade du bouton de la luzerne, la teneur en protéines diminue d'environ 0,2 % par jour et la digestibilité d'environ 0,4 % par jour (voir tableau 3-9, *Digestibilité et teneur en protéines de la luzerne et du brome à divers stades de maturité*). Chez la luzerne et les graminées, la maturité peut varier d'un cultivar à l'autre, ce qui permet d'échelonner la récolte. Un petit retard dans la coupe du fourrage entraîne une forte réduction de sa qualité nutritionnelle. Les choses se compliquent d'autant plus lorsqu'il faut attendre une période de temps sec.

Tableau 3-9 – Digestibilité et teneur en protéines de la luzerne et du brome à divers stades de maturité

Stade de maturité	Date	Digestibilité (%)		Teneur en protéines brutes (%)	
		Luzerne	Brome	Luzerne	Brome
Bouton moyen	4 juin	72,6	73,8	21,5	13,4
Début de floraison (sortie des épis)	20 juin	65,2	67,2	17,0	10,0
Floraison complète	30 juin	62,1	60,6	16,2	6,7
Premières graines	6 juillet	60,9	59,7	15,6	5,8

La période de récolte dépend des besoins nutritionnels du bétail. La coupe de la luzerne effectuée avant le stade du bouton ou au début de celui-ci réduit les rendements et peut affaiblir le peuplement. De plus, une extrême faiblesse des teneurs en fibres peut entraîner des problèmes nutritionnels. Pour ce qui est des graminées, on atteint habituellement un compromis entre le rendement et la qualité au stade du gonflement. Chez les graminées fourragères, la maturité varie d'un cultivar à l'autre. Le dactyle pelotonné précoce commence à épier en premier, généralement suivi de l'alpiste roseau, de la fétuque élevée, du brome inerme et de la fléole. Les cultivars de dactyle pelotonné à maturité tardive arrivent au stade de l'épiaison deux à trois semaines après les cultivars précoces. Les retards dans la récolte du fourrage se traduisent par un meilleur rendement et une plus grande persistance, mais réduisent la qualité du fourrage. Pour les grandes superficies de fourrage, il est conseillé de commencer la coupe plus tôt pour s'assurer de la qualité de ce qui est coupé en dernier.

La deuxième et la troisième coupes de luzerne peuvent se faire à intervalles d'environ 30 jours (milieu du stade du bouton) à 40 jours (début de floraison), voire plus, selon que l'on recherche une qualité élevée ou une persistance et un rendement maximums (voir *Destruction des cultures fourragères par l'hiver*).

Prévoir la qualité de la luzerne dans une culture sur pied

Les méthodes ci-dessous permettent de déterminer à quel moment on peut effectuer la première coupe de luzerne :

- Date du calendrier;
- Stade de développement (milieu du stade de bouton, stade du bouton complet, etc.);
- Hauteur des plants;

- Degrés-jours de croissance (DJ) (voir la section *Degrés-jours de croissance* du chapitre 10, *Dépistage*);
- Équations prédictives de la qualité de la luzerne (ÉPQL), à partir du stade de développement et de la hauteur des tiges;
- Échantillons coupés aux ciseaux;
- Analyse de laboratoire.

De nombreux producteurs laitiers prennent leurs décisions relatives à la coupe en se fondant sur la teneur en NDF comme principale variable de qualité. Pour les vaches laitières très productives, la teneur en NDF optimale de la luzerne pour la prise alimentaire et la fibre alimentaire est d'environ 40 %. Par temps chaud, la teneur en NDF peut augmenter d'environ 0,7 unité par jour, ce qui entraîne une diminution rapide de la qualité nutritionnelle. Si la récolte est effectuée trop tôt, le rendement est moindre, la quantité de fibres alimentaires, limitée, et la quantité de protéines brutes solubles, trop élevée. D'une année à l'autre, la teneur en NDF peut accuser des écarts atteignant 10 % à la même date de coupe. La relation entre le stade phénologique (début ou fin du stade du bouton) et la teneur en NDF peut aussi varier passablement. La méthode des ÉPQL consiste à calculer la teneur en NDF de la luzerne dans une culture sur pied à partir du stade de développement et de la hauteur des tiges. Les estimations de NDF par la méthode des ÉPQL sont inscrites sur une baguette à mesurer facile à lire et dont on peut se servir au champ pour prendre des décisions relatives à la coupe. Pour en savoir plus sur l'utilisation de cette méthode, voir la page *Prévisions de la qualité de la luzerne à l'aide de la méthode des ÉPQL* sur le site Web du MAAARO, à l'adresse ontario.ca/cultures. Certains laboratoires offrent des services d'analyse d'échantillons coupés aux ciseaux avec un temps de roulement court; c'est la méthode la plus précise pour contrôler la qualité des fourrages dans une culture sur pied, en particulier dans les peuplements luzerne-graminée.

Méthodes de récolte des céréales fourragères

On peut conserver un maximum de valeur nutritive en réduisant autant que possible les pertes au champ et à l'entreposage. L'entreposage de foin sec s'accompagne de pertes élevées au champ, mais de pertes relativement faibles à l'entreposage. Par contre, l'entreposage de fourrages pour l'ensilage préfané s'accompagne de pertes réduites au champ, mais de pertes plus importantes lors de la fermentation et de l'entreposage (voir figure 3-2, *Estimation des pertes de foin et d'ensilage préfané à la récolte et à l'entreposage*). Pour l'ensilage préfané et l'ensilage en balles, les conditions météorologiques propices à la récolte (temps sec sans pluie) doivent être réunies pendant un laps de temps beaucoup plus court. Le foin sec peut être facilement transporté et commercialisé, tandis que l'ensilage préfané haché doit être utilisé dans un lieu proche de l'endroit où il est entreposé. Avec l'ensilage en grosses balles, on a l'avantage de pouvoir employer du matériel de fenaison pour le récolter et l'utiliser, même s'il faut aussi disposer d'une enrubanneuse. De plus, les balles n'ont pas besoin d'être entreposées dans un lieu précis. L'ensilage préfané et l'ensilage en balles sont de plus en plus populaires. Pour les grandes superficies de cultures fourragères, il faut s'assurer d'avoir l'équipement adéquat à disposition pour couper, râtelier, mettre en balles ou hacher de grandes quantités de fourrages quand les conditions météorologiques sont réunies.

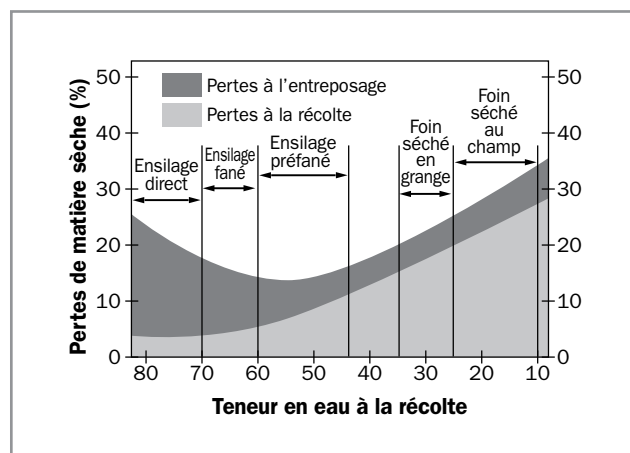


Figure 3-2 – Estimation des pertes de foin et d'ensilage préfané à la récolte et à l'entreposage

Adapté de Hoglund, 1964.

La rapidité du séchage et du fanage est un facteur essentiel dans la production de foin et d'ensilage préfané, car elle permet de diminuer les pertes de sucres dues à la respiration des fourrages et de réduire le risque de dommages dus à la pluie. En Ontario, les périodes sans pluie sont souvent très courtes; il faut donc toujours soit prendre le risque d'attendre que le foin soit assez sec pour faire les balles avant la prochaine pluie, soit faire les balles avant qu'il soit tout à fait assez sec et risquer d'obtenir un produit moisi et poussiéreux. Il faut peser le pour et le contre : dans le premier cas, le conditionnement et le râtelage peuvent entraîner une perte excessive de feuilles, et dans le deuxième, le foin possède une teneur en eau trop élevée et peut être endommagé par la pluie.

Coupe et conditionnement

Les faucheuses à disques sont plus fiables que les faucheuses à barre de coupe lorsque le fourrage est versé ou que les peuplements sont très denses. Elles sont plus rapides, ont une plus grande capacité et sont plus faciles à réparer au champ, mais elles coûtent généralement plus cher.

Les conditionneurs de fourrage broient, crêpent ou battent les tiges et en accélèrent ainsi le séchage. Un séchage plus rapide réduit les risques d'exposition à la pluie et synchronise le séchage des feuilles et des tiges, ce qui peut limiter l'effritement des feuilles. Généralement, les graminées sèchent plus rapidement que les légumineuses. Il faut entretenir et régler les conditionneurs de façon à assurer un conditionnement optimal (voir le manuel d'utilisation).

Après la coupe, il faut laisser des andains étalés aussi larges que possible pour accélérer le séchage et réduire ainsi la perte des sucres par respiration. Les andains étalés larges font baisser la densité des fourrages et l'humidité des andains groupés, et augmenter la surface d'évaporation exposée au soleil. Bon nombre des faucheuses-conditionneuses permettent d'élargir des andains étalés; si ce n'est pas le cas, on peut utiliser un système à ailettes. On peut aussi se servir d'une faneuse après la coupe pour étaler l'andain de façon à ce qu'il ait la même largeur que la faucheuse.



Photo 3-3 – Après la coupe, il faut laisser des andains étalés aussi larges que possible pour accélérer le séchage et réduire ainsi la perte des sucres par respiration

Foin sec

Pertes à la récolte

Plusieurs types de pertes se rapportent à la production de foin sec. Comme les feuilles contiennent environ la moitié de la matière sèche et les deux tiers des protéines, leur perte a un effet prononcé sur la qualité et le rendement.

Respiration

Même après la coupe, les fourrages continuent de respirer et de consommer des sucres jusqu’à ce que leur teneur en eau atteigne un niveau suffisamment bas. Lorsque les conditions permettent un séchage relativement rapide, ces pertes peuvent être réduites au minimum, soit 2 à 8 % de la matière sèche totale (voir photo 3-3). Dans le cas contraire (température basse, humidité élevée, etc.), les plants mettent plus de temps à sécher et les pertes de matière sèche peuvent atteindre 16 %.

Altération

Sur du foin coupé, la pluie stimule la respiration et ajoute considérablement aux pertes. Les éléments nutritifs comme les sucres solubles quittent les feuilles par lessivage, les pertes foliaires augmentent et la croissance microbienne commence. Les dommages dus à la pluie peuvent causer un préjudice plus grand que ce qui figure sur l’analyse de laboratoire. La teneur en sucres très assimilables est réduite, et la teneur en énergie et en protéines digestibles peut diminuer. L’altération a aussi pour effet de réduire la sapidité du foin et la quantité qui sera consommée par les animaux. Les dommages dus à la pluie font augmenter

la quantité de moisissures dans l’andain étalé, ce qui peut nuire à la sapidité du foin et le rendre impropre au marché des chevaux.

Pertes d’origine mécanique

À mesure que le fourrage sèche, les feuilles et les petites tiges deviennent plus cassantes. Toute opération mécanique, comme le râtelage et le fanage, effectuée sur un produit contenant moins de 40 % d’eau, entraîne des pertes de feuilles. Les quantités de feuilles ainsi perdues s’accroissent au fur et à mesure que la teneur en eau diminue. Si possible, il faut râteler le foin lorsqu’il est humide. Pour réduire les pertes de feuilles lorsque le foin contient peu d’humidité, il faut le râteler le matin pendant qu’il y a encore de la rosée, réduire la vitesse des râteaux rotatifs et retourner les andains groupés avec un vire-andains ou un regroupeur d’andains. Les faneuses sont plus souvent utilisées pour les prairies contenant plus de graminées et peuvent provoquer d’importantes pertes de feuilles sur la luzerne à faible teneur en eau. Pour réduire les pertes qui surviennent lors du passage de la ramasseuse-presse et dans la chambre de mise en balles, il est conseillé de rassembler les andains groupés qui sont légers à une teneur en eau plus élevée et d’avancer à la vitesse maximale.

Pertes potentielles à la fenaison

Le tableau 3-10, *Pertes potentielles à la fenaison*, résume les valeurs enregistrées lors de travaux de recherche.

Tableau 3-10 – Pertes potentielles à la fenaison	
Source des pertes	Pertes de matière sèche
Respiration	2 à 16 %
Coupe et conditionnement	2 à 5 %
Râtelage	5 à 25 %
Mise en petites balles	3 à 8 %
Mise en grosses balles	1 à 15 %
Transport	1 à 10 %
Pertes potentielles totales	10 à 71 %

Râtelage et manipulation des andains étalés

Les râteaux rotatifs sont considérés comme les meilleurs outils pour accélérer le séchage, car ils laissent un andain étalé uniforme et aéré. Initialement conçus pour les cultures de graminées, ils peuvent provoquer des pertes de feuilles plus importantes sur la luzerne s’ils ne sont pas utilisés correctement. Leur vitesse de rotation doit être moins grande que la vitesse au sol.

Il faut régler la hauteur de façon à ce que les dents n'incorporent pas de terre dans l'andain groupé, sinon le foin contiendra beaucoup de cendres et de poussière. Les râteaux à roues ont tendance à « lier » l'andain groupé; ce dernier est donc moins aéré et uniforme qu'avec un râteau rotatif et peut contenir des bottes qui mettront plus de temps à sécher. Par contre, les grands râteaux à roues ont une grande capacité et peuvent former un seul andain groupé avec plusieurs andains étalés dans les champs où le rendement est moins élevé. Une fois groupés, les andains peuvent aussi être hachés et transformés en ensilage préfané.

Les faneuses ressemblent aux râteaux rotatifs, mais elles élargissent les andains étalés au lieu de les rassembler pour en faire un andain groupé. On utilise souvent une faneuse peu après la coupe pour élargir l'andain étalé au maximum, sans toutefois rouler dessus, ce qui permet d'accélérer le séchage. Lorsque la teneur en eau est faible (moins de 50 %), la faneuse convient mieux aux graminées qu'à la luzerne, car elle risque de provoquer d'importantes pertes de feuilles.

On utilise parfois des conditionneurs pour manipuler l'andain étalé et accélérer le séchage. Lorsque le foin n'est pas tout à fait prêt à être mis en balles, la couche inférieure de l'andain étalé a souvent du mal à sécher. Pour prévenir les pertes de feuilles qui pourraient survenir avec le râtelage d'un fourrage à faible teneur en eau, on peut utiliser un vire-andains ou un regroupeur d'andains afin de retourner l'andain étalé de manière plus délicate pour qu'il puisse sécher au soleil.

Pertes liées à l'entreposage

Le foin qui est assez sec et qui est entreposé au-dessus du sol sous un couvert protecteur subit normalement un minimum de pertes à l'entreposage. Le foin qui est mis en balles avant d'être suffisamment sec présente des risques d'altération provoquée par la formation de moisissures et de bactéries. La croissance microbienne et le phénomène de respiration entraînent la métabolisation des sucres dans le foin, ce qui produit de la chaleur et davantage d'humidité. Au bout du compte, le foin est de mauvaise qualité, moisi, poussiéreux, et il perd de sa digestibilité et de sa sapidité. L'échauffement du foin augmente aussi les risques de combustion spontanée. L'importance des dommages subis dépend :

- de la teneur en eau du foin;
- de la densité des balles et de leur empilage plus ou moins serré à l'entreposage;
- de la ventilation des installations d'entreposage;
- de la température et de l'humidité de l'air ambiant.

Le tableau 3-11, *Guide des teneurs en eau à l'entreposage et poids approximatif des balles*, donne les valeurs à respecter pour l'entreposage de différents types de balles.

Il est très important d'assurer une bonne gestion du foin à l'entreposage pour qu'il sèche continuellement. Lorsqu'on met du foin en balles et qu'on l'entrepose, l'humidité des balles s'évapore; c'est ce qu'on appelle couramment la « transpiration » ou le fanage. Il faut assurer une bonne ventilation des installations d'entreposage pour que cette humidité se dissipe le plus rapidement possible. Pour ce faire, on peut placer les balles en rangées sur des plates-formes ou des palettes et les espacer. Au début, le métabolisme des plants se poursuit un peu, ce qui produit de la chaleur et de l'humidité. Dans du foin qui vient d'être mis en balles, il n'est pas rare de voir la teneur en eau grimper légèrement et la température gagner 5 °C par rapport à la température ambiante du jour de mise en balles. Au bout d'un moment, la teneur en eau et la température devraient commencer à baisser. Toutefois, si elles continuent à grimper, c'est qu'il y a une croissance microbienne importante dans le foin. Pour surveiller l'apparition d'un éventuel échauffement, il faut mesurer ces deux paramètres avec un humidimètre et une sonde thermométrique.

Échauffement du foin et combustion spontanée

Le phénomène d'échauffement et de combustion spontanée survient lorsqu'il y a suffisamment d'humidité, d'oxygène et de matière organique pour permettre la croissance de bactéries et de moisissures. Cette réaction peut être autonome. Il peut y avoir inflammation lorsque la température est suffisamment élevée. La combustion spontanée du foin survient habituellement pendant les deux premiers mois de l'entreposage.

Tableau 3-11 – Guide des teneurs en eau à l'entreposage et poids approximatif des balles

Type de balles	Taille	Teneur en eau à l'entreposage	Poids approximatif (lors de son utilisation) ¹
Petites balles rectangulaires	~ 0,9 x 0,38 x 0,45 m (~ 3 x 1,25 x 1,5 pi)	15 à 18 %	22 à 35 kg (50 à 75 lb)
Grosses balles rondes – centre moins dense	1,2 x 1,5 m (4 x 5 pi)	13 à 16 %	180 à 275 kg (400 à 600 lb)
Grosses balles rondes – centre plus dense	1,2 x 1,5 m (4 x 5 pi)	12 à 15 %	385 à 408 kg (~ 850 à 900 lb)
Grosses balles rondes – centre plus dense	1,5 x 1,8 m (5 x 6 pi)	12 à 15 %	690 à 910 kg (~ 1 500 à 2 000 lb)
Grosses balles rectangulaires	0,9 x 0,9 x 2,1 m (3 x 3 x 7 pi)	12 à 15 %	~ 50 kg/m linéaire (~ 110 lb/pi linéaire)
Grosses balles d'ensilage	1,2 x 1,2 m (4 x 4 pi)	55 %	545 kg (1 200 lb)
Grosses balles d'ensilage	1,2 x 1,5 m (4 x 5 pi)	55 %	690 à 910 kg (1 500 lb)

Source : Clarke et Stone, MAAARO, 2016.

¹ Le poids d'une balle varie selon sa teneur en eau, sa densité et sa proportion de graminée-luzerne.

Le premier signe d'échauffement du foin est généralement une odeur de tabac à pipe, et parfois un dégagement de vapeur provenant de la grange. On peut mesurer la température du foin avec une sonde thermométrique ou un humidimètre électronique. Voici quelques repères utiles :

- 65 °C – **Début de la zone dangereuse.** Mesurer la température tous les jours.
- 70 °C – **Danger!** Inspecter toutes les quatre heures pour voir si la température monte.
- 80 °C – **Possibilité de formation de poches de feu.** Appeler le service des incendies.
- 100 °C – **Situation critique!** Il y aura combustion en présence d'oxygène.

Pour en savoir plus, voir la publication 837F du MAAARO, *Réduction des risques d'incendie à la ferme*, à l'adresse ontario.ca/cultures.

Conservation du foin à l'aide de propionate

Le foin mis en balles avant d'être suffisamment sec présente des risques de dommages dus à la pluie et de formation de moisissures. Pour prévenir ces risques, de nombreux producteurs de foin ont recours à des produits tamponnés à base de propionate (acide propionique), en vente dans le commerce. Il est souvent difficile de parvenir à un séchage complet. Les agents de conservation sont particulièrement utiles dans le cas des balles plus denses, comme les grosses balles rectangulaires, qui sont plus sujettes à la formation de moisissures si elles ne sont pas sèches.

Le propionate empêche la croissance de moisissures aérobies et l'échauffement pendant que les balles « transpirent » et « sèchent » par dissipation et évaporation et descendent à des teneurs en eau sans danger. Il ne faut pas confondre les agents de conservation du foin à base de propionate avec les enzymes, les inoculants bactériens ou les additifs alimentaires, qui diffèrent par leur mode d'action et leur efficacité. Les agents de conservation du foin sont homologués par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). Il faut bien lire l'étiquette et respecter les doses et les instructions indiquées. Les produits à base de propionate sont désormais tamponnés à un pH d'environ 6,0. Ils sont donc plus sécuritaires à utiliser que les premiers produits, qui, eux, n'étaient pas tamponnés. Ils peuvent aussi contenir de l'acide acétique et citrique. Le foin traité au propionate peut être donné au bétail sans danger. Le propionate et l'acétate sont des acides organiques également produits par les micro-organismes du rumen (et dans le cæcum et le colon des chevaux) pendant la digestion.

Il faut pulvériser les agents de conservation à base de propionate sur le foin au moment où il entre dans la ramasseuse-presse. Les systèmes de pulvérisation simples sont constitués d'un réservoir, d'une pompe et de buses. Il faut appliquer la dose qui convient au type de balle et à la teneur en eau, et effectuer une pulvérisation uniforme. Comme la quantité d'agent de conservation à employer dépend de la teneur en eau du foin au moment de la mise en balles, il est essentiel de mesurer celle-ci avec précision. La teneur

en eau peut varier grandement dans un même andain étalé; il peut donc y avoir des zones humides qui ne seront pas traitées correctement. Il se peut que les humidimètres à main ne soient pas assez précis pour mesurer convenablement les variations de teneur en eau, et qu'ils ne permettent donc pas de calculer la dose d'agent de conservation requise. Dans ce cas, il vaut mieux ajuster la dose en fonction de la teneur en eau maximale mesurée, et non de la teneur moyenne. Il existe des systèmes informatisés comportant des capteurs d'humidité à l'intérieur de la chambre qui ajustent automatiquement les doses. Désormais, les ramasseuses-presses qui produisent des grosses balles rectangulaires en sont presque toujours équipées. Il faut impérativement entreposer correctement les balles (à l'intérieur, au-dessus du sol sur des palettes ou sur une couche de vieux foin, avec une bonne ventilation) pour que l'humidité s'évapore des balles traitées au propionate et se dissipe rapidement.

Entreposage du foin

Compte tenu de l'augmentation de la valeur des terres, des coûts de production du foin et du prix du foin, il est de plus en plus important de préserver la valeur du foin en l'entreposant correctement. L'entreposage de foin dehors, à même le sol, se traduit par des pertes impressionnantes. Si le coût d'investissements d'une structure d'entreposage de foin est amorti sur 15 à 20 ans, le coût de production supplémentaire est généralement nettement moins élevé que le coût des pertes qui peuvent survenir si le foin n'est pas correctement entreposé. Si les balles de foin sont entreposées à l'intérieur, mais qu'elles sont placées directement sur un plancher en béton ou en graviers, elles se détérioreront, car l'humidité se condensera dans la partie inférieure. Il faut entreposer les balles au-dessus du sol, par exemple sur des palettes ou sur une couche de vieux foin.

Si on entrepose de grosses balles rondes dehors, au-dessus du sol, il faut les recouvrir d'une bâche pour réduire les risques de détérioration. Dans une balle ronde de 1,5 m (5 pi) de diamètre, 19 % du foin se trouve dans la couche externe de 8 cm (3 po), et 36 %, dans la couche externe de 15 cm (6 po). Placées à même le sol, les balles absorbent l'humidité et s'abîment considérablement. Il faut donc les mettre au-dessus du sol, par exemple sur des palettes ou sur de la pierre concassée. L'entreposage à l'extérieur doit se faire dans un endroit bien drainé. C'est bien connu, en cas de tempête, les bâches qui enveloppent les balles restent difficilement en place. De plus, après

la mise en balles, il n'y a pas assez de ventilation sous la bâche pour permettre à l'humidité de s'échapper, ce qui peut ralentir et réduire le fanage. Quant aux balles rectangulaires, qu'elles soient petites ou grosses, il faut les entreposer à l'intérieur pour éviter qu'elles se détériorent.

Il faut retirer rapidement les balles du champ pour qu'elles ne soient pas endommagées par la pluie et qu'elles n'absorbent pas l'humidité du sol, et pour éviter d'abîmer les repousses fourragères par le passage de la machinerie. Pour maintenir leur qualité, il faudrait retirer les grosses balles rectangulaires du champ le jour même de la mise en balles.

Pertes à l'affouragement

Les pertes de foin sec à l'affouragement peuvent être assez importantes; elles peuvent atteindre 50 % lorsque des bovins sont affouragés sur le sol plutôt que dans une mangeoire. Les mangeoires coniques et circulaires produisent moins de pertes que les crèches ou les mangeoires mobiles. Les ramasseuses-presses équipées de couteaux qui coupent le foin avant son entrée dans la chambre permettent de réduire le gaspillage lors de l'affouragement, car la quantité de foin retirée de la mangeoire et piétinée est moins importante. Compte tenu de la hausse des coûts de production du foin, l'achat de mangeoires bien conçues est très vite amorti.

Foin pour chevaux

Les paramètres de qualité du foin pour chevaux ne sont pas tout à fait les mêmes que pour le bétail et les moutons. Bon nombre de propriétaires de chevaux jugent la qualité du foin principalement par sa couleur verte, qui indique qu'il a séché rapidement et est exempt de moisissure, de poussière et de mauvaises herbes. Le foin qui n'est pas assez sec au moment de la mise en balles moisit et devient poussiéreux, ce qui peut provoquer de graves problèmes respiratoires chez les chevaux, ainsi que des coliques. Un bon foin pour chevaux ne doit pas avoir été exposé à la pluie. La plupart des chevaux n'ont pas besoin de foin riche en protéines, et dans de nombreux cas les chevaux d'équitation n'ont pas de grands besoins énergétiques. On leur donne souvent un mélange de fléole-luzerne. Le foin pour chevaux peut généralement être récolté plus tard dans la saison de fenaison, à un degré de maturité plus avancé; cela permet de disposer d'une certaine latitude pour la fenaison et de réduire les risques d'exposition à la pluie.

Il y a une bonne demande pour le foin pour chevaux en petites balles rectangulaires, parce que de nombreux propriétaires ne disposent pas de l'équipement nécessaire à la manutention de grosses balles. Il existe également un marché national et d'exportation en forte croissance pour les grosses balles rectangulaires. Pour produire du foin pour chevaux de qualité en grosses balles rectangulaires, il faut être en mesure de le mettre en balles et de l'entreposer quand il est suffisamment sec, pour qu'il conserve sa couleur verte et qu'il ne moisisse pas. Mais avec les grosses balles, on peut produire nettement plus de foin quand le temps est au beau fixe. Pour en savoir plus sur le foin pour chevaux, visiter le site Web du MAAARO à l'adresse ontario.ca/cultures.

Ensilage en balles (grosses balles d'ensilage préfané)

L'ensilage en balles permet la mise en balles d'ensilage préfané à tige longue à des teneurs en eau plus élevées; on emballe alors les balles avec du plastique pour qu'elles deviennent anaérobies. Même si des précautions s'imposent pour éviter la formation de moisissures, il s'agit d'une solution simple pour entreposer un fourrage d'excellente qualité. Lorsqu'il est bien fait, l'ensilage en balles peut avoir une qualité nutritionnelle très élevée et une bonne sapidité. Cette méthode permet de procéder à des coupes de manière plus intensive et régulière, car elle réduit les risques de dommages dus à la pluie qui pourraient survenir lors des périodes de récolte plus courtes. De nombreux producteurs en font leur principal système d'entreposage, mais il peut aussi s'agir d'une solution de rechange souple lorsque les conditions météorologiques ne permettent pas un séchage adéquat ou lorsque les silos sont pleins. Avec cette méthode, on peut utiliser le matériel qui sert à la fenaison, à savoir les mangeoires ainsi que les ramasseuses-presses à grosses balles rondes et à grosses balles rectangulaires. Toutefois, des machines plus lourdes et des tracteurs à quatre roues motrices pourraient s'avérer nécessaires pour la manipulation des balles d'ensilage plus pesantes.

Par ailleurs, il faut absolument tenir compte du coût et de l'élimination des pellicules de plastique. Généralement, on peut justifier ces coûts dans la mesure où ils augmentent les teneurs en énergie et en protéines du fourrage entreposé, réduisent les pertes à la récolte et suppriment le besoin d'installations d'entreposage supplémentaires. De nombreuses municipalités offrent des programmes de recyclage

du plastique qui a servi à l'enrubannage des balles. Pour en savoir plus, voir la fiche technique du MAAARO intitulée *Le recyclage des films plastiques utilisés sur la ferme* à l'adresse ontario.ca/cultures.

Avec l'ensilage en balles, la fermentation est moins longue, voire incomplète, par rapport à l'ensilage préfané haché, et le pH n'est pas aussi bas (environnement moins acide). Pour prévenir la formation de moisissures et la détérioration du fourrage, le fourrage doit être davantage maintenu dans des conditions d'anaérobie (absence d'oxygène) et être enveloppé de plastique de qualité. Il en résulte un ensilage plus instable que l'ensilage préfané traditionnel. La durée de l'entreposage et le temps pendant lequel les balles sont exposées à l'oxygène avant d'être consommées doivent être ajustés en fonction des conditions.

Suivre les pratiques de gestion suivantes :

- Faire des balles denses, fermes et uniformes. Les grosses balles rectangulaires sont généralement plus denses que les rondes. Les ramasseuses-presses équipées de couteaux qui coupent le foin avant son entrée dans la chambre produisent des balles plus denses.
- Faire les balles quand leur teneur en eau s'élève entre 40 et 55 %. Il vaut mieux que le foin soit trop sec plutôt que trop humide. Les teneurs en eau plus faibles (25 à 35 %) peuvent donner de bons résultats, notamment avec les grosses balles rectangulaires, mais dans ce cas les risques d'altération sont plus grands. Il est primordial d'ajouter du plastique pour que l'enrubannage assure une protection hermétique.
- Ne pas lésiner sur le plastique! Les balles doivent être emballées hermétiquement avec au moins 6 mils de pellicule de plastique. Pour que la pellicule résiste aux déchirures, il est préférable de choisir une épaisseur d'au moins 8 mils, notamment dans le cas des balles plus sèches.
- Emballer les balles rondes dans les deux heures qui suivent leur confection par temps chaud et dans les quatre à douze heures lorsqu'il fait plus frais. Les grosses balles rectangulaires supportent mieux les retards d'emballage.
- Éviter d'emballer du foin qui a été sous la pluie.
- Ne pas mettre de terre dans l'andain groupé en passant le râteau sur le sol, sans quoi le fourrage pourrait être infecté par la bactérie *Clostridia*, ce qui nuirait à sa fermentation. Éviter les champs où l'on a épandu du fumier depuis la coupe précédente.

- Éviter le foin mûr à faible teneur en sucres.
- Prendre en compte qu'il est généralement plus facile de faire de l'ensilage en balles avec des graminées précoces qu'avec de la luzerne.
- Bien vérifier qu'il n'y a pas de déchirures ou de perforations dans le plastique, et les réparer s'il y en a.

Ensilage préfané et ensilage de maïs

L'entreposage du fourrage sous forme d'ensilage préfané plutôt qu'en balles présente divers avantages, notamment :

- la réduction des pertes à la récolte;
- la capacité à récolter une superficie plus grande plus rapidement;
- la réduction de la dépendance à l'égard des bonnes conditions de séchage, ce qui permet de faucher la récolte au degré de maturité souhaité.

L'ensilage du maïs se pratique beaucoup du fait de son rendement, de la rapidité du produit et de sa teneur élevée en énergie, et parce qu'il peut être récolté en une seule fois.

Modes d'entreposage des ensilages

Voici les modes d'entreposage les plus courants pour les ensilages :

- silo vertical (silo-tour) – traditionnel, hermétique (limitant l'oxygène);
- silo horizontal – silo-couloir, silo-meule, silo-boudin;
- grosses balles d'ensilage préfané (ensilage en balles).

Moment de la récolte de l'ensilage de maïs

Pour obtenir un ensilage de maïs de qualité, il faut le récolter à la bonne teneur en eau. Pour le maïs plante entière, c'est généralement à une teneur en eau allant de 65 à 70 % que la fermentation de l'ensilage se fait dans les meilleures conditions et que le rendement de l'élevage est optimal. Cette teneur convient bien aux silos horizontaux et aux silos-boudins; cependant dans le cas des silos verticaux, l'ensilage doit être un peu plus sec si l'on veut prévenir le suintement (voir *Maintien de la bonne teneur en eau*).

Ligne d'amidon

On s'est souvent fondé sur la « ligne d'amidon » des grains pour évaluer le moment où il faut récolter le maïs à ensilage, mais cette méthode a ses limites. Pour

ce faire, il faut casser une rafle en deux et examiner les grains. Dès l'apparition de la dent (ligne d'amidon à 0 % de la hauteur du grain), il apparaît sur le grain une ligne blanchâtre qui constitue la démarcation entre la zone laiteuse et la zone pâteuse. Elle se déplace du pourtour du grain vers la rafle au fur et à mesure que celui-ci approche de la maturité et s'assèche. Lorsqu'elle atteint la rafle (ligne d'amidon à 100 % de la hauteur du grain), un point noir apparaît. Habituellement, on récolte le maïs quand la ligne d'amidon se situe entre la moitié et les deux tiers de la hauteur du grain.

Les plants de maïs durement touchés par le stress thermique et dépourvus de rafles n'ont pas de ligne d'amidon qui peut être utilisée pour obtenir des estimations; toutefois, ces plants présentent souvent des teneurs en eau plus élevées que l'interprétation qu'on en fait. De plus, il peut être parfois difficile d'estimer avec précision la teneur en eau des plants entiers à partir de la ligne d'amidon lorsque le maïs a subi des dommages dus au gel. Les différences entre hybrides faussent également les estimations de la teneur en eau à partir de la ligne d'amidon. Les hybrides de maïs possèdent des degrés variables de « tenue en vert ». Une bonne tenue en vert signifie que le grain s'assèche plus rapidement que les épis débarrassés des grains. Cette caractéristique est recherchée pour les hybrides de maïs-grain parce qu'à mesure que les grains sèchent, les tiges restent vertes et saines, et elles sont moins vulnérables aux cassures et à la verse en fin de saison. Les hybrides mis au point strictement pour l'ensilage affichent une moins bonne tenue en vert, de façon à ce que la teneur en eau du grain soit plus élevée que celle de la plante entière. En d'autres mots, les hybrides qui ont une bonne tenue en vert présentent des lignes d'amidon plus avancées que ne le laisseraient croire les teneurs en eau des plantes entières. Les hybrides destinés uniquement à l'ensilage possèdent une moins bonne tenue en vert et sont habituellement prêts à être récoltés quand la ligne d'amidon est moins avancée. Il est conseillé de s'adresser au représentant du fournisseur de semences pour lui demander quelles sont les recommandations d'usage relatives à la ligne d'amidon pour estimer la teneur en eau d'un hybride donné.

Mesure de la teneur en eau

La méthode la plus précise pour déterminer le moment de la récolte du maïs à ensilage est de mesurer directement sa teneur en eau.

1. Prélever au moins 10 plants du champ en évitant les tournières. Se méfier de la variabilité de l'humidité dans un même champ.
2. Hacher un échantillon au moyen d'une récolteuse ou d'une déchiqueteuse mobile. Plus l'échantillon est haché finement, plus il sèche facilement et plus le résultat est précis.
3. Utiliser un doseur d'humidité commercial pour fourrages et un four à micro-ondes ou faire appel à un laboratoire pour déterminer le pourcentage de matière sèche. Il se peut que les doseurs et les fours à micro-ondes n'enlèvent pas toute l'humidité résiduelle de l'échantillon, et ils peuvent même mener à une sous-estimation de la teneur en eau d'environ 2 à 3 %. La méthode la plus précise consiste à envoyer un échantillon par livraison express à un laboratoire d'analyse des fourrages pour que l'on en fasse le séchage au four.

Peu après l'apparition de la dent, lorsque la ligne d'amidon est à environ 20 %, il est possible de calculer la teneur en eau de la plante entière. Au cours d'une année normale, à ce stade, le maïs à ensilage perd environ 0,5 % d'humidité par jour. Ainsi, si l'échantillon a une teneur en eau de 70 % et que valeur cible est de 65 %, il faut récolter le maïs environ 10 jours après l'échantillonnage. Le séchage est plus rapide les années sèches et que les années humides. Au besoin, on peut vérifier la teneur en eau à nouveau avant la récolte.

Calcul du nombre approximatif de jours requis pour atteindre la teneur en eau souhaitée : $70 \% \text{ (teneur actuelle)} - 65 \% \text{ (teneur souhaitée)} = 5 \% \div 0,5 \% \text{ (diminution de la teneur par jour)} = 10 \text{ jours}$

Fermentation de l'ensilage

Lorsqu'on place des fourrages dans un silo, le milieu est aérobie (l'ensilage contient de l'oxygène). La respiration des plants et les bactéries aérobies convertissent les glucides en dioxyde de carbone, en eau et en chaleur, et consomment l'oxygène présent. Cette phrase doit être aussi courte que possible.

L'ensilage devient alors anaérobie (sans oxygène). En se multipliant, les bactéries anaérobies transforment par fermentation les sucres en acides organiques

(principalement en acide lactique et acétique) et, entre autres, en dioxyde de carbone, en chaleur et en eau. Cette conversion biologique de plants frais en ensilage fermenté se traduit également par des pertes par fermentation (« tassement ») de matière sèche et d'énergie. Si la fermentation est rapide, efficace et caractérisée par la production d'acide lactique par les bactéries lactiques, ces pertes seront minimales. En deux à quatre semaines, le pH de l'ensilage se stabilise entre 3,8 et 4,5, et toute activité bactérienne et enzymatique cesse. Une fois le pH stabilisé, il n'y a plus aucun risque de dégradation des éléments nutritifs ou d'altération, de sorte que l'ensilage peut se conserver pendant de longues périodes à condition que l'air (plus précisément, l'oxygène) n'y pénètre pas.

Pertes d'ensilage liées à l'entreposage **Pertes dues à la respiration**

Au moment de la récolte et de l'ensilage des plants, les cellules végétales continuent de respirer, ce qui entraîne une dégradation des sucres et autres glucides. Si le flétrissement des plants et le remplissage du silo se font rapidement, ces pertes sont réduites.

Pertes dues à la fermentation

On parle de bonne gestion du silo quand on vise à réduire au minimum cette perte de matière sèche et d'énergie, plus communément appelée « tassement », qui peut être considérable. Le tassement réduit aussi bien le rendement que la qualité nutritionnelle. Les facteurs suivants nuisent à la fermentation ou la prolongent, ce qui entraîne des pertes plus importantes :

- Remplissage du silo trop lent;
- Mauvais tassage;
- Mauvaise couverture;
- Mauvaise teneur en eau à la récolte;
- Présence insuffisante d'inoculants (bactéries lactiques).

Pertes par suintement

Lorsqu'on met du fourrage trop humide dans un silo, un liquide peut s'échapper du fourrage. Ces effluents entraînent des sucres et d'autres éléments nutritifs. De plus, ils peuvent provoquer une corrosion excessive des parois du silo, et même causer son effondrement. Les effluents d'ensilage peuvent aussi tuer les poissons s'ils s'écoulent dans un cours d'eau (voir la fiche technique du MAAARO, *Bien gérer les effluents d'ensilage*, à l'adresse ontario.ca/cultures).

Échauffement

L'échauffement des plants provoque la combinaison des sucres et des protéines en composés indigestibles; il en résulte une « torréfaction » (brunissement de l'ensilage) et une réduction de la digestibilité des protéines. Dans des cas extrêmes, quand l'ensilage est trop sec ou que de l'air y pénètre continuellement, il y a risque d'incendie du silo provoqué par une combustion spontanée. De tels incendies peuvent se déclarer à n'importe quel moment de l'année et sont pratiquement impossibles à éteindre.

Détérioration superficielle

Il importe de couvrir rapidement les silos horizontaux de manière hermétique pour réduire la détérioration et les pertes de matière sèche provoquées par l'exposition à l'oxygène (croissance des levures, des moisissures et des bactéries aérobies) et par les précipitations qui lessivent les acides organiques et les éléments nutritifs solubles de l'ensilage. Les pertes de matière sèche peuvent atteindre 30 % lorsque le silo n'est pas couvert.

Pertes à l'affouragement

Lorsqu'on ouvre le silo pour servir le produit aux animaux, l'ensilage peut diminuer considérablement en qualité et en valeur nutritionnelle, et se détériorer. Ces pertes sont dues aux levures et aux moisissures qui s'activent quand l'ensilage est de nouveau exposé à l'oxygène. Des pertes secondaires peuvent survenir à la surface du silo ou lors de l'affouragement. Il faut réduire au minimum la durée de l'exposition de l'ensilage à l'oxygène en assurant une bonne gestion du front d'attaque et de bons débits d'approvisionnement.

Pratiques recommandées en matière d'ensilage

Maintien de la bonne teneur en eau

- silo vertical traditionnel : 60 à 65 %;
- silo horizontal : 60 à 70 %;
- silo hermétique : 50 à 60 %;
- silo-boudin : 60 à 70 %;
- grosses balles d'ensilage préfané enveloppées : 40 à 55 %.

Remplissage rapide et tassage des silos horizontaux

Si l'ensilage est trop sec, il se tasse mal, l'air y pénètre, la fermentation se fait mal et il chauffe. Le produit récolté à une teneur en eau supérieure à 70 % peut donner lieu à un suintement et à une fermentation clostridiale indésirable qui produit de l'acide butyrique et provoque d'importantes pertes de matière sèche; il en résulte également une dégradation de la qualité fourragère, de la sapidité et de la prise alimentaire.

Longueurs de coupe conseillées

Le hachage fin facilite le tassage et l'expulsion de l'air, mais l'ensilage doit avoir une teneur en fibres au détergent neutre physiquement efficaces (peNDF) adéquate pour ne pas nuire au fonctionnement du rumen. La longueur réelle des particules diffère de la longueur de coupe théorique; elle peut être vérifiée au moyen d'un séparateur.

Pour l'ensilage préfané, on conseille généralement une longueur de coupe théorique de 10 mm (0,4 po). Par contre, un ensilage à faible teneur en eau pourrait nécessiter une longueur plus courte pour permettre un tassage adéquat. Bien qu'elle joue un rôle important dans le cas des silos verticaux et hermétiques, la longueur de coupe revêt souvent une importance encore plus grande dans les silos horizontaux. Les lames des récolteuses doivent être bien aiguisées et réglées convenablement. Un hachage trop fin n'améliore pas le tassage et nécessite plus d'énergie mécanique; par ailleurs, une faible teneur en peNDF peut entraîner des problèmes nutritionnels.

Les « éclateurs de grain » d'ensilage de maïs sont munis de rouleaux qui brisent les rafles, ouvrent les grains et hachent les tiges. On suggère une longueur de coupe théorique de 19 mm (0,75 po) avec un éclateur de grain, et de 100 mm (0,4 po) sans éclateur. Il est d'autant plus préférable d'utiliser un éclateur si le grain est relativement sec, dur et texturé, car il permet d'accroître la digestibilité de l'amidon.

Le tassage est généralement l'étape la plus négligée dans le remplissage des silos-couloirs. Un tassage dense réduit les pertes de matière sèche, la croissance des levures et des moisissures, les problèmes de chauffage et les coûts d'entreposage. L'objectif est d'arriver à une densité d'au moins 272 kg/m³ (17 lb/pi³) de matière sèche pour l'ensilage de maïs, et d'au moins 240 kg/m³ (15 lb/pi³) pour l'ensilage préfané.

En remplissant le silo le plus rapidement possible, on réduit l'exposition de l'ensilage à l'air et aux précipitations. Les silos-couloirs devraient être remplis de l'arrière vers l'avant de sorte à créer une sorte de rampe (pente de ratio 1:4), plutôt que de bas en haut. Pour éliminer le plus d'air possible et arriver à une densité d'ensilage élevée, il faut tasser l'ensilage en couches minces d'au plus 15 cm (6 po). On doit impérativement utiliser un tracteur assez lourd et prendre le temps de bien tasser l'ensilage. Il faudra peut-être utiliser un tracteur plus gros ou plusieurs tracteurs pour augmenter le temps de tassage par

tonne. Enfin, il faut prendre les précautions qui s'imposent pour éviter que le tracteur ne renverse.

Herméticité

Il est crucial de couvrir hermétiquement les silos horizontaux avec une toile de plastique blanche opaque aux rayons UV de 6 à 8 mils pour ensilage, qui doit être solidement maintenue en place pour éviter que de l'air pénètre dans l'ensilage. Il faut bien fixer la toile pour éviter qu'elle ne flotte au vent et n'agisse comme un soufflet en augmentant la circulation d'air à la surface de l'ensilage. On peut obtenir de très bons résultats en y plaçant de vieux pneus découpés, rapprochés les uns des autres. On peut aussi se procurer des sacs de nylon remplis de sable ou de gravier. Pour sceller les bords de la toile, il est possible d'utiliser de la terre, de la chaux agricole ou des sacs de sable. Il ne faut pas que les sacs reposent contre les parois du silo, car l'effet de tassement crée des poches d'air sous la toile.



Photo 3-4 – En couvrant hermétiquement l'ensilage pour empêcher l'air et l'eau d'y pénétrer, on réduit les risques d'altération

Il est important d'empêcher la pluie de s'introduire entre l'ensilage et les parois du silo-couloir. L'ensilage qui se trouve dans les angles inférieurs du tas, contre la paroi, devient généralement trop humide. Un taux d'humidité trop élevé entraîne la production d'acide butyrique, ce qui réduit la sapidité du fourrage, accroît les pertes et peut provoquer une cétose subclinique chez les vaches laitières. Il faut former le tas et placer la toile de plastique de façon à éloigner l'eau de pluie de l'ensilage et de l'empêcher de couler le long des parois.

Fermentation complète

La fermentation de l'ensilage dure au moins trois semaines. Pour garantir la stabilité de l'ensilage et maximiser la durée de conservation pour l'alimentation du bétail, il ne faut pas prélever le contenu du silo avant que la fermentation soit achevée.

Enlèvement rapide pour limiter la détérioration

La nouvelle exposition de l'ensilage à l'air lors de l'affouragement peut provoquer la croissance de moisissures, de levures et de bactéries aérobies. Si le débit d'approvisionnement est lent, les risques d'altération due aux organismes aérobies sont accrus. Par temps chaud et humide, il faut des débits d'approvisionnement plus grands pour éviter l'altération. La taille des silos doit être calculée en conséquence. Il faut vider les silos verticaux à raison d'au moins 5 cm (2 po) par jour en hiver et de 7 à 10 cm (2,75 à 4 po) par jour en été. Les silos horizontaux doivent être vidés d'au moins 10 à 15 cm (4 à 6 po) par jour selon la saison. Lors des chaudes journées d'été, il peut être nécessaire de multiplier ce chiffre par deux pour éviter de trop grosses pertes. L'affouragement d'ensilage moisi n'est pas recommandé parce qu'il réduit la prise alimentaire et peut causer des problèmes nutritionnels.

Prévention de l'altération par la gestion de la surface de l'ensilage

La surface de l'ensilage doit rester compacte et lisse pour limiter la pénétration de l'air. On peut aussi se servir d'une tranche et d'un godet désileur, tous deux d'excellents outils. Il faut éviter de briser la surface en l'attaquant de face avec la chargeuse frontale et en soulevant. Au lieu de cela, il faut racler de haut en bas avec la chargeuse pour faire tomber le fourrage sur le sol. Il est conseillé de découvrir et de décompacter uniquement la quantité d'ensilage nécessaire.

Inoculants pour ensilage

Les inoculants pour ensilage permettent d'améliorer la fermentation de l'ensilage préfané (luzerne, graminées, céréales), de l'ensilage de maïs et du maïs-grain humide. Ils contiennent des bactéries homofermentaires qui produisent de l'acide lactique, et d'autres bactéries telles que *Lactobacillus buchneri*. Avec ces inoculants, les objectifs sont les suivants : accroître l'efficacité et la rapidité de la fermentation, réduire les pertes par fermentation, améliorer la qualité et la sapidité du fourrage, augmenter la durée de conservation en silo et améliorer le rendement des animaux.

Les espèces et les souches de bactéries dans les inoculants commerciaux ont été sélectionnées pour leur croissance rapide et efficace, et parce qu'elles font augmenter le taux de fermentation et provoquent une chute plus rapide du pH. Si les pertes par fermentation sont réduites, c'est parce qu'il y a une meilleure fermentation avec l'acide lactique, et moins d'acide acétique, d'éthanol et de dioxyde de carbone qui se dissipent dans l'environnement. En tablant sur une réduction modeste de 3 % des pertes de matière sèche par fermentation, on constate que l'achat d'un inoculant est facilement amorti si l'on tient seulement compte de la réduction du tassement, avant même de regarder la possible amélioration du rendement des animaux et de la durée de conservation en silo.

Les inoculants de bactéries lactiques donnent généralement de meilleurs résultats dans l'ensilage de luzerne et de graminées que dans l'ensilage de maïs. L'ensilage de maïs a une teneur en sucres plus élevée et un pouvoir tampon plus faible, ce qui favorise la fermentation. Au moment de la récolte, la plupart des plants de maïs sont naturellement recouverts de bactéries lactiques. Mais si une gelée meurtrière vient de survenir, il est bon d'appliquer un inoculant.

Les inoculants pour ensilage de maïs qui contiennent des bactéries lactiques et *Lactobacillus buchneri* sont dits « hétérofermentaires ». Ils produisent de l'acide lactique au début pour réduire les pertes par fermentation, et de l'acide acétique par la suite pour améliorer la stabilité aérobie, ce qui permet à l'ensilage de rester frais plus longtemps lors de l'affouragement. L'acide acétique réduit la croissance des levures et rend l'ensilage plus résistant à l'altération et à la chaleur à la sortie. Dans les cas où l'altération à la sortie pose problème, l'utilisation de l'inoculant *Lactobacillus buchneri* pour l'ensilage de maïs peut entraîner la diminution des moisissures et des mycotoxines, l'amélioration de la sapidité et de la prise alimentaire, et la réduction des pertes totales de matière sèche.

Les inoculants contiennent parfois des additifs enzymatiques, tels que les cellulases, les hémicellulases et les amylases, qui contribuent à la décomposition de la cellulose, de l'hémicellulose et de l'amidon. Le bilan des recherches est mitigé, et les additifs doivent être présents en quantité suffisante pour donner les résultats escomptés. Certains inoculants plus récents contiennent des bactéries qui produisent leurs propres enzymes, lesquelles améliorent la digestibilité des fibres et donc l'énergie digestible et la prise alimentaire.

Tous les additifs destinés à la vente au Canada, y compris les inoculants pour ensilage, doivent être homologués par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). Il faut demander aux représentants des fabricants de fournir des résultats de recherches indépendantes pour étayer leurs allégations concernant leurs produits aux fins d'assurance de la qualité. Il est important que le produit soit étiqueté en fonction de la culture à traiter et que les instructions d'entreposage soient suivies. L'application d'un inoculant pour ensilage ne compense pas les effets d'une mauvaise gestion de l'ensilage ou de conditions météorologiques défavorables.

Problèmes d'ensilage fréquents, causes et diagnostics

Problèmes d'ensilage fréquents

- Odeur rance ou odeur de poisson

Une odeur rance ou de poisson révèle la présence d'acide butyrique résultant de la contamination de l'ensilage par les clostridies provenant du sol. Ce problème peut se produire lorsqu'on coupe ou qu'on racle le fourrage trop près du sol. Les clostridies peuvent aussi être introduites dans l'ensilage par les pneus du tracteur utilisé pour le tassage, par les éclaboussures de pluie au champ et par l'épandage de fumier trop longtemps après la coupe précédente. L'acide butyrique se développe aussi fréquemment lorsque l'ensilage est trop riche en eau (teneur en eau supérieure à 70 %). Non seulement l'ensilage dégage une mauvaise odeur, mais il présente aussi parfois une texture poisseuse et collante et des particules agglomérées caractéristiques de l'acide butyrique. Les pertes par fermentation sont élevées, ce qui fait que la teneur en fibres au détergent acide (ADF) est élevée elle aussi, et la qualité des protéines est réduite. Avec une sapidité réduite et un faible niveau d'énergie digestible, les animaux consomment moins d'ensilage et sont moins productifs.

- Moisissure et odeur de moisi

La présence de moisissure dans l'ensilage provoque d'importantes pertes de matière sèche ainsi qu'une baisse de la sapidité et donc du rendement des animaux. Cette détérioration est due à la présence de conditions aérobies (oxygène) résultant d'un mauvais tassage de l'ensilage, de la longueur du processus de remplissage du silo, d'une faible teneur en eau, d'une mauvaise herméticité, d'un affouragement lent ou d'une mauvaise gestion du front d'attaque de l'ensilage. Si l'ensilage est encore chaud, cela signifie que l'activité microbienne se poursuit et que le produit continue de se dégrader.

- Odeur de vinaigre
Une odeur de vinaigre témoigne de la présence d'acide acétique. Un excédent d'acide acétique par rapport à l'acide lactique indique que la fermentation n'était pas optimale et qu'il aurait peut-être fallu ajouter un inoculant commercial de bactéries lactiques.
- Odeur sucrée
Une odeur sucrée est indicatrice de hautes concentrations en éthanol produit par les levures issues de la dégradation de l'ensilage, en mélange avec de l'acide acétique. Dans ce cas, les pertes par fermentation sont souvent élevées, et l'ensilage risque de chauffer et de se détériorer dans le silo. L'acide lactique que l'on souhaite obtenir dégage peu d'odeur.
- Odeur d'ammoniac
Une odeur d'ammoniac est révélatrice de la dégradation excessive des protéines en ammoniac et en amines, qui pourrait être due à une fermentation clostridiale ou à un pH élevé.
- Odeur caramélisée
Une odeur caramélisée indique la présence d'un ensilage préfané endommagé par la chaleur qui présente une couleur foncée et une odeur de tabac. Dans les cas les plus graves, il peut dégager une odeur de brûlé. Ces dégâts surviennent lorsque le fourrage est trop sec. Les protéines sont emprisonnées dans les fibres et sont donc moins digestibles. Il est possible de mesurer la teneur en azote dans les fibres au détergent acide (ADF-N, azote non disponible) en laboratoire.

Analyse de la fermentation

La technologie permet maintenant d'analyser la fermentation pour résoudre les problèmes liés à la production de l'ensilage. Cette analyse permet de quantifier objectivement ce qu'on réussit à déterminer subjectivement à la vue et à l'odeur. Elle peut s'avérer particulièrement utile lorsque les animaux présentent un rendement faible que l'analyse des éléments nutritifs ne permet d'expliquer. Voir le tableau 3-12, *Concentrations typiques des produits dérivés de la fermentation de l'ensilage (matière sèche)*.

La concentration des produits dérivés de la fermentation suivants varie d'un ensilage à l'autre :

1. pH élevé
Un pH élevé indique une fermentation défailante ou insuffisante, qui sera instable et qui donnera un ensilage non durable et davantage gaspillé par les animaux. L'ensilage préfané de légumineuses présente un pouvoir tampon plus élevé que l'ensilage préfané de graminées et l'ensilage de maïs, et son pH est généralement plus élevé.
2. Faible teneur en acide lactique
L'acide lactique doit représenter plus de 65 à 70 % de tous les acides contenus dans l'ensilage. On vise habituellement un ratio acide lactique-acide acétique d'au moins 3:1. L'acide lactique est l'acide le plus efficace pour abaisser le pH.
3. Haute teneur en acide acétique
Au-delà de 3 ou 4 %, la teneur en acide acétique peut nuire à la fermentation, surtout si la teneur en acide lactique est très faible. Les inoculants Buchneri sont parfois ajoutés à l'ensilage de maïs et à l'ensilage de maïs-grain humide pour produire de l'acide acétique en fin de fermentation, et accroître ainsi la durée de conservation en silo. On pourrait penser que la fermentation est déficiente, mais ce n'est pas le cas.
4. Haute teneur en éthanol
Une haute teneur en éthanol indique la présence de levures, qui réduisent la récupération de matière sèche et favorisent la formation de moisissures et les pertes à l'affouragement.
5. Haute teneur en azote ammoniacal
Une haute teneur en azote ammoniacal indique une dégradation excessive des protéines et peut entraîner un excès de protéines dégradées dans le rumen. Les teneurs de plus de 12 à 15 % peuvent poser problème.
6. Acide butyrique
L'acide butyrique nuit à la qualité des fourrages. Sa présence conjuguée à une haute teneur en eau ou en cendres indique quels sont les aspects du processus de production d'ensilage qui doivent être améliorés. Dans le silo, l'acide butyrique

Tableau 3-12 – Concentrations typiques des produits dérivés de la fermentation de l'ensilage (matière sèche)

Produits dérivés de la fermentation	Ensilage de maïs	Ensilage préfané de légumineuses Teneur en eau > 65 %	Ensilage préfané de légumineuses Teneur en eau < 55 %	Ensilage préfané de graminées
pH	3,7 à 4,2	4,3 à 4,5	4,7 à 5,0	4,3 à 4,7
Acide lactique (%)	4 à 7	7 à 8	2 à 4	6 à 10
Acide acétique (%)	1 à 3	2 à 3	0,5 à 2,0	1 à 3
Acide propionique (%)	< 0,1	< 0,5	< 0,1	< 0,1
Acide butyrique (%)	0	< 0,5	0	0,5 à 1,0
Éthanol (%)	1 à 3	0,5 à 1,0	0,5	0,5 à 1,0
Azote ammoniacal (% des protéines brutes)	5 à 7	10 à 15	< 12	8 à 12

Source : Limin Kung, Université du Delaware.

provoque d'importantes pertes de matière sèche et d'énergie digestible. Chez les ruminants, il provoque une diminution de la prise alimentaire et nuit au métabolisme. Si l'ensilage est riche en acide butyrique, il vaut mieux s'en débarrasser dans la mesure du possible. Le Dr Gary Oetzel, de l'Université du Wisconsin, recommande les limites maximales quotidiennes suivantes pour l'ingestion d'acide butyrique, afin de prévenir la perte d'appétit et la cétose chez les vaches laitières :

- vaches fraîches : < 50 grammes;
- début de lactation : < 150 grammes;
- toutes les autres vaches en lactation : < 250 grammes.

Gaz d'ensilage

L'exposition au gaz d'ensilage (dioxyde d'azote, NO₂) peut occasionner chez les producteurs une détresse respiratoire grave et des dommages permanents aux poumons, et même une mort subite. Étant donné qu'il est difficile de prévoir la présence de gaz d'ensilage, la prudence est toujours de mise après la récolte. Les conditions météorologiques et les pratiques agronomiques ont une incidence sur la teneur en nitrates des matières végétales, qui détermine la production de NO₂ dans le silo. Par exemple, lorsqu'une pluie abondante suit une période de sécheresse pendant la saison de croissance, la culture de maïs a tendance à absorber de grandes quantités de nitrates dissous. S'il est récolté avant la transformation des nitrates en protéines, l'ensilage de maïs dégage du dioxyde d'azote.

La production de gaz d'ensilage survient presque immédiatement après le remplissage d'un silo. Le danger est plus grand dans les 12 à 60 heures qui suivent le remplissage, puis les risques diminuent pendant 4 à 6 semaines jusqu'à ce que l'ensilage ait terminé sa fermentation. Le gaz d'ensilage est reconnaissable à son odeur d'agent de blanchiment. Il peut apparaître sous la forme d'un brouillard brun rougeâtre, mais il n'est pas toujours visible. Comme le dioxyde d'azote est plus lourd que l'air, il a tendance à s'accumuler juste au-dessus de l'ensilage. Il peut aussi pénétrer dans la chute des silos-tours et se répandre dans les salles de préparation des aliments. Les silos-tours sont plus à risque parce que le gaz reste à la surface du maïs et les travailleurs entrent souvent dans le silo après le remplissage pour étaler l'ensilage et régler la désileuse.

Inhalé, le dioxyde d'azote se combine à l'humidité du corps pour former de l'acide nitrique et causer des brûlures graves aux poumons et au reste de l'appareil respiratoire. S'ensuit alors généralement un œdème pulmonaire s'ensuit chez les personnes touchées, qui s'écroulent. Celles et ceux qui tentent de leur porter secours peuvent eux aussi être terrassés. Les producteurs exposés au gaz d'ensilage doivent consulter un médecin immédiatement.

Des précautions s'imposent :

- Ne pas entrer dans un silo pendant la période à risque sans porter un appareil de protection respiratoire autonome.

- Aérer le silo au préalable en actionnant l'ensileuse-souffleuse pendant 30 minutes et la laisser tourner tant que quelqu'un est à l'intérieur.
- Ventiler aussi la salle de préparation des aliments et la chute.
- Placer des panneaux d'avertissement.
- Ne jamais laisser des personnes ou des animaux s'approcher.

Pour en savoir plus sur la prévention des blessures et des décès dus au gaz d'ensilage, consulter :

Silo Safety – Workplace Safety & Prevention Services (en anglais seulement) sur le site www.wsps.ca.

Voir la fiche technique du MAAARO intitulée *Les gaz dangereux dans les exploitations agricoles* à l'adresse ontario.ca/cultures.

Autres problèmes liés aux cultures

Insectes et maladies

Après des maladies et des infestations graves d'insectes qui nuisent à la vigueur du peuplement, réduisent les réserves racinaires et ralentissent la repousse, les chances de survie à l'hiver sont réduites. La lutte contre la cicadelle de la pomme de terre peut contribuer de façon importante à la réduction des dommages dus à l'hiver, en particulier l'année des semis (voir la section *Cicadelle de la pomme de terre* du chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*).

La figure 3-3, *Calendrier de dépistage des ennemis des cultures fourragères*, indique quels sont les insectes et les maladies qui peuvent être à l'origine des signes observés dans le champ. Les descriptions de chacun des insectes et maladies et des stratégies de dépistage et de lutte se trouvent au chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et au chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*.

Les traitements de lutte contre les insectes et animaux nuisibles et les maladies sont présentés dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Destruction des cultures fourragères par l'hiver

La destruction des peuplements de fourrages par l'hiver peut avoir des répercussions graves sur les exploitations d'élevage et devenir un facteur limitant pour la production de luzerne. En effet, elle peut réduire la qualité des aliments pour le bétail, provoquer des pénuries, interrompre la rotation des cultures, et entraîner des coûts supplémentaires au chapitre de la reprise des semis. Dans la production de fourrages, il est parfois difficile de concilier les exigences contradictoires liées à la qualité, au rendement et à la persistance. Il faut déterminer la persistance souhaitée des fourrages et gérer les risques en conséquence.

Voici plusieurs facteurs qui contribuent à la destruction hivernale des cultures fourragères :

- L'étouffement dû aux inondations ou à la formation d'une couche de glace;
- Le déchaussement dû au cycle de gel-dégel et à une déficience du drainage;
- Les dommages au collet causés par le froid;
- Une fertilité médiocre;
- La présence d'anciens peuplements;
- Une mauvaise gestion des coupes;
- Les maladies et les insectes.

Certaines espèces fourragères sont plus résistantes que d'autres. Les risques de destruction par l'hiver concernent surtout la luzerne. Les légumineuses telles que le lotier corniculé, le trèfle rouge, le trèfle blanc sauvage et le trèfle d'Alsike tolèrent mieux les conditions hivernales difficiles que la luzerne et le trèfle ladino. Les graminées telles que la fléole, l'alpiste roseau, le pâturin et le brome sont rarement détruites par l'hiver; par conséquent, l'emploi de mélanges contenant ces espèces constitue une sorte d'assurance sur le peuplement. Le dactyle pelotonné et le ray-grass vivace sont plus susceptibles d'être tués par le froid ou les accumulations de glace.

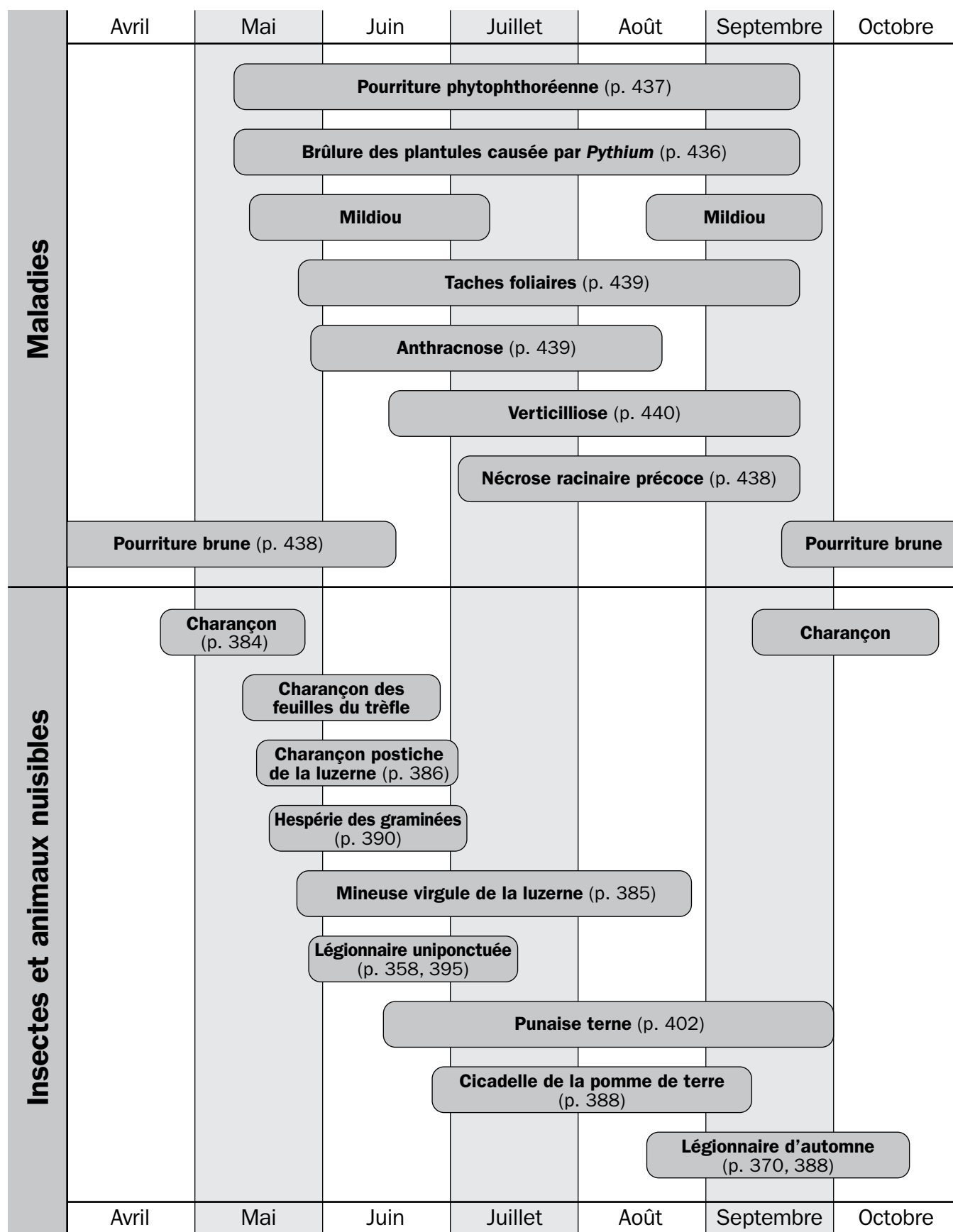


Figure 3-3 – Calendrier de dépistage des ennemis des cultures fourragères

L'endurcissement est le processus d'acquisition de la tolérance au froid qui est provoqué par la baisse des températures et le raccourcissement des jours en automne. À ce moment-là, les plants emmagasinent des glucides dans leur collet et leur racine pivotante, l'amidon est converti en sucres et les plants perdent de l'eau cellulaire, ce qui les protège quelque peu de la gelée. En automne, les longues périodes de temps frais, sec et ensoleillé sont propices à l'endurcissement des plants avant l'hiver.

Facteurs influençant la survie à l'hiver

Période critique de récolte d'automne pour la luzerne

Même si la coupe de la luzerne à l'automne est une pratique courante en Ontario, elle peut nuire à la santé du peuplement, dépendamment de plusieurs facteurs tels que le lieu, l'âge du peuplement et la fréquence des récoltes. Avant d'effectuer une coupe à l'automne, il faut évaluer si ces facteurs et les besoins immédiats en fourrages l'emportent sur le risque accru de destruction hivernale et la réduction des rendements l'année suivante.

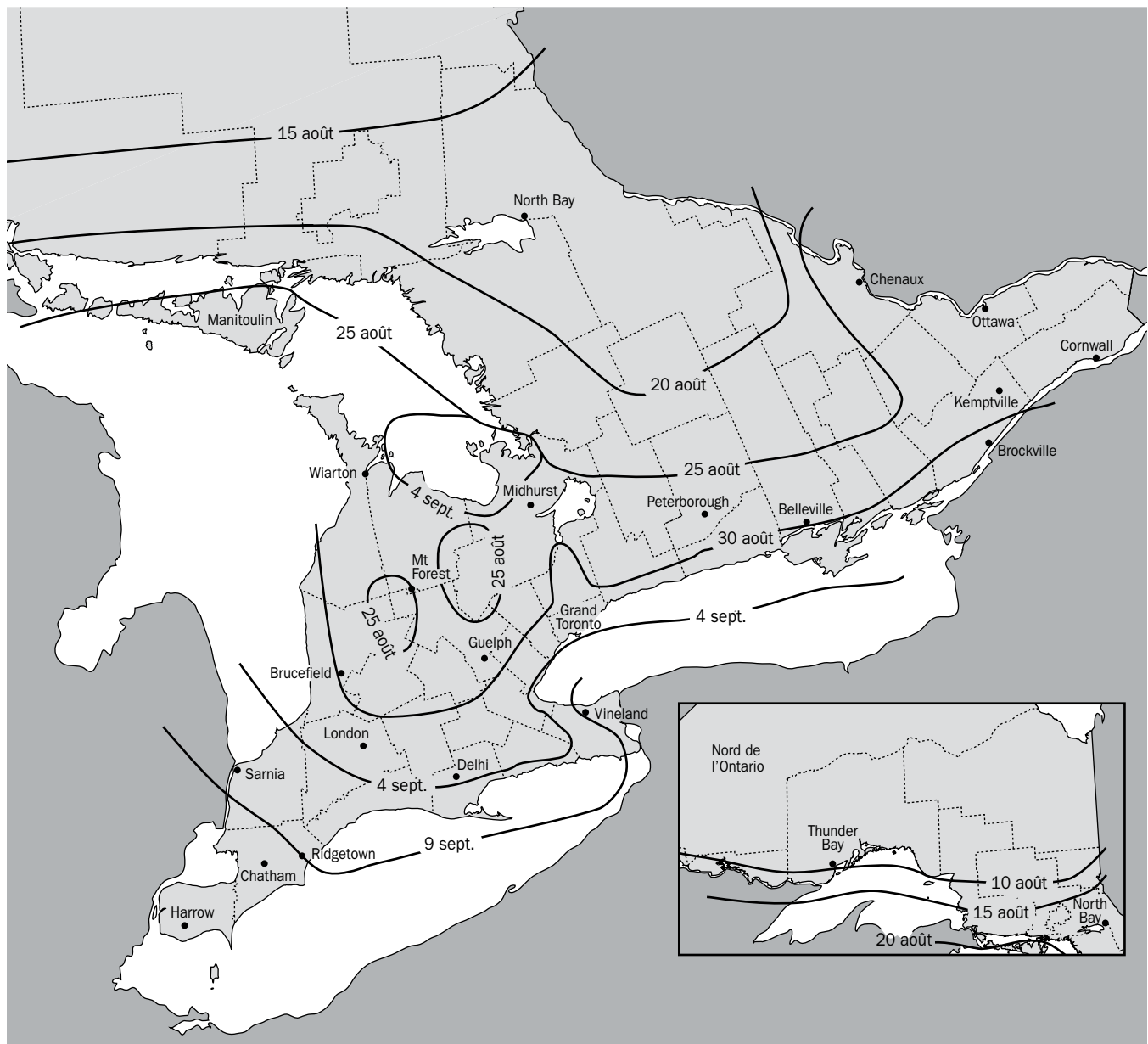


Figure 3-4 – Début de la période critique de récolte d'automne pour la luzerne

Lorsque la récolte a lieu avant la période critique de récolte d'automne (ou période de repos automnal), elle laisse aux plants le temps de repousser et d'emmagasiner suffisamment d'énergie dans leurs racines. La luzerne a besoin de ces réserves pour résister à l'hiver, pour accroître sa persistance, ainsi que pour connaître une croissance vigoureuse au printemps et un bon rendement à la première coupe. La période critique de récolte d'automne de la luzerne dure six semaines avant la date moyenne de la première gelée meurtrière. Il est toutefois difficile de prévoir quand celle-ci surviendra. Comme la date réelle de la première gelée meurtrière correspond rarement à la date moyenne, ces dates ne sont données qu'à titre indicatif. Quand la culture est coupée tôt pendant cette période, les plants de luzerne utilisent leurs réserves racinaires pour repousser, vidant ainsi le « réservoir ». Plus tard, au cours de cette même période, ils emmagasinent dans les racines des glucides produits par la photosynthèse, pour remplir à nouveau le « réservoir ». Les risques sont plus élevés lorsqu'on coupe au milieu de la période critique (troisième ou quatrième semaine) qu'au début ou à la fin. Voir la figure 3-4, *Début de la période critique de récolte d'automne pour la luzerne*, pour savoir quand commence cette période dans chaque région de l'Ontario. Voir la fiche technique du MAAARO, *Risques de destruction hivernale de la luzerne*, à l'adresse ontario.ca/cultures. Comme la luzerne, le lotier corniculé doit également être récolté à l'automne, la période critique commençant environ 10 jours avant celle de la luzerne.

Gestion des facteurs de risque

Certaines régions de la province, comme la vallée de l'Outaouais et le New Liskeard, sont plus susceptibles de voir leurs cultures de luzerne détruites en hiver. Sont particulièrement à risque les sols plats et lourds sur lesquels l'eau gelée s'accumule au lieu de s'infiltrer dans les drains en hiver. Les sols humides et saturés en automne réduisent l'endurcissement à l'hiver et contribuent à la destruction hivernale. Des intervalles de coupe de moins de 30 jours augmentent également les risques de destruction, alors que des intervalles de plus de 40 jours (qui permettent la floraison) les réduisent. On constate parfois des rendements décevants à la première coupe dans les champs où une quatrième coupe a été effectuée l'automne précédent.

Par ailleurs, les cultures qui réunissent les conditions suivantes sont sujettes à la destruction hivernale et sont celles qu'il vaut mieux éviter de récolter à l'automne (à moins qu'une autre culture doive prendre sa place) :

- Présence d'anciens peuplements (trois ans ou plus);
- Sols à faible teneur en potassium (< 100 ppm);
- pH faible (< 6,5);
- Sol mal drainé;
- Pression exercée par les insectes (cicadelle de la pomme de terre);
- Pression exercée par les maladies (pourriture des racines et du collet).

Coupes automnales tardives à la fin de la période critique de récolte

Si une récolte a lieu à l'automne, on peut réduire les risques de destruction hivernale, sans toutefois les éliminer, en coupant la luzerne vers la fin de sa période de croissance, aussi près que possible d'une gelée meurtrière. La situation devient difficile si les faibles réserves des racines sont épuisées par la repousse et qu'il n'y a pas suffisamment de chaume pour retenir la neige et isoler du froid les collets des plants, qui sont alors endommagés par le temps froid et subissent un déchaussement. Le fait de laisser au moins 15 cm (6 pouces) de chaume peut aider. Si de la glace se forme pendant l'hiver, les chaumes font saillie, permettant à l'air de pénétrer sous la couche de glace. Il faut limiter les coupes tardives aux champs qui, à d'autres égards, présentent moins de risques, par exemple les champs fertiles et bien drainés où les racines et le collet des plants sont en santé. Une gelée est dite meurtrière lorsque les températures atteignent -4 °C ou moins pendant plusieurs heures. Après une gelée meurtrière, la valeur nutritive de la luzerne diminue rapidement puisqu'il y a des pertes de feuillage et que la pluie lessive les éléments nutritifs. On observe parfois l'étouffement des plants ou leur destruction par les maladies après l'hiver dans des peuplements très denses de graminées ou de trèfle rouge, en raison de l'épaisseur du couvert végétal des parties supérieures. En revanche, la luzerne perd la majeure partie de son feuillage dès la première gelée à pierre fendre, et les tiges restantes demeurent dressées et présentent rarement un risque d'étouffement.

Conditions météorologiques

Une couverture de neige suffisante, c'est-à-dire d'au moins 15 cm (6 po), isole le collet et les racines de la luzerne aux températures modérées. Lorsqu'il n'y a pas suffisamment de neige, le collet de la luzerne peut être exposé à des températures inférieures à -15 °C; les cellules végétatives sont alors endommagées et le plant finit par mourir. L'effet isolant de la neige réduit également les fluctuations de température et les

risques de déchaussement. L'hiver, en l'absence d'une couverture de neige, ces fluctuations (températures minimales sous le point de congélation et températures maximales durablement supérieures à 5 °C) peuvent interrompre la dormance et rendre les plants encore plus vulnérables au gel.

La fonte rapide des neiges suivie de températures froides peut entraîner la formation de couches de glace qui étouffent les plants en les privant d'oxygène. Comme elle est peu isolante, la glace ne protège pas le collet de la luzerne, qui peut alors être endommagé par le gel.

Déchaussement de la luzerne par le gel

La répétition du cycle de gel-dégel fait sortir la racine pivotante du sol (voir photo 3-5). Au début, les plants touchés peuvent verdifier et avoir l'air indemnes, mais, en général, les racines pivotantes qui sont déchaussées de plus de 2,5 cm (1 po) sont cassées et incapables d'absorber des éléments nutritifs et de l'humidité en quantité suffisante. À la longue, les peuplements meurent ou sont gravement rabougris. Les plants qui sont légèrement déchaussés peuvent survivre, mais leur longévité et leur productivité seront réduites. Il faut remplacer les peuplements très touchés par le déchaussement par une culture différente, en effectuant de nouveaux semis dans la rotation.



Photo 3-5 – Déchaussement de plants de luzerne occasionné par les cycles de gel-dégel en début de printemps qui ont pour effet de soulever le collet

Évaluation des chances de survie à l'hiver d'un peuplement de luzerne

Bien qu'il soit possible d'évaluer le rendement potentiel en comptant les plants ou les tiges sur une superficie donnée, il est extrêmement important de prendre en compte la santé du collet et des racines. Les comptes de tiges sont plus précis que les comptes de plants, mais au début du printemps, on ne peut parfois que compter les collets. Il faut se préparer à remplacer un vieux peuplement s'il contient moins de 43 plants/m² (4 plants/pi²); voir le tableau 3-13, *Densités souhaitables des peuplements de luzerne*, et les photos 3-6 et 3-7.

On conseille de déterrer plusieurs plants pour évaluer la santé du collet et des racines. Les collets sains sont gros et symétriques et portent de nombreuses pousses. Il faut ouvrir une racine en la coupant dans le sens de la longueur. Les racines saines sont blanches ou couleur crème à l'intérieur, et elles sont fermes et dures à peler quand on les gratte avec l'ongle. Les racines et le collet des plants mourants sont décolorés et leur texture est spongieuse. Il faut vérifier la vigueur des nouvelles pousses ou des bourgeons.

Quand la luzerne mesure environ 15 cm (6 po) de hauteur, on peut mesurer la densité du peuplement en nombre de tiges par mètre carré (ou par pied carré). Une densité de 590 tiges/m² (55 tiges/pi²) présente un bon potentiel de rendement (voir figure 3-5, *Rendement potentiel de la luzerne selon le nombre de tiges par unité de surface*). Il pourrait y avoir des pertes de rendement si la densité se situe entre 431 et 539 tiges/m² (entre 40 et 50 tiges/pi²).



Photo 3-6 – Peuplement qui contient moins de cinq plants par mètre carré à cause de la destruction hivernale



Photo 3-7 – Peuplement de culture fourragère qui contient assez de plants après une destruction hivernale pour que l'on poursuive sa production

Tableau 3-13 – Densités souhaitables des peuplements de luzerne

Âge du peuplement	Nombre de plants
Nouveau semis	215 plants/m ² (20 plants et plus/pi ²)
1 ^{re} année	129 à 215 plants/m ² (12 à 20 plants/pi ²)
2 ^e année	86 à 129 plants/m ² (8 à 12 plants/pi ²)
3 ^e année et plus	54 plants/m ² (5 plants/pi ²)

Il faut penser à remplacer le peuplement s'il y a moins de 430 tiges/m² (40 tiges/pi²) et si le collet et les racines sont en piètre état.

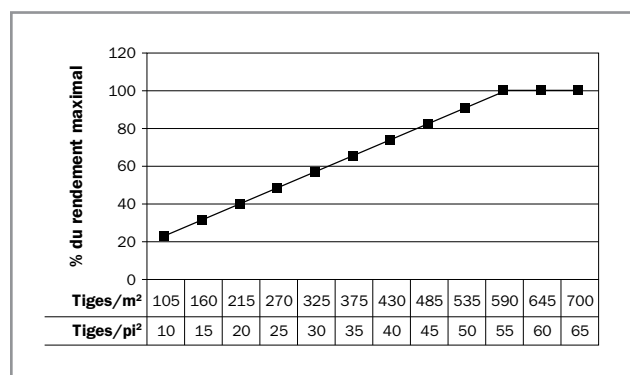


Figure 3-5 – Rendement potentiel de la luzerne selon le nombre de tiges par unité de surface

Source : Undersander et Cosgrove, Université du Wisconsin, 1992.

Que faire après la destruction hivernale de la luzerne

Si la destruction hivernale de la luzerne est rapidement décelée, la meilleure chose à faire est généralement de remplacer le peuplement touché en semant un nouveau peuplement de culture fourragère dans un autre champ de la rotation des cultures. Si l'on cultive du maïs dans le champ de luzerne détruit, on lui permet non seulement d'obtenir un gain de rendement de 10 à 15 %, mais aussi d'absorber 110 kg/ha (100 lb/ac) d'azote. Les céréales et les mélanges céréales-pois peuvent être cultivés pour le fourrage ou l'ensilage, soit comme culture-abri d'une culture fourragère, soit comme culture indépendante. Si elles sont semées au début du printemps et qu'elles reçoivent suffisamment de pluie, ces cultures de saison fraîche poussent rapidement et peuvent compenser la perte de luzerne à la première coupe. Si un peuplement de luzerne est clairsemé ou affaibli de manière uniforme, mais qu'il a une bonne proportion de graminées, l'épandage d'azote peut avoir pour effet d'augmenter considérablement le rendement de ces graminées ainsi que la teneur en protéines du fourrage. Lorsque les zones touchées par la destruction hivernale sont grandes et dispersées, certains producteurs préfèrent tenter de les rétablir en effectuant un semis direct de trèfle rouge ou de ray-grass d'Italie. Si on ne décelé la destruction que plus tard au cours du printemps, on peut semer des cultures fourragères annuelles de saison chaude, comme le sorgho, le sorgho-Soudan, le sorgho à nervure principale brune et le millet perlé, car elles peuvent donner un très bon rendement et fournir du fourrage avant le maïs à ensilage, même si leur rendement est inférieur à celui du maïs à ensilage.

4. Céréales

Les céréales font partie intégrante de la production agricole de l'Ontario, où elles occupent environ 25 % des terres arables (soit environ 607 000 ha ou 1,5 million d'acres). Pour les producteurs, elles offrent de nombreux avantages dont d'excellentes perspectives de profit, une amélioration marquée de la structure du sol, des possibilités de gestion du fumier et la possibilité d'étaler la charge de travail. Lorsque la gestion est efficace, les céréales donnent de très bons résultats; lorsqu'une attention suffisante est portée aux détails, elles constituent l'une des cultures les plus rentables.

Travail du sol

Méthodes de travail du sol

Les céréales sont peu sensibles au choix de la méthode de travail du sol. Dans une recherche effectuée à cet effet sur le blé d'automne, on a démontré un avantage économique par rapport au travail réduit du sol et on n'a constaté aucun écart de rendement important entre le labour à la charrue à socs, le travail réduit du sol et le semis direct, comme le montre le tableau 4-1, *Rendement du blé d'automne selon la méthode de travail du sol*. Les rendements dépendent peu de la méthode de travail du sol, mais un bon contact entre la semence et le sol et le taux d'humidité du sol sont essentiels à la germination.

Le choix de la méthode de travail du sol a des répercussions sur d'autres aspects du système cultural. Pour que les cultures puissent donner des rendements élevés et être rentables, la méthode de travail du sol doit tenir compte des facteurs tels que la fertilité du sol, la pression exercée par les insectes et les maladies, et la lutte contre les mauvaises herbes. Les risques accrus de déchaussement par le gel et de moisissure des neiges comptent parmi les inconvénients associés à un travail du sol plus intensif dans les cultures d'automne. De plus, l'érosion est à craindre dans toutes les cultures soumises au travail du sol.

Il existe d'autres options pour la mise en terre de céréales :

- Semis direct;
- Méthode traditionnelle;
- Semis sur sol gelé;
- Semis aérien de céréales d'automne;
- Semis à la volée.

Semis direct

La plupart des cultures de blé d'automne sont semées par semis direct. Les rendements ainsi obtenus sont souvent équivalents à ceux des méthodes traditionnelles. Les semoirs à semis direct peuvent suivre la moissonneuse-batteuse dans le même champ, ce qui permet d'avancer les dates de semis et d'augmenter les rendements. Les plants de céréales d'automne en semis direct résistent mieux au déchaussement par le gel parce qu'ils sont ancrés dans un sol plus ferme.

Pour ce qui est du semis direct, il faut prendre en compte la gestion des engrais, la capacité du semoir et la lutte contre les mauvaises herbes. Par comparaison avec celles qui sont cultivées par la méthode traditionnelle, les céréales soumises au semis direct réagissent mieux à l'application d'un engrais de démarrage avec les semis, notamment de phosphore (voir *Syndrome du rang de maïs*).

Le contact entre la semence et le sol est essentiel à l'absorption de l'humidité. Les semoirs de semis direct doivent pouvoir traverser les résidus et pénétrer le sol dur pour placer les semences avec précision. Le semoir peut être équipé de roues plumbeuses ou de dispositifs tasseurs en plastique recourbés comme des bâtons de hockey qui poussent les graines au fond de la raie, améliorent le contact entre la semence et le sol et assurent une profondeur de semis plus uniforme. Dans les systèmes de semis direct, la lutte contre les mauvaises herbes joue un rôle fondamental. Il importe d'effectuer systématiquement une destruction chimique avant les semis pour assurer une maîtrise du

Tableau 4-1 – Rendement du blé d'automne selon la méthode de travail du sol

Méthode de travail du sol	Rendement comparatif ¹	Nombre de comparaisons	Avantage économique par rapport au travail réduit
Travail réduit du sol c. charrue à socs	5,2 c. 5,1 t/ha (77,5 c. 75,4 bo/ac)	12	37,80 \$/ha (15,31 \$/ac)
Semis direct c. charrue à socs	4,8 c. 5,0 t/ha (71,7 c. 74,9 bo/ac)	36	46,60 \$/ha (18,85 \$/ac)
Semis direct c. travail réduit du sol	4,4 c. 4,3 t/ha (65,0 c. 64,6 bo/ac)	22	18,65 \$/ha (7,55 \$/ac)

Source : Base de données Tillage Ontario.

¹ Les rendements moyens varient parce que les comparaisons sont faites en différents endroits.

pissenlit et des autres espèces annuelles d'automne. Voir la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour connaître les directives sur la destruction chimique. Pour réduire l'incidence des maladies, on traite les semences à l'aide d'un fongicide. Pour obtenir plus d'information sur le traitement des semences, voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

L'ajout ou l'utilisation de coutres peut présenter un intérêt si l'on pratique le semis direct. Dans les sols secs et durs, un léger ameublissement facilite et accélère le développement des racines et la croissance. Lors d'automne pluvieux, un léger travail du sol peut accélérer son assèchement et permettre d'effectuer les semis dans de meilleures conditions. Le recours à ces méthodes de travail réduit lorsque l'état du sol les rend nécessaires.

Méthode traditionnelle

Des générations de producteurs ont employé la charrue, les disques et le cultivateur pour préparer les lits de semence des céréales. Les céréales de printemps sont encore souvent cultivées selon ces méthodes traditionnelles. Bien que celles-ci donnent de bons résultats, les problèmes d'érosion, le prix du carburant, les coûts de main-d'œuvre et l'effet limité du travail du sol sur les rendements incitent de plus en plus de producteurs à se tourner vers le travail réduit. En ce qui concerne les méthodes traditionnelles, les recommandations ayant trait au contact entre la semence et le sol, à la mise en place des semences dans un milieu humide et à la précision de la profondeur des semis sont celles qui sont indiquées dans la section *Semis direct*, mais le travail du sol remplace la destruction chimique des mauvaises herbes.

Semis de céréales de printemps sur sol gelé

Le fait de semer des céréales de printemps sur un sol gelé permet d'avancer les dates de semis et d'accroître les rendements.

La technique consiste à effectuer un semis direct sur le sol légèrement gelé, au début du printemps. Une fois que la neige a fondu et que le sol n'est plus gelé en profondeur, il reste encore souvent plusieurs nuits froides où les températures tombent sous le point de congélation. Étant donné que la mince couche de gel supporte le poids du tracteur, cette technique permet d'éviter le compactage ou l'orniérage. Il n'est pas essentiel de refermer la raie dans ce cas puisque la terre retombe naturellement en place et couvre la semence dès que le sol dégèle. Il suffit de régler le semoir pour qu'il trace une raie peu profonde de 2,5 cm (1 po) et pousse la graine au fond de celle-ci. Il ne faut pas laisser la graine à la surface du sol, car l'établissement du peuplement sera médiocre. La plage permettant cette méthode de semis est de courte durée. On obtient généralement les meilleurs résultats lorsque le gel commence à faire durcir le sol, à -3 ou -4 °C, souvent vers minuit. Il faut absolument s'arrêter dès que le soleil matinal commence à ramollir la terre parce que celle-ci collerait et pourrait encrasser le semoir sur une distance de seulement 15 m (50 pi).

Il ne faut pas tenter le semis sur sol gelé lorsque la température de l'air descend en dessous de -8 °C. Le sol serait alors assez dur pour endommager le semoir de semis direct, et les semences resteraient à la surface, ce qui n'est pas souhaitable.

Bien que cette courte fenêtre puisse ne pas se produire tous les ans, il n'en reste pas moins que cette forme de semis précoces peut donner des gains de rendement atteignant 25 %. Le tableau 4-2, *Comparaison des semis de céréales de printemps sur sol gelé et sur sol sec*, montre les gains de rendement et de qualité obtenus avec les semis sur sol gelé. Le semis sur sol gelé de céréales d'automne effectué à la fin de l'automne ou au début de l'hiver a également donné de bons résultats. Cependant, dans ces cas, il faut absolument placer les semences à au moins 2,5 cm (1 po) de profondeur et avoir des attentes réalistes.

Semis aérien du blé d'automne

Le semis aérien donne les meilleurs résultats s'il est effectué avant que les plants de soya aient perdu 10 % de leurs feuilles. Les feuilles de soya couvriront ainsi les semences et retiendront l'humidité avant la germination du blé.

Les semis aériens donnent des résultats variables. La semence est extrêmement vulnérable aux dommages dus aux limaces. En effet, celles-ci se nourrissent du germe de la graine, et elles peuvent réduire gravement le peuplement voire le détruire, surtout dans les tournières. À première vue, la graine semble reposer normalement à la surface du sol, prête à germer, mais un examen plus attentif montre qu'elle a été endommagée (voir photo 4-1). Il est possible de remédier à ce problème en réensemencant les tournières après la récolte du soya.



Photo 4-1 – Limace mangeant le germe d'une graine
Photo : T. Meulensteen, C & M Seeds

Les semis aériens du blé donnent un système racinaire superficiel, donc plus vulnérable au déchaussement et aux dommages causés par le vent (voir la section *Profondeur de semis* du présent chapitre). Au printemps, les plants de blé sont reliés au sol par un seul poil absorbant. Si celui-ci casse sous l'effet des mouvements de torsion imposés par le vent, le plant meurt.

Selon les données provenant d'essais à petite échelle effectués à la ferme, compte tenu de ces risques inhérents, les rendements du blé après un semis aérien sont souvent de 10 % inférieurs à ceux obtenus avec un semoir à céréales. Les semis aériens ne sont donc pas très employés. Lorsqu'on opte pour cette méthode, on devrait porter le taux de semis à 5 millions de graines par hectare (2 millions de graines par acre) pour compenser la diminution de la densité de peuplement.

Tableau 4-2 – Comparaison des semis de céréales de printemps sur sol gelé et sur sol sec

Méthode de travail du sol ¹	Rendement		Poids spécifique	
	Sol gelé	Sol sec	Sol gelé	Sol sec
Avoine	5,3 t/ha (140,3 bo/ac)	4,6 t/ha (120,6 bo/ac)	46,5 kg/hl (37,3 lb/bo)	44,6 kg/hl (35,8 lb/bo)
Blé de printemps après du soya	4,6 t/ha (67,7 bo/ac)	3,9 t/ha (57,5 bo/ac)	75,9 kg/hl (60,9 lb/bo)	73,7 kg/hl (59,1 lb/bo)
Blé de printemps après du maïs	4,1 t/ha (60,5 bo/ac)	2,6 t/ha (39,4 bo/ac)	74,6 kg/hl (57,9 lb/bo)	64,8 kg/hl (52,0 lb/bo)

Source : Johnson, MAAARO, Thorndale, 2006-2007.

¹ Chaque traitement représente la moyenne de trois populations de 2, 3 et 4 millions de graines/ha (0,8, 1,2 et 1,6 million/ac) pour l'avoine, et de 3, 4 et 5 millions de graines/ha (1,2, 1,6 et 2,0 millions/ac) pour le blé de printemps (nombre de graines/ac x 2,47 = nombre de graines/ha).

Semis à la volée

Le semis à la volée permet une mise en terre beaucoup plus rapide. Il est par contre important d'assurer un bon contact entre la semence et le sol et l'uniformité du taux de semis sur toute la superficie ensemencée et entre les passages de l'épandeur.

Les appareils de distribution à air donnent un semis uniforme. Il est important de travailler le champ à faible profondeur, soit à 7,5 cm (3 po), par deux passages perpendiculaires pour éviter les irrégularités du semis, puis de tasser le sol pour améliorer le contact entre la semence et le sol.

Cette méthode ne donne pas une profondeur de semis uniforme et elle crée donc souvent des écarts de maturité avec une réduction du rendement de 5 à 10 %. Si l'on effectue les semis à la volée, on peut augmenter les taux de semis de 10 % pour compenser les risques de variabilité.

Choix des cultivars

Les principes qui régissent le choix d'un bon cultivar ne varient pas beaucoup d'une culture à l'autre. La sélection des cultivars de blé est compliquée par les facteurs de qualité des produits finaux et leurs effets sur les prix et les rendements. On cultive davantage de types de blé en Ontario que dans toute autre région du Nord-Est de l'Amérique du Nord. Les marchés de la meunerie et de l'avoine pour chevaux ont aussi des critères de qualité qui leur sont propres, tout comme ceux de l'orge destinée à la consommation humaine ou à la brasserie.

Critères habituels de sélection des cultivars

- Choisir les cultivars en fonction des conditions de croissance locales et de l'utilisation finale prévue. Comparer les cultivars du point de vue de leur potentiel de rendement, de leur résistance à la verse, de leur tolérance aux maladies et des autres facteurs agronomiques. Pour choisir un cultivar, il est utile de bien connaître les limitations d'une exploitation ou d'un champ donné.
- Utiliser toutes les sources d'information disponibles. Il existe un excellent système d'évaluation du rendement des cultures céréalières. Il est accessible à partir du site Web du Comité des céréales de l'Ontario, au www.gocereals.ca.

- Comparer le rendement des cultivars à partir de données recueillies sur de longues périodes et dans un grand nombre de sites. Des cultivars qui fournissent d'excellents résultats dans certaines conditions environnementales peuvent s'avérer très décevants une autre année. Par exemple, un cultivar d'avoine qui excelle en l'absence de rouille peut donner le pire rendement une année où la rouille apparaît tôt en saison. Le choix des meilleurs cultivars donnant un rendement stable doit se fonder sur des données à long terme provenant de nombreux sites. Pour comparer les cultivars et leurs propriétés au fil du temps, il suffit d'utiliser la fonction **Head to Head** sur le site GoCereals (www.gocereals.ca).
- Choisir deux ou trois des meilleurs cultivars sur le marché. Il est toujours préférable de répartir les risques. Le choix de plusieurs cultivars réduit les risques de maladies et peut permettre d'étaler la charge de travail au moment des récoltes.

Tolérance à la germination sur pied

La résistance à la germination sur pied varie beaucoup d'un cultivar à l'autre. Plusieurs gènes définissent le facteur de dormance du blé. L'un des plus déterminants parmi ces gènes est lié au codage génétique du blé roux ou à la coloration rouge du son. De façon générale, le blé roux résiste mieux à la germination sur pied que le blé blanc, et les cultivars de blé vitreux roux y résistent souvent mieux que ceux de blé tendre roux. Comme les cultivars de blé blanc manquent de tolérance à la germination sur pied, on recommande de ne pas en cultiver plus que ce qu'il est possible de récolter en deux ou trois jours. Pour assurer la qualité de la récolte et un maximum de rentabilité, il vaut mieux récolter les cultivars de blé blanc en premier, aussitôt que possible, et les faire sécher au besoin.

Il ne faut pas confondre la tolérance à la germination sur pied avec la germination de la culture une fois mise en terre. La dormance dépend de la date, de la lumière et de la température. Lorsque la céréale est semée à l'automne, il s'est écoulé assez de temps, et le manque de lumière et la fraîcheur du sol l'emportent alors sur les facteurs de dormance. La vitesse de la levée après les semis est entièrement liée à la vigueur de la semence du cultivar et du lot de semence, et aucunement à sa couleur ou à sa classe.

Résistance à l'hiver et tolérance au froid

À son état le plus résistant, le blé d'automne peut supporter des froids extrêmes (-23 °C), ce qui n'est pas le cas de l'orge d'automne (10 °C). En Ontario, bien que le froid puisse souvent provoquer des dommages, il cause rarement la mort des plants sauf lorsqu'il se forme de la glace. La neige constitue un excellent isolant alors que la glace ne protège aucunement les plants du froid. Pour trouver plus d'information sur la tolérance au froid et la résistance à l'hiver, voir l'ouvrage *Winter Wheat Production Manual* de l'Université de la Saskatchewan, à l'adresse https://www.usask.ca/agriculture/plantsci/winter_cereals/ (chapitre 12 sur la survie à l'hiver, *Winter Survival*).

Facteurs propres aux cultures de céréales

Paille

La paille peut être très convoitée et avoir une grande valeur. D'ailleurs, la qualité de la paille est souvent un facteur à prendre en compte. Sa capacité d'absorption de l'humidité est une caractéristique recherchée pour la plupart des litières d'animaux d'élevage. La densité de la paille sèche non tassée est d'environ 40 kg/m³ (2,5 lb/pi³), et d'environ 80 kg/m³ (5 lb/pi³) pour la paille en balles; sa capacité d'absorption de l'eau est de 293 à 335 l/m³. Le marché des chevaux exige de la paille exempte de poussières. La production de paille est l'une des principales raisons pour lesquelles les producteurs continuent de cultiver de l'orge plutôt que du blé de printemps, même si les facteurs économiques liés à la production de grain jouent souvent en faveur de ce dernier.

L'orge de printemps est la céréale qui produit la moins grande quantité de paille, mais la paille de la meilleure qualité. La qualité et la quantité de la paille d'avoine sont bonnes. La paille de blé est moins absorbante que celle d'avoine ou d'orge (voir tableau 4-3, *Comparaison de la quantité et de la qualité de la paille*). Il y a également d'importants écarts de rendement en paille entre les cultivars au sein de chaque culture. Pour connaître les rendements en paille, on peut consulter la page des propriétés (*Traits*) de la zone V dans le cadre des essais réalisés sur les cultures de céréales de l'Ontario, sur le site www.gocereals.ca.

Tableau 4-3 – Comparaison de la quantité et de la qualité de la paille

Rang	Quantité (du plus au moins)	Qualité (du meilleur au pire) ¹
1	Blé d'automne	Orge de printemps
2	Orge d'automne	Céréales mélangées
3	Avoine de printemps	Avoine de printemps
4	Blé de printemps	Orge d'automne
5	Céréales mélangées	Blé de printemps
6	Orge de printemps	Blé d'automne

¹ Qualité de la paille d'après les préférences du bétail pour la litière.

Les producteurs qui ont besoin de paille et qui en apprécient les avantages peuvent aussi en améliorer la qualité en prévenant les maladies des cultures au moyen de fongicides. Cet aspect est particulièrement important si l'on souhaite produire une paille exempte de poussières pour le marché des chevaux. Pour obtenir de meilleurs rendements en paille, on peut opter pour la production d'orge d'automne dans les régions où cette culture survit facilement à l'hiver.

Valeur de la paille

La valeur de la paille est souvent un sujet très controversé. Elle dépend des quantités d'éléments nutritifs prélevées dans le sol et de l'ajout de matière organique qui y retourne. Le tableau 4-4, *Éléments nutritifs de la paille*, indique les teneurs possibles de ces éléments. Les concentrations d'éléments nutritifs sont très variables. La paille de cultivars de blé vitreux contient généralement moins d'azote – environ 1,25 kg/t (3,03 lb/t. c.) – que la paille de blé tendre. Les concentrations de potasse varient aussi énormément parce que cet élément, après le stade de maturité, est facilement entraîné par la pluie par lessivage (écart pouvant atteindre 500 %). Seule l'analyse permet de déterminer avec précision la valeur nutritive du produit.

Il y a aussi un désaccord sur la pertinence de l'inclusion de l'azote ou du soufre (environ 2,1 kg/t ou 5 lb/t. c.) dans le calcul de la valeur de la paille. Comme le rapport carbone/azote est assez élevé (environ 80/1), il faut un supplément d'azote (temporaire) pour faciliter la dégradation par les organismes du sol. C'est la raison pour laquelle de nombreux producteurs n'incluent pas l'azote dans le calcul de la valeur de la paille. Il en va de même pour le soufre. Les formules de calcul des concentrations moyennes d'éléments nutritifs, avec ou sans l'azote et le soufre, sont présentées au tableau 4-4, *Éléments nutritifs de la paille*.

Tableau 4-4 – Éléments nutritifs de la paille

Valeur de la paille en \$/t (P et K seulement) = \$/t de phosphate monoammonique x 0,003 + \$/t de potasse x 0,014

Valeur de la paille en \$/t (N, P, K et S) = \$/t d'urée x 0,015 + \$/t de soufre x 0,006 + valeur de P et K (équation ci-dessus)

Pour convertir la valeur en cents/livre, diviser par 22,05.

Élément nutritif	Moyenne	Minimum	Maximum
Azote (N)	7,0 kg/t (14,0 lb/t. c.)	4,2 kg/t (8,4 lb/t. c.)	10,7 kg/t (21,3 lb/t. c.)
Phosphore (P)	1,6 kg/t (3,2 lb/t. c.)	0,9 kg/t (1,8 lb/t. c.)	3,0 kg/t (6,0 lb/t. c.)
Potassium (K)	8,4 kg/t (16,8 lb/t. c.)	4,0 kg/t (8,0 lb/t. c.)	21,2 kg/t (42,5 lb/t. c.)

Source : MAAARO, 2003-2004 et Falk, 2004-2005.

Il est beaucoup plus difficile de quantifier la valeur de la matière organique qui retourne dans le sol avec la paille, bien que sa très grande importance ne fasse aucun doute. Les estimations varient : cette valeur pourrait être au moins égale à celle des éléments nutritifs prélevés, ou bien le prélèvement de quatre récoltes de paille à haut rendement pourrait avoir pour effet de réduire la teneur du sol en matière organique de 0,1 %. Selon l'état et la texture du sol, cette quantité de matière organique pourrait retenir au plus 4,4 cm (1,75 po) d'eau pour la croissance des cultures. En théorie, pendant une saison sèche, cette même quantité d'eau permettrait un gain de rendement de 0,24 t/ha (3,5 bo/ac) de soya, ou de 0,88 t/ha (14 bo/ac) de maïs. Il ne s'agit là que de simples calculs mathématiques, mais ils mettent en évidence l'importance du rôle de la matière organique avec la paille.

Points de réflexion sur la vente de paille

Étant donné que la paille enrichit la teneur en matière organique du sol, sa vente est un sujet très controversé. Des recherches menées à la station de recherche d'Elora sur la rotation des cultures à long terme ont clairement démontré que la présence de céréales dans la rotation compensait largement les conséquences négatives du retrait de la paille. Même en l'absence de paille et de culture couvre-sol (trèfle rouge), les cultures suivantes de maïs et de soya ont vu leur rendement grimper en flèche (12 % pour le maïs et 14 % pour le soya), et les paramètres de santé du sol (p. ex. matière organique, agrégats stables à l'eau) se sont grandement améliorés. Si le fait de vendre la paille améliore la rentabilité de la production de céréales au point où les producteurs maintiennent plus souvent les céréales dans leur rotation, alors il faudrait la vendre.

Néanmoins, comme la paille contient environ 1 cent/livre d'éléments nutritifs, le premier 1 cent/livre ne constitue pas un profit. Il devrait servir à acheter de la potasse et du phosphore pour remplacer les éléments retirés avec la paille.

Classes

Le nombre de classes de blé continue de s'accroître (voir tableau 4-5, *Caractéristiques de diverses classes de céréales*). Au milieu des années 1980, seuls le blé de printemps destiné au bétail et le blé tendre blanc d'automne étaient cultivés en Ontario; depuis cette date, le nombre de classes s'est multiplié de façon spectaculaire, et ce mouvement devrait se poursuivre puisque d'autres cultivars destinés à des marchés spécifiques sont en cours de développement. À bon nombre de ces classes sont associés des rendements et des primes dont il faut tenir compte au moment de choisir les cultivars. Par exemple, les cultivars de blé vitreux roux ont généralement un rendement de 10 % inférieur à celui du blé tendre roux. Les primes doivent donc être suffisantes pour compenser la perte de rendement associée à la culture du blé vitreux roux.

Puisque les caractéristiques varient d'une exploitation à l'autre, les résultats varient également. Sur les sols qui sont déjà riches en azote (élevages produisant du fumier ou des fourrages), il est beaucoup plus facile d'obtenir une teneur élevée en protéines pour toucher ces primes. Sur les terres destinées aux cultures commerciales, il faut souvent beaucoup plus d'azote pour obtenir les teneurs en protéines optimales dans les cultivars de blé de qualité non pâtissière (voir les classes *Blé roux d'automne* dans le tableau ci-après). Tous ces facteurs doivent être pris en compte au moment du choix d'un cultivar.

Espèces céréalières

Orge

Tous les types d'orge ont le potentiel génétique de former six rangs de grains par épi (orge à six rangs), mais certains n'en ont que deux. En général, les cultivars à deux rangs ont des grains plus gros, et leurs plants sont plus petits et résistent mieux à la rouille des feuilles et au mildiou. Ils ont souvent un rendement moins élevé que les cultivars à six rangs. Ces derniers résistent habituellement mieux à la rhynchosporiose et supportent plus facilement la chaleur et l'humidité, ce qui les rend plus tolérants à un semis tardif.

Tableau 4-5 – Caractéristiques de diverses classes de céréales

Classes	Usages et propriétés	Remarques
Blé tendre blanc d'automne	• Blé de qualité pâtissière • Faible teneur en protéines • Rendement élevé	• Sensible à la germination sur pied • Ne pas épandre trop d'azote
Blé tendre roux d'automne	• Blé de qualité pâtissière • Faible teneur en protéines • Rendement élevé	• Ne pas épandre trop d'azote
Blé roux d'automne de qualité non pâtissière (blé vitreux roux d'automne)	• Mélange de blé panifiable, craquelins • pâte à pizza • Teneur élevée en protéines souhaitable • Rendement plus faible que le blé tendre	• Besoin de plus d'azote • Qualité plus variable • Possibilité de primes
Blé blanc d'automne de qualité non pâtissière (blé vitreux blanc d'automne)	• Farines de grain entier • Nouilles asiatiques • Bière	• Sensible à la germination sur pied • Besoin de plus d'azote • Cultivar difficile à trouver
Blé dur d'automne	• Pâtes alimentaires • Faible rendement	• Risque élevé de fusariose • Cultivar difficile à trouver
Cultivars de blé de spécialité d'automne	• Variables	• Obligation de maintien de l'identité du cultivar
Cultivars de blé de meunerie de printemps	• Mélange de blé panifiable • Teneur élevée en protéines • Faible rendement	• Réagit très bien aux semis précoces • Prix élevé
Blé vitreux blanc de printemps	• Produits panifiés de grain entier • Teneur élevée en protéines • Faible rendement	• Réagit très bien aux semis précoces • Prix élevé • Cultivar difficile à trouver
Blé dur de printemps	• Pâtes alimentaires • Faible rendement	• Réagit très bien aux semis précoces • Prix élevé • Risque élevé de fusariose • Cultivar difficile à trouver
Cultivars de blé fourrager de printemps	• Teneur élevée en protéines • Rendement moyen	• Meilleurs résultats avec des semis précoces • Ne pas mélanger avec du blé de meunerie
Orge d'automne	• Rendement élevé • Faible résistance à l'hiver • Faible résistance à la verse	• Semer tôt • Enlèvement des barbes difficile au battage
Orge à six rangs	• Orge fourragère, généralement • Excellente paille • Plus grande tolérance à la chaleur • Plus grande tolérance aux semis tardifs	• Moins bonne qualité du grain • Ne pas épandre trop d'azote
Orge de printemps à deux rangs	• Types pour meunerie et pour brasserie • Excellente paille	• Ne pas épandre trop d'azote
Avoine	• Nécessité d'une qualité élevée pour la meunerie et les chevaux • Bonne paille	• Bons résultats avec des semis précoces • Tolère les sols mal drainés

Orge d'automne

En Ontario, on cultive autant l'orge de printemps que l'orge d'automne. L'orge d'automne doit passer par une période de températures basses pendant laquelle elle subit une vernalisation avant la floraison et la formation des grains. L'orge d'automne semée au printemps ne produit pas de grains, contrairement à l'orge de printemps qui n'a pas besoin de vernalisation.

L'orge d'automne donne un rendement beaucoup plus élevé que l'orge de printemps, mais elle est beaucoup moins résistante à l'hiver que le blé d'automne. Elle survit seulement dans les zones où les hivers sont doux ou qui reçoivent une bonne couche de neige. L'orge d'automne doit être semée plus tôt que le blé d'automne, ce qui la rend plus vulnérable au virus de la jaunisse nanisante de l'orge et à la moisissure des neiges. Elle mûrit plus tôt que le blé d'automne, et certaines années, elle permet une double récolte. Dans les zones où la culture de l'orge d'automne est possible, elle a atteint des rendements de 8,1 t/ha (150 bo/ac).

Orge à grains nus

L'orge couverte ou orge vêtue contient environ 10 % d'enveloppe et de 90 % de grain. Dans l'orge à grains nus, une bonne partie de l'enveloppe se décolle au moment de la récolte. L'orge à grains nus a un poids spécifique plus élevé et une teneur en fibres plus faible que l'orge vêtue. Ses grains doivent être manipulés avec soin parce que l'embryon (germe) est fragile. La quantité de paille qui se sépare du grain dépend en partie des conditions climatiques au moment de la récolte. L'orge à grains nus donne un rendement moins élevé que les cultivars vêtus parce que les enveloppes restent au champ; cependant elle a des teneurs en énergie et en protéines plus élevées.

Avoine

L'avoine est une culture fourragère traditionnelle en Ontario, notamment pour les chevaux. Son contenu en protéines est plus équilibré et elle a une teneur en fibres plus élevée que l'orge. Il est important de choisir des cultivars résistants à la rouille des feuilles. Par ailleurs, le nerprun est l'hôte intermédiaire de la rouille des feuilles de l'avoine, et il faut l'éliminer du pourtour des champs dans la mesure du possible.

En 2006, une nouvelle « race » de rouille a vaincu la résistance génétique de l'avoine à la rouille couronnée. Tant qu'il n'existe pas de cultivar qui résiste à cette nouvelle variante, il faut pulvériser du fongicide sur l'avoine avant son épiaison, sans quoi la rouille pourrait grandement nuire à son rendement et à sa qualité (75 % de perte de rendement, 50 % de perte de poids spécifique). Le Nord de l'Ontario fait exception à cette règle, car il n'est pas encore touché par le problème de rouille.

Avoine de meunerie

Comme elle est destinée à la consommation humaine, l'avoine de meunerie doit satisfaire à certaines exigences de qualité : grains ventrus, poids spécifique élevé, et gruaux (grain) exempt de décoloration et de corps étrangers (insectes et graines de mauvaises herbes et d'autres espèces cultivées). Les exigences visant l'avoine de meunerie sont affichées sur le site www.grainscanada.gc.ca; (sous **Guides et manuels**, cliquer sur *Guide officiel du classement des grains*).

Avoine nue

L'avoine nue peut intéresser les éleveurs de porcs et de volaille parce que son grain (gruaux) contient sensiblement la même quantité d'énergie métabolisable que le maïs. Elle a également une teneur élevée en

protéines de bonne qualité (14 à 20 %). Il est possible de formuler des rations où l'avoine nue constitue la principale source d'énergie; il suffit d'y ajouter de faibles quantités de tourteau de soya, de tourteau de canola ou de lysine (un acide aminé) pour obtenir un rendement comparable à celui du tourteau de soya-maïs.

L'avoine nue devient du gruaux au battage. Les fines enveloppes restent dans le champ sous forme de paille, ce qui fait perdre aux grains d'avoine de 25 à 30 % de leur poids par rapport aux cultivars ordinaires qui conservent leur enveloppe. Le gruaux des cultivars actuels est recouvert d'une couche de poils fins qui l'empêchent de s'écouler librement et qui causent des démangeaisons, ce qui rend l'avoine désagréable à manipuler. Il y a eu de grandes améliorations à ce chapitre avec l'introduction de nouveaux cultivars.

Il est important de prendre des précautions lors du semis, de la récolte, de la manutention et de l'entreposage de l'avoine nue. Comme le grain n'est pas protégé par l'enveloppe, son germe est très fragile. On doit aussi prendre des précautions au moment des semis. La récolte et la manipulation peuvent endommager l'embryon. Par ailleurs la grande quantité d'huile qui se trouve à la surface du grain attire les insectes des entrepôts. Enfin, il faut maintenir la teneur en eau au-dessous de 10 % pour que le grain conserve sa qualité pendant l'entreposage.

Mélanges de céréales

Les mélanges de céréales occupent une superficie importante en Ontario. Il s'agit le plus souvent d'avoine et d'orge, mais certains mélanges contiennent du blé de printemps ou des pois des champs. Les mélanges de céréales sont destinés uniquement à l'alimentation animale.

On ne peut formuler de directives quant aux meilleurs mélanges. En général, les cultivars d'avoine et d'orge qui donnent les meilleurs rendements lorsqu'ils sont semés en peuplements purs font de même dans les mélanges, mais les cotes de maturité des éléments d'un même mélange doivent être compatibles. L'ajout de blé ou de pois augmente les teneurs en énergie et en protéines du grain, mais entraîne aussi une réduction des rendements.

Les maladies des feuilles et des épis sont habituellement beaucoup moins graves dans les cultures de mélanges de céréales que dans les peuplements purs d'avoine ou d'orge. Les cultures d'avoine et d'orge mélangées

tolèrent mieux les conditions de drainage irrégulières; ainsi, la composante qui devient prédominante est l'orge dans les zones plus sèches du champ et l'avoine dans les zones mal drainées.

Blé d'automne

Le blé d'automne est la culture céréalière qui occupe la plus grande superficie en Ontario, et il est produit dans toute la province. Tout comme l'orge d'automne et le seigle d'automne, il doit subir une vernalisation, c'est-à-dire une période froide (en deçà de 5 °C) qui le fait passer du stade végétatif au stade reproductif. Pour le blé, le meilleur stade pour la vernalisation est celui de cinq feuilles, mais elle peut avoir lieu dès le début de la germination. Ainsi le blé d'automne peut être semé à n'importe quel moment de l'automne jusqu'aux gelées et avoir une épiaison normale l'année suivante. Le blé d'automne semé au printemps n'a pas subi de vernalisation et n'atteint donc jamais le stade reproductif. On sème parfois le blé d'automne au printemps pour donner une pelouse qui n'a presque jamais besoin d'être coupée.

Blé de printemps

Blé fourrager

Le blé fourrager est une source de protéines et d'énergie plus concentrée que l'orge ou l'avoine. Il est nécessaire de limiter la quantité de blé fourrager dans la ration alimentaire des non-ruminants pour éviter les problèmes digestifs. En général, le blé ne doit pas dépasser 25 % de la ration totale. Il est recommandé de consulter un nutritionniste pour obtenir plus d'information à ce sujet.

Certains cultivars de blé fourrager peuvent donner des rendements semblables à ceux de l'avoine et de l'orge de qualité fourragère. Parfois, ils peuvent atteindre une qualité qui les rend propres au marché du blé de meunerie. Pour savoir si un cultivar donné est de qualité meunière ou fourragère, il suffit de visiter le site www.gocereals.ca. Lorsque des cultivars de blé fourrager donnent un produit de qualité meunière, c'est une bonne nouvelle, mais il ne faut pas en faire une attente.

Blé de meunerie

Pour que le produit soit accepté sur le marché, il faut miser sur sa qualité et accorder l'attention voulue aux facteurs tels que le choix du cultivar, la précocité des semis et la lutte contre les mauvaises herbes. Les cultivars de blé de printemps donnent habituellement

un couvert très clairsemé, d'où l'importance accrue de la lutte contre les mauvaises herbes, en particulier les graminées annuelles. Ces cultivars constituent donc une culture-abri idéale pour un sous-semis de luzerne ou de foin.

Seigle

Les types de seigle de printemps et d'automne sont cultivés et disponibles en Ontario, mais le seigle d'automne est plus répandu. Généralement, on sème le seigle d'automne dans les sols sableux légers où l'on produit du tabac et des cultures maraîchères, pour prévenir l'érosion éolienne et enrichir le sol en matière organique. Le seigle de printemps est parfois cultivé comme plante fourragère annuelle. Contrairement aux autres cultures céréalières, le seigle est assez sensible à l'ergot, ce qui nuit à son utilisation comme aliment destiné aux animaux ou aux humains.

Parmi les céréales d'automne, c'est le seigle qui résiste le mieux à l'hiver. Il est précoce et vient à maturité bien avant le blé ou l'orge d'automne. Par contre, étant donné qu'il est difficile à battre, et en dépit de sa maturité précoce, souvent, on ne le récolte que longtemps après le blé ou l'orge pour laisser le temps à la paille de se détériorer et faciliter ainsi le battage.

Certains éleveurs souhaitant obtenir un supplément de fourrage sèment du seigle d'automne après l'ensilage du maïs. Ce seigle commence à épier au printemps suivant, vers la mi-mai; il est alors coupé et envoyé à l'ensilage préfané ou à l'ensilage en balles. Les haricots secs comestibles ou le soya sont alors semés sans que le retard des semis ait de répercussions notables sur les rendements. Cette pratique comporte cependant certains risques dont les effets allélopathiques (toxicité des résidus de seigle en décomposition pendant la croissance de la nouvelle culture) et la possibilité d'une repousse de seigle dans les cultures de blé des années suivantes.

Triticale et épeautre

Le triticale (un croisement de blé et de seigle) et l'épeautre sont cultivés à petite échelle en Ontario. Il existe du triticale d'automne et du triticale de printemps. On cultive le premier comme fourrage, comme le seigle (ci-dessus), et on ne cultive le second que comme fourrage d'urgence lorsque les prairies de fauche sont détruites par l'hiver, le plus souvent en même temps que des pois (voir *Graminées annuelles de saison chaude* au chapitre 3, *Cultures fourragères*).

L'épeautre, un précurseur du blé moderne, est cultivé principalement pour le marché des produits biologiques. Entre l'épeautre et le blé, il n'y a presque aucune différence génétique si ce n'est le codage de la « paillette » : celle du blé se détache facilement alors que celle de l'épeautre adhère au grain.

Biotechnologie et cultures céréalières

La plupart des plantes cultivées sont diploïdes, c'est-à-dire que leurs chromosomes sont par paires; c'est le cas de l'orge et de l'avoine. Chez le blé dur, les chromosomes vont par quatre (doubles paires), et la plante est donc tétraploïde (génome AABB). Tous les autres blés cultivés en Ontario sont hexaploïdes, c'est-à-dire que leurs chromosomes vont par six – paires triples (génome AABBDD). Cela complique le transfert de gènes dans le blé. Aussi, la marge de profit liée à la production de semences et à l'amélioration génétique est beaucoup moins importante que pour bien d'autres espèces cultivées. De plus, chez les consommateurs, le degré d'acceptation du blé génétiquement modifié est très faible, de sorte que les investissements en biotechnologie sont moindres pour cette espèce. C'est pourquoi la mise au point de cultivars de céréales ayant des caractéristiques particulières à l'aide de la technologie de transfert génique est au point mort.

Cette situation est appelée à changer. Il reste à voir toutefois comment l'industrie et les consommateurs réagiront à ces changements. Les producteurs doivent être au fait des progrès à ce chapitre ainsi que des exigences de maintien et de séparation de l'identité qui peuvent en découler.

Semis et croissance de la culture

Profondeur de semis

La profondeur de semis peut avoir une grande influence sur la croissance des plants (voir figure 4-1, *Nombre de jours avant la levée selon la profondeur de semis*), mais elle doit toujours être déterminée selon l'état du sol au moment des semis. Il ne faut jamais semer superficiellement dans un sol sec en espérant que la pluie facilitera la germination. Il convient plutôt de semer dans un sol humide pour assurer une levée rapide et uniforme, même s'il faut aller profond. Si par contre le sol est détrempé, on pensera à effectuer un semis peu profond ou à faciliter l'assèchement par un travail du sol supplémentaire.

Les recherches et les innovations technologiques portant sur la maîtrise de la profondeur de semis accusent un retard important en ce qui a trait aux céréales, comparativement aux cultures de maïs et de soya. Avec les semoirs actuels, la profondeur de semis peut fluctuer de 1,25 à 7,5 cm (0,5 à 3 po) sur le même rang, selon l'état du sol.

On peut tenter de resserrer cet écart en utilisant des dispositifs tasseurs qui maintiennent les semences au fond de la raie. Le nivellement du terrain et les vitesses de semis moindres contribuent à réduire ces fluctuations. La profondeur des semis de céréales ne sera jamais aussi précise que celle du maïs tant que des jauges de profondeur (roues plombeuses) suivront des ouvre-sillons à double disque ou que des coutres simples sans bras parallèles feront partie de l'équipement de série.

Les céréales sont les cultures qui réagissent le mieux à un semis précoce qui est fait au bon moment (voir *Dates de semis*). Lorsqu'elles sont semées trop profond, elles peuvent lever avec une semaine de retard ou plus (voir figure 4-1). Un retard de la levée a les mêmes effets qu'un retard équivalent de la date des semis et entraîne la même réduction du rendement. Il est évident que la précision des semoirs doit être améliorée.

À des températures automnales normales, soit de 15 °C le jour et de 5 °C la nuit, pour la levée, il faut compter 8 jours ($15\text{ °C} + 5\text{ °C} = 20/2 = 10\text{ DJ/jour}$), et 5 jours supplémentaires de retard par pouce de profondeur de semis. Des températures plus basses retardent davantage la levée.

Profondeur de semis optimale

Il faut semer les céréales uniformément à une profondeur de 2,5 cm (1 po) pour favoriser une levée hâtive et le développement rapide de racines coronales bien ramifiées. Comme l'humidité est un facteur primordial, il faut absolument que la graine soit placée dans un sol humide. Il est peu utile de semer à 2,5 cm (1 po) s'il n'y a pas d'humidité à cette profondeur.

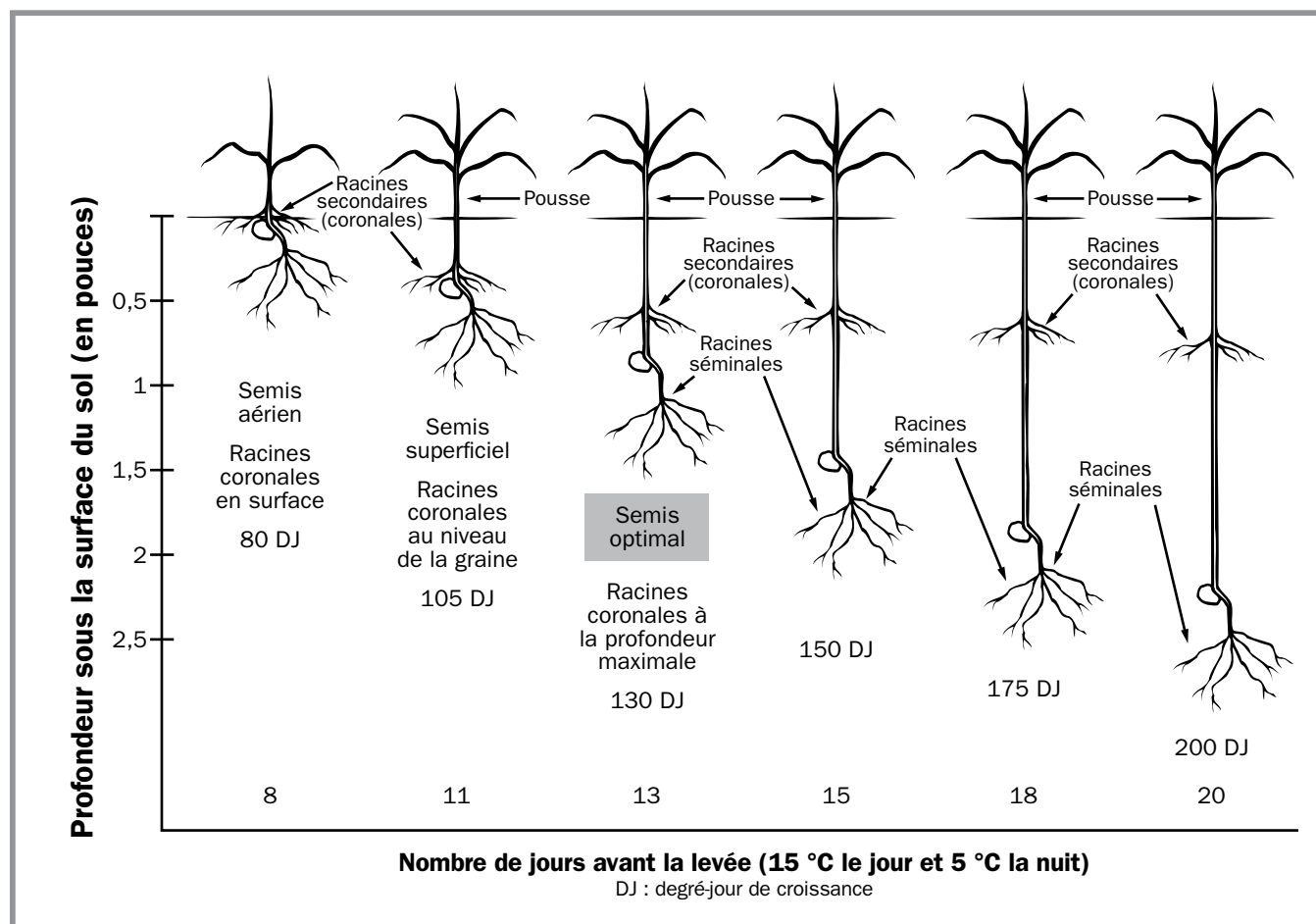


Figure 4-1 – Nombre de jours avant la levée selon la profondeur de semis

Même si 2,5 cm (1 po) est une profondeur de semis optimale, la plupart des semoirs ne peuvent atteindre un tel niveau de précision. Un semis pas assez profond est presque toujours plus nuisible pour le rendement qu'un semis profond. Si l'on tient compte de la précision du semoir, il faudrait que la profondeur de semis soit comprise entre 3 et 4 cm (entre 1,25 à 1,5 po). Les producteurs qui réussissent à semer le blé d'automne avec précision voient ce dernier afficher un meilleur taux de survie à l'hiver et des rendements plus élevés.

Croissance des céréales

Il est possible de déterminer le stade de croissance des plants de céréales par le décompte des degrés-jours (DJ) de croissance accumulés. Ces calculs sont expliqués plus en détail au chapitre 10, *Dépistage*, dans la section *Degrés-jours*. Pour les céréales, on utilise la valeur 0 comme base de calcul.

De façon générale, les semences de céréales ont besoin de 80 DJ pour germer et de 50 autres pour lever pour chaque pouce de profondeur de semis.

La figure 4-2, *Stades de croissance des céréales*, montre ces différents stades selon l'échelle de Zadok (l'échelle de Feekes, également employée pour mesurer la croissance des céréales, mais surtout aux États-Unis, n'est pas représentée ici). La connaissance de ces stades est cruciale pour de nombreuses décisions de gestion. Les applications d'herbicides et d'azote doivent être effectuées au stade du tallage, et c'est aux stades de l'élongation et de l'épiaison que la lutte contre les maladies revêt la plus grande importance. La connaissance des stades de croissance de la culture est essentielle à la bonne planification des intrants et des mesures de prévention.

Pour en savoir plus sur les stades de croissance et leur identification, voir le *Guide de champ sur les stades de croissance des céréales* sur le site www.bayercropscience.ca (sous **Ressources et guides**).

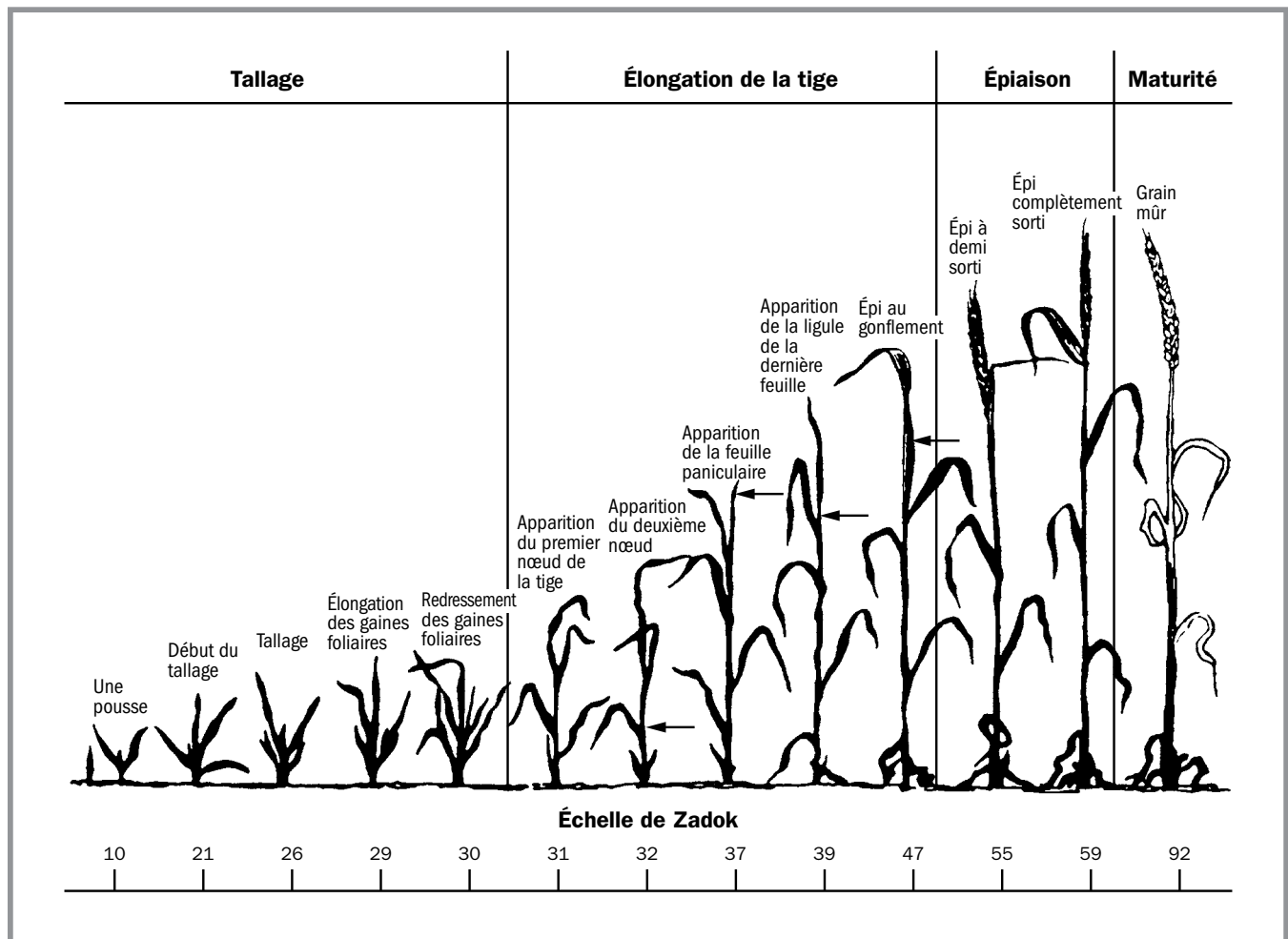


Figure 4-2 – Stades de croissance des céréales

Dates de semis

Les céréales sont plus sensibles à la date des semis que le maïs. Des études faites en Ontario montrent qu'après la date de semis optimale des céréales, la perte de rendement est de 0,07 t/ha/jour de retard (1,1 bo/ac/jour).

À cet effet, voir la figure 4-3, *Rendement du blé d'automne à l'échelle de la province de 1981 à 2014*. Les rendements records enregistrés en 2006 sont essentiellement attribuables à la date précoce des semis de l'automne précédent, tandis que les rendements faibles de 1993 sont le résultat d'un semis tardif à l'automne 1992. La faiblesse du rendement de 1996 était due à une grave épidémie de fusariose.

Semis précoces

Il peut arriver que les semis d'automne soient effectués trop tôt. Si les céréales sont semées plus de 10 jours avant la date de semis optimale, elles seront exposées à la mouche de Hesse, à la moisissure des neiges et au virus

de la jaunisse nanisante de l'orge. Bien que la mouche de Hesse soit souvent qualifiée de problème, l'Ontario n'a pas connu d'infestation d'envergure depuis au moins 1985; elle ne devrait donc pas entraver les semis précoces. Le virus de la jaunisse nanisante de l'orge est propagé par les pucerons, qui se nourrissent des plantules de blé. Les insecticides appliqués aux semences permettent de réduire le risque de propagation de cette maladie, sans l'éliminer complètement. Par ailleurs, les réponses des cultivars au virus de la jaunisse nanisante de l'orge sont présentées sur le site www.gocereals.ca. Comme les pucerons sont très sensibles au froid, leurs nombres et les problèmes qu'ils causent diminuent dès qu'il fait plus frais en automne. Pour plus d'information sur la mouche de Hesse, les types de pucerons ou le virus de la jaunisse nanisante de l'orge, voir le chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et le chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*.

Si le semis de céréales d'automne peut être fait trop tôt, les retards de semis comportent des risques bien plus importants pour ce qui est du rendement sur les sols

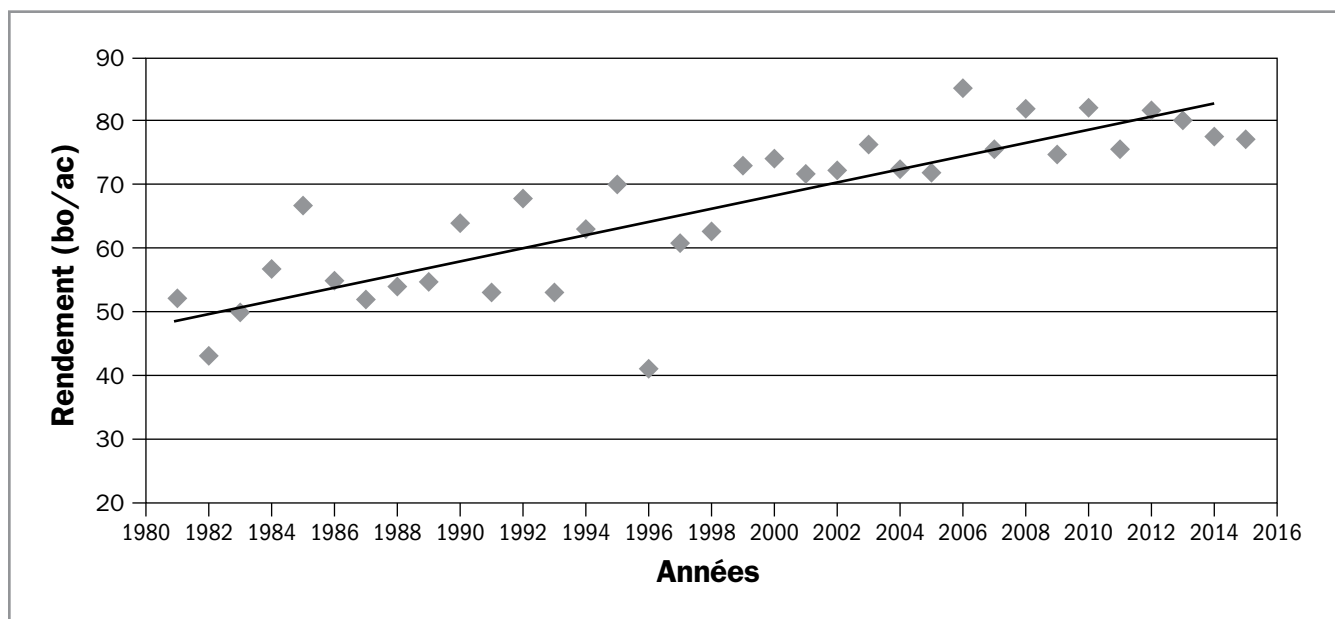


Figure 4-3 – Rendement du blé d'automne à l'échelle de la province de 1981 à 2014

lourds, argileux et mal drainés. Dans tous ces cas, il vaut mieux semer si l'état du sol le permet. Si les semis sont effectués plus de 10 jours avant la date optimale, il faut diminuer le taux de semis de 25 % pour prévenir la moisissure des neiges et la verse. Lorsque les semis ont lieu à une date aussi précoce, la réduction des taux de semis a souvent pour effet d'accroître le rendement.

Comme l'orge d'automne doit être semée tôt, il est important de choisir un cultivar qui tolère le virus de la jaunisse nanisante de l'orge ou d'utiliser des insecticides appliqués aux semences pour maîtriser les pucerons. Voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Céréales de printemps

Il est pratiquement impossible de semer des céréales de printemps trop tôt, à moins que le sol ne soit complètement détrempé. Devant les résultats spectaculaires produits par les semis précoces, certains producteurs envisagent de semer sur le sol gelé. Le temps frais et humide du printemps favorise le tallage et la production de gros épis. Dans ce cas, la date de floraison est également plus précoce, de sorte que la culture échappe aux chaleurs et à la sécheresse qui se produisent souvent à la fin juin et en juillet.

Les dates cibles pour les semis de céréales de printemps sont le 10 avril dans le Sud-Ouest de l'Ontario, le 15 avril dans le Centre et l'Est de la province et le 10 mai dans le Nord. Dans les zones recevant plus de 3 100 unités thermiques de croissance, la culture des céréales de printemps n'est généralement pas recommandée, et les semis sont carrément à proscrire après le 20 avril. Pour connaître les dates limites auxquelles les cultures peuvent être semées pour être admissibles à l'assurance-production, il faut communiquer avec Agricorp.

Céréales d'automne

Comme la date des semis de blé d'automne dépend souvent de celle de la récolte du soya, la date de semis optimale peut être dépassée, ce qui engendre des pertes de rendement. Pour le blé cultivé après le soya, voir les directives simples présentées à la section *Semis de blé d'automne après une culture de soya* du chapitre 2, *Soya*.

Pour le blé d'automne, voir la figure 4-4, *Dates de semis optimales du blé d'automne en Ontario*. Les isolignes tracées sur la carte reflètent les conditions météorologiques moyennes de 1960 à 1990, mais les dates réelles pourront varier d'une année à l'autre. Pour améliorer la survie hivernale de l'orge d'automne, il faut la semer de sept à dix jours avant les dates de semis optimales pour le blé d'automne. L'orge d'automne est moins résistante à l'hiver que le blé d'automne.

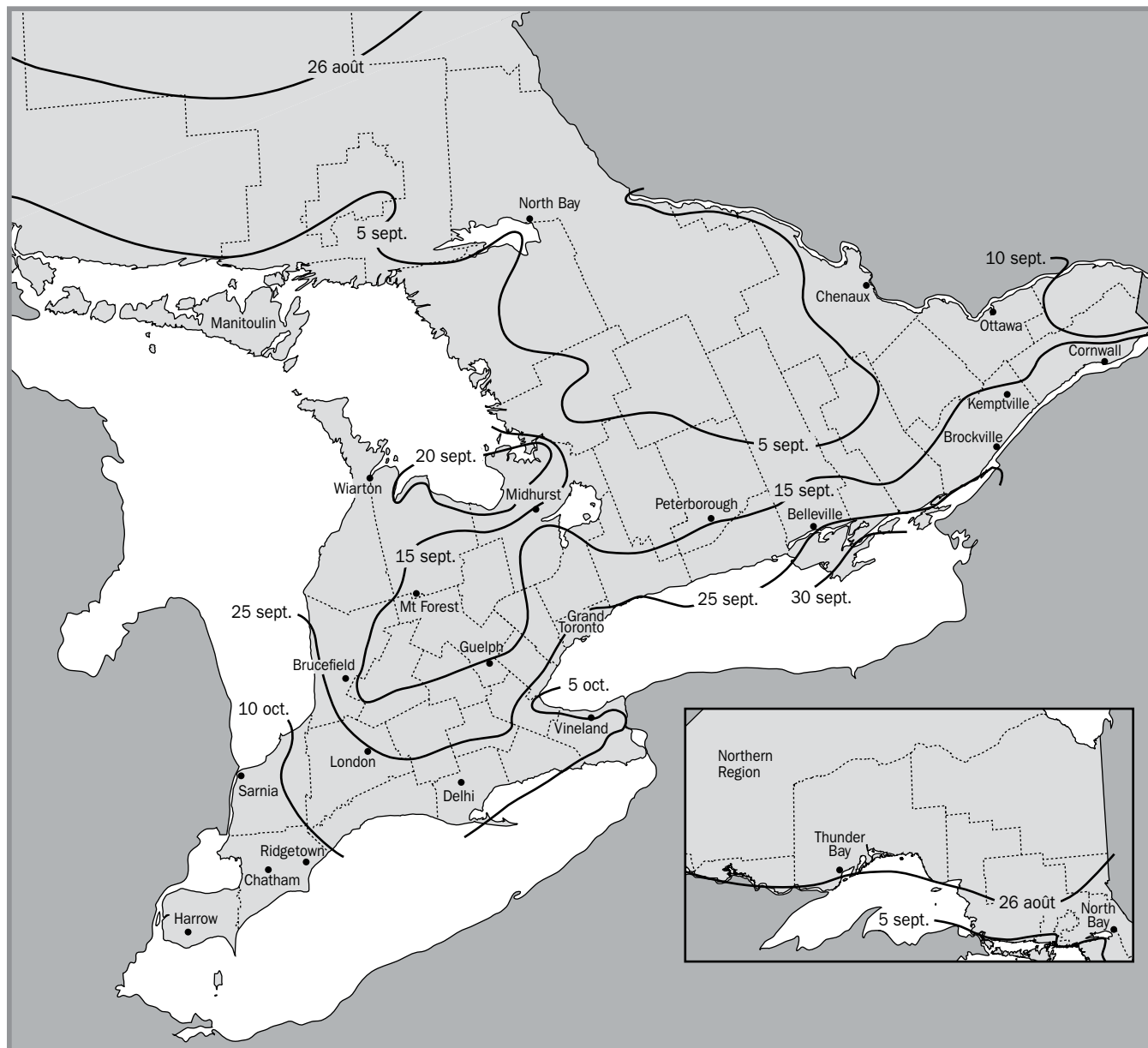


Figure 4-4 – Dates de semis optimales du blé d’automne en Ontario

Reprise des semis

Les céréales d’automne comptent parmi les rares cultures dont il est de nouveau possible d’évaluer l’état au printemps pour semer une autre espèce en cas de survie hivernale insuffisante. Il faut alors évaluer les cultures de blé en avril et au début mai, puis prendre la décision de reprendre les semis ou non le plus tard possible pour pouvoir évaluer avec précision l’état du peuplement et la santé des plants.

Les plants endommagés se rétablissent souvent si les conditions météorologiques sont bonnes; par contre, par temps chaud et sec, des plants qui auraient dû se rétablir peuvent mourir. Voir le tableau 4-6, *Calcul du potentiel de rendement pour plusieurs densités de peuplement*. La date de semis aura une incidence sur la décision de reprendre les semis ou non.

Tableau 4-6 – Calcul du potentiel de rendement pour plusieurs densités de peuplement

Écartement des plants	Potentiel de rendement	Rendement	
		Semis le 5 octobre	Semis le 15 octobre
66 plants/m de rang (20 ¹ plants/pi de rang)	100 %	5,34 t/ha (80 bo/ac)	4,84 t/ha (72 bo/ac)
33 plants/m de rang (10 plants/pi de rang)	95 %	5,11 t/ha (76 bo/ac)	4,57 t/ha (68 bo/ac)
23 ² plants/m de rang (7 plants/pi de rang)	90 %	4,84 t/ha (72 bo/ac)	4,37 t/ha (65 bo/ac)
20 plants/m de rang (6 plants/pi de rang)	85 %	4,57 t/ha (68 bo/ac)	4,10 t/ha (61 bo/ac)
16 plants/m de rang (5 plants/pi de rang)	80 %	4,30 t/ha (64 bo/ac)	3,90 t/ha (58 bo/ac)

Source : Smid, Collège de Ridgeway, Université de Guelph, 1986-1990.

¹ Peuplement complet.

² Des plants sains et distribués uniformément, avec une densité de 23 plants/m (7 plants/pi) de rang, donneront quand même 90 % du potentiel de rendement; dans ce cas, il n'est pas nécessaire de reprendre les semis. Toutefois, si la densité de peuplement moyenne est de 23 plants/m (7 plants/pi) de rang, mais que les plants ne sont pas distribués uniformément ou sont gravement endommagés par le déchaussement ou pour d'autres raisons, le rendement ne sera pas satisfaisant, de sorte qu'il faudra reprendre les semis.

Taux de semis

Traditionnellement, on avait l'habitude d'exprimer les taux de semis recommandés en boisseaux par acre, et la norme était de 2 bo/ac (135 kg/ha) pour la plupart des céréales.

Or ce genre de généralisation n'est désormais plus acceptable parce que le taux de semis dépend du calibre des semences. Il faut calculer les taux de semis optimaux pour chaque culture céréalière. Le tableau 4-7, *Densités de peuplement recommandées pour les cultures céréalières*, donne les quantités recommandées selon le type de culture. Le tableau 4-8, *Calcul du taux de semis nécessaire en fonction de l'écartement des rangs pour atteindre la densité de peuplement visée*, indique le nombre de graines par mètre de rang et le nombre de kilogrammes de semence par hectare qui sont nécessaires pour obtenir différentes densités de peuplement. Le tableau 4-9, *Calcul du taux de semis nécessaire en fonction du nombre de semences pour atteindre la densité de peuplement visée*, indique la quantité de semences nécessaire pour obtenir la densité de peuplement souhaitée.

Formule de calcul du taux de semis :

$$\text{Taux de semis (kg/ha)} = \frac{\text{nombre de graines/ha}}{\text{nombre de graines/kg}} \times \frac{100}{\% \text{ germination}}$$

$$\text{Taux de semis (lb/ac)} = \frac{\text{nombre de graines/ac}}{\text{nombre de graines/kg}} \times \frac{100}{\% \text{ germination}}$$

Exemple de calcul du taux de semis

Le nombre de graines par kilogramme (graines par livre) devrait être indiqué sur l'étiquette ou le sac de semences. Par exemple, si on vise 3,7 millions de graines/ha (1,5 million de graines/ac) et que le taux de germination est de 95 %, à raison de 26 500 graines/kg (12 000 graines/lb), le taux de semis sera de 147 kg/ha (132 lb/ac).

$$\text{Système international} = \frac{3\,700\,000}{26\,500} \times \frac{100}{95} = 147 \text{ kg/ha (métrique)}$$

$$\text{Système anglais (impérial)} = \frac{1\,500\,000}{12\,000} \times \frac{100}{95} = 132 \text{ lb/ac}$$

Tableau 4-7 – Densités de peuplement recommandées pour les cultures céréalières

Culture	Densité de peuplement visée	
	Nombre de plants	Graines (x 1 000)
Orge	250-350 plants/m ² (23-33 plants/pi ²)	2 500-3 500 graines/ha (1 000-1 400 graines/ac)
Avoine	200-300 plants/m ² (19-28 plants/pi ²)	2 000-3 000 graines/ha (800-1 200 graines/ac)
Céréales mélangées	200-350 plants/m ² (19-33 plants/pi ²)	2 000-3 500 graines/ha (800-1 400 graines/ac)
Blé de printemps	300-400 plants/m ² (28-37 plants/pi ²)	3 000-4 000 graines/ha (1 200-1 600 graines/ac)
Blé d'automne	350-450 plants/m ² (33-42 plants/pi ²)	3 500-4 500 graines/ha (1 400-1 800 graines/ac)

Tableau 4-8 – Calcul du taux de semis nécessaire en fonction de l'écartement des rangs pour atteindre la densité de peuplement visée

Calculer le nombre de semences nécessaire par mètre de rang (nombre de graines par pied de rang) en fonction de l'écartement des rangs prévu.

Écartement des rangs	Densité de peuplement souhaitée (x 1 000)							
	2 000/ha (809/ac)	2 500/ha (1 012/ac)	3 000/ha (1 213/ac)	3 500/ha (1 416/ac)	4 000/ha (1 619/ac)	4 500/ha (1 861/ac)	5 000/ha (2 024/ac)	5 500/ha (2 226/ac)
25 cm (10 po)	49 (15)	62 (19)	75 (23)	89 (27)	102 (31)	112 (34)	125 (38)	138 (42)
20 cm (8 po)	39 (12)	49 (15)	62 (19)	69 (21)	82 (25)	92 (28)	100 (32)	110 (35)
19 cm (7,5 po)	38 (12)	46 (14)	56 (17)	66 (20)	75 (23)	85 (26)	94 (29)	104 (32)
18 cm (7 po)	36 (11)	43 (13)	52 (16)	62 (19)	69 (21)	79 (24)	88 (27)	97 (30)
15 cm (6 po)	30 (9)	39 (12)	46 (14)	52 (16)	59 (18)	69 (21)	75 (24)	83 (26)
10 cm (4 po)	20 (6)	25 (8)	30 (9)	36 (11)	41 (12)	45 (14)	50 (15)	55 (17)

Tableau 4-9 – Calcul du taux de semis nécessaire en fonction du nombre de semences pour atteindre la densité de peuplement visée

Calculer le taux de semis nécessaire en kg/ha (lb/ac) en fonction du nombre de semences par kilogramme ou par livre (souvent indiqué sur l'étiquette ou le sac de semences).

Nombre de semences	Densité de peuplement souhaitée (x 1 000)							
	2 000/ha (809/ac)	2 500/ha (1 012/ac)	3 000/ha (1 213/ac)	3 500/ha (1 416/ac)	4 000/ha (1 619/ac)	4 500/ha (1 861/ac)	5 000/ha (2 024/ac)	5 500/ha (2 226/ac)
17 600/kg (8 000/lb)	114 (101)	142 (127)	170 (152)	199 (178)	227 (202)	256 (233)	284 (253)	313 (278)
19 800/kg (9 000/lb)	101 (90)	126 (112)	151 (135)	177 (158)	202 (157)	227 (207)	252 (225)	278 (247)
22 100/kg (10 000/lb)	90 (81)	112 (101)	134 (121)	157 (142)	179 (162)	202 (186)	226 (202)	249 (223)
24 300/kg (11 000/lb)	82 (73)	102 (91)	122 (109)	142 (127)	162 (145)	184 (164)	206 (185)	226 (204)
26 500/kg (12 000/lb)	75 (67)	93 (83)	112 (100)	131 (117)	149 (133)	168 (150)	189 (170)	208 (187)
28 700/kg (13 000/lb)	69 (62)	86 (77)	103 (92)	121 (108)	138 (123)	155 (138)	174 (157)	192 (172)

Suite à la page suivante

Suite de la page précédente

Tableau 4-9 – Calcul du taux de semis nécessaire en fonction du nombre de semences pour atteindre la densité de peuplement visée

Calculer le taux de semis nécessaire en kg/ha (lb/ac) en fonction du nombre de semences par kilogramme ou par livre (souvent indiqué sur l'étiquette ou le sac de semences).

Nombre de semences	Densité de peuplement souhaitée (x 1 000)							
	2 000/ha (809/ac)	2 500/ha (1 012/ac)	3 000/ha (1 213/ac)	3 500/ha (1 416/ac)	4 000/ha (1 619/ac)	4 500/ha (1 861/ac)	5 000/ha (2 024/ac)	5 500/ha (2 226/ac)
30 900/kg (14 000/lb)	64 (55)	80 (71)	96 (86)	112 (100)	128 (114)	144 (128)	162 (146)	178 (160)
33 200/kg (15 000/lb)	59 (53)	75 (67)	90 (80)	104 (93)	120 (107)	134 (120)	151 (136)	166 (149)
35 400/kg (16 000/lb)	56 (50)	71 (63)	84 (75)	99 (88)	112 (100)	127 (113)	141 (127)	155 (140)

Utiliser les taux les plus élevés des tableaux 4-7, 4-8 et 4-9 :

- là où des problèmes risquent d'apparaître à la levée et au début de l'établissement des plantules (par exemple, si le lit de semence laisse à désirer ou si les semis se font par voie aérienne ou à la volée);
- si les semis sont faits tardivement et que le tallage sera réduit;
- sur les sols argileux très lourds.

Écartement des rangs

De nombreuses études ont porté sur les écartements des rangs de céréales permettant les meilleurs rendements. D'après un résumé des résultats de certaines recherches en provenance du Nord des États-Unis et de tout l'Ontario, y compris certains essais à la ferme effectués dans la province, rien ne permet de penser qu'il y aurait intérêt, dans les cultures de blé d'automne, à opter pour une distance inférieure à la valeur standard de 18 à 19 cm (7 à 7,5 po).

Il semble par ailleurs que l'accroissement des écartements s'accompagne d'une baisse de rendement; en effet, en Ontario, les recherches les plus récentes font état d'une perte de 8 % lorsque les rangs sont espacés de 38 cm (15 po) au lieu de 19 cm (7,5 po). Dans certains cas, cette baisse peut être compensée par une réduction des investissements en matériel et même se solder par une augmentation des profits. Les nouveaux semoirs à maïs et à soya en ligne pour rangs de 25 cm (10 po) permettent une mise en place des semences plus précise que les semoirs à céréales à écartement de 19 cm (7,5 po). Vu l'importance de la profondeur des semis, cette précision accrue peut compenser en partie les baisses de rendement

attribuables à l'écartement des rangs, comme en témoignent les données recueillies dans les comtés d'Essex et de Middlesex ainsi qu'en Ohio, où des semoirs de précision ont été utilisés sur des rangs écartés de 25 cm (10 po).

Pour ce qui est des céréales de printemps, les essais menés dans le Nord de l'Ontario ont montré des gains de rendement de plus de 5 % lorsque l'écartement des rangs passait de 18 à 10 cm (7 à 4 po). Il se peut donc que l'adoption d'un écartement de 10 cm (4 po) soit bénéfique dans cette région, mais ce serait difficile dans les systèmes de semis direct.

Rotations incluant le blé d'automne

La rotation des cultures fait partie intégrante de tout système de production. Le principal avantage de la rotation des cultures est de faire augmenter les rendements. Des rotations bien planifiées favorisent la lutte contre les insectes et les maladies et permettent de maintenir ou d'améliorer la structure du sol et sa teneur en matière organique. En plus d'améliorer les rendements, la succession de cultures différentes permet de réduire la pression exercée par les mauvaises herbes, d'étaler la charge de travail, de protéger le sol contre l'érosion et de réduire les risques. Le tableau 4-10, *Aspects de la gestion des cultures de blé après diverses cultures dans les rotations*, montre certains des risques liés aux cultures de blé dans les rotations et des options de gestion connexes.

Tableau 4-10 – Aspects de la gestion des cultures de blé après diverses cultures dans les rotations

Culture précédente	Commentaires
Pois de transformation	• Meilleure option pour la rotation. • Meilleurs résultats avec des semis précoces. • La présence d'azote résiduel réduit la quantité d'azote à épandre sur le blé. • La verse peut poser problème.
Haricots comestibles	• Excellente rotation. • La mise en terre en temps opportun est souvent possible. • Le rendement est plus élevé que si la culture de blé est précédée d'une culture de soya.
Soya	• Excellente rotation. • Lorsque la récolte du soya est retardée, le potentiel de rendement du blé semé tardivement est moins bon. • Sur les sols sableux, les populations de hanneton européen peuvent réduire les peuplements.
Canola	• Excellente rotation. • Possibilité de mise en terre en temps opportun. • Possibilité de réponse plus accentuée au phosphore de démarrage (le canola est non mycorhizien).
Maïs (ensilage ou grain)	• Risque maximal de fusariose. • Possibilité de mise en terre en temps opportun (ensilage). • Pour une culture de blé après du maïs, choisir un cultivar coté MR pour Fusarium (voir www.gocereals.ca) et prévoir l'épandage d'un fongicide pour prévenir cette maladie.
Luzerne (peuplements purs)	• Possibilité de mise en terre en temps opportun. • Risque de dommages causés par les insectes. • Étant donné le moment de la libération de l'azote par rapport aux besoins de la culture, les apports en azote ne sont pas entièrement mis à profit. Jusqu'à la moitié de l'azote peut être libérée après la fin de l'absorption par la culture.
Foin de graminées	• Rotation médiocre. • Le risque principal est le piétin-échaudage, une maladie des racines qui infecte la culture à l'automne avec possibilité de perte de rendement de plus de 50 %; risque d'autres maladies racinaires. • Possibilité de maîtrise partielle du piétin-échaudage par un semis plus tardif combiné à l'application d'un engrais de potasse placé avec les semences.
Avoine	• Rotation raisonnable. • Possibilité de mise en terre en temps opportun. • Peu de maladies passent du blé à l'avoine.
Orge	• Rotation correcte. • Possibilité de mise en terre en temps opportun. • Des maladies racinaires passent de l'orge au blé. • Possibilité de maîtrise partielle du piétin-échaudage par un semis plus tardif combiné à l'application d'un engrais de potasse placé avec les semences.
Blé	• Pire option (absence de rotation). • Pression maximale due aux maladies foliaires et racinaires. • Risque élevé de piétin-échaudage, de piétin-verse et de strie céphalosporienne avec peu d'options de gestion, voire aucune. • Prévoir au moins 10 % de perte de rendement.

Autres possibilités à explorer

Régulateurs de croissance

La verse des céréales peut être très problématique : si elle survient en début de croissance, elle se traduit par une perte de rendement importante. La résistance à la verse varie énormément d'un cultivar à l'autre (visiter www.gocereals.ca). Les doses d'azote, l'épandage de fumier, les maladies et les taux et dates de semis sont autant de facteurs qui jouent grandement sur la vulnérabilité des cultures à la verse.

On peut utiliser des régulateurs de croissance des plantes pour raccourcir la culture et accroître sa résistance à la verse. Ces régulateurs renforcent la tige des plants et améliorent souvent leur résistance à la verse sans les raccourcir du tout. Généralement, la différence de hauteur est de 5 à 7 cm (2 à 3 po). Certains régulateurs n'influent pas seulement sur la hauteur des plants : le chlorméquat-chlorure, par exemple, peut réduire la dominance apicale, favoriser le tallage ou permettre à la talle de rattraper un retard de développement. Il entrave également la fermeture

des stomates, ce qui augmente souvent légèrement le rendement, même en l'absence de verse (voir le tableau 4-11, *Effets des régulateurs de croissance des plantes*). Toutefois, cela peut aussi réduire le rendement si les plants souffrent d'un stress hydrique.

Les effets des régulateurs de croissance des plantes varient beaucoup d'une culture céréalière à l'autre, tout comme le risque de phytotoxicité (dégâts dus à l'application d'un régulateur). Les conditions météorologiques extrêmes interagissent avec la plupart des régulateurs, endommageant parfois gravement la culture. Si possible, éviter d'appliquer un régulateur si la température est basse (< 5 °C), haute (> 25 °C) ou si elle connaît de grandes fluctuations (> 20 °C) la veille, le jour même ou le lendemain. En règle générale, le blé d'automne est bien plus tolérant que les céréales de printemps, le blé de printemps pouvant être le plus sensible. Les cultivars d'une même espèce peuvent aussi réagir différemment. Il est important de lire et de suivre à la lettre les directives qui figurent sur l'étiquette d'un régulateur de croissance avant de l'utiliser.

Tableau 4-11 – Effets des régulateurs de croissance des plantes

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible		
Traitement	Rendement	Gain
Parcelle témoin	6,89 t/ha (102,5 bo/ac)	–
1,2 l/ha (0,5 l/ac) de Cycocel	7,04 t/ha (104,7 bo/ac)	2,2 %
2,5 l/ha (1,0 l/ac) de Cycocel	7,06 t/ha (105,0 bo/ac)	2,5 %
1,8 l/ha (0,72 l/ac) de Manipulator	7,10 t/ha (105,6 bo/ac)	3,0 %

Source : P. Johnson, S. McClure. Données recueillies dans neuf endroits entre 2011 et 2014.

Fongicides

Depuis une dizaine d'années, les fongicides font partie intégrante de la lutte intégrée contre les ravageurs dans la production de céréales en Ontario, et ce, pour plusieurs raisons : hausse du prix des céréales, amélioration génétique, amélioration des fongicides, effondrement de la résistance génétique aux maladies. Dans la mesure du possible, l'application d'un fongicide doit reposer

sur le dépistage et la présence d'une maladie. Toutefois, pour la rouille de l'avoine et la fusariose du blé, il faut recourir à un usage préventif de fongicide dans le cadre d'une stratégie de lutte intégrée contre les ravageurs, s'il est établi que le risque de maladie est élevé. Pour plus d'information sur l'identification des maladies et les méthodes de lutte, voir le chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*, et la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Les seuils d'intervention varient selon la maladie en cause, le stade de croissance, l'état de la culture et les conditions météorologiques. De façon générale, il est important de bien observer les deux feuilles supérieures des céréales à tous les stades de croissance. Si la maladie atteint l'une ou l'autre de ces feuilles ou les deux, il faut alors déterminer si le seuil d'intervention a été atteint et si un traitement est justifié.

Voici la nouvelle convention d'appellation pour les traitements de fongicide :

- Le traitement précoce, appelé T1, assure la protection contre les mauvaises herbes (stades de croissance : 30 et 31);
- Le traitement T2 protège la feuille paniculaire (stades de croissance : 37 à 39);
- Le traitement T3 cible la fusariose (stades de croissance : 58 à 61).

De manière générale, plus les cultures céréalières reçoivent du fongicide tard, plus leur rendement est élevé, jusqu'au traitement T3. C'est la protection des feuilles supérieures des céréales durant le remplissage des grains qui est la plus bénéfique pour le rendement. Néanmoins, l'écart de rendement entre le traitement T2 et le traitement T3 est faible. Par ailleurs, les traitements précoces ont moins d'incidence sur le rendement, comme le montre le tableau 4-12, *Effets du fongicide en fonction de la date du traitement*. Dans les conditions de croissance qui prévalent en Ontario, l'incidence sur le rendement économique est marginale lorsqu'on applique deux fongicides, et rare lorsqu'on en applique trois. Si un producteur décide d'utiliser plus d'un fongicide, il doit recourir à des modes d'action différents ou multiples pour retarder le développement de la résistance aux maladies.

Tableau 4-12 – Effets du fongicide en fonction de la date du traitement

Type de traitement	Évolution du rendement
T1	0,11 t/ha (1,6 bo/ac)
T2	0,46 t/ha (6,9 bo/ac)
T3	0,54 t/ha (8,0 bo/ac)
T1 + T2	0,54 t/ha (8,0 bo/ac)
T1 + T3	0,60 t/ha (8,9 bo/ac)
T2 + T3	0,73 t/ha (10,8 bo/ac)
T1 + T2 + T3	0,87 t/ha (12,9 bo/ac)

Source : Brinkman, Université de Guelph. Données du projet SMART recueillies entre 2009 et 2011.

Fusariose de l'épi

Les conditions climatiques de l'Ontario engendrent pratiquement chaque année un risque élevé de fusariose de l'épi pour les cultures céréalières. Dans la production de blé, cette maladie infecte les grains et produit des toxines (notamment le déoxynivalénol, ou DON) qui peuvent les rendre impropres à la consommation humaine et, dans les cas les plus graves, impropres à la consommation animale. Compte tenu du climat humide de l'Ontario et de la menace constante que pose la fusariose, il est permis et presque indispensable de recourir à un fongicide pour combattre la fusariose. L'orge de brasserie et les céréales cultivées pour l'alimentation des porcs sont également concernées.

L'essentiel sur les traitements aux pesticides : lutte contre la fusariose dans le blé

Les fongicides pour la lutte contre la fusariose ne donnent des résultats optimaux que s'ils sont appliqués avec des buses spéciales ou des combinaisons de buses. Pour maximiser la couverture de pulvérisation des épis de blé, il faut effectuer le traitement au bon moment et avec la meilleure configuration possible des buses.

Maximiser la couverture des épis de blé

Lors de l'application de fongicides pour la prévention de la fusariose, la clé est d'arroser tous les côtés des épis avec le produit. Les épis qui ne sont pas mouillés

ou qui le sont seulement en partie ne seront pas adéquatement protégés. Par ailleurs, de nombreuses buses d'aspersion et combinaisons de buses permettant de maximiser la couverture de tous les côtés des épis de blé ont été évaluées.

Les résultats montrent que plus l'orientation des jets est voisine de l'horizontale, vers l'avant et l'arrière, plus la couverture est complète. Avec les buses dont le jet était voisin de la verticale, la couverture des épis était nettement moins bonne. La figure 4-5, *Configuration suggérée pour un système à buses doubles orientées avant-arrière*, montre le dispositif en question vu de l'extrémité de la rampe d'aspersion. Les buses Turbo FloodJet^{MD} montées à intervalle 51 cm (20 po) le long de la rampe sont également orientées à 15° sous l'horizontale. Ce sont ces montages de buses doubles qui donnent la meilleure couverture de pulvérisation pour la lutte contre la fusariose.

Les buses ayant un angle d'attaque faible comme les doubles buses avant-arrière et les buses Turbo FloodJet alternatives donnent une bien meilleure couverture de pulvérisation des épis de blé que celles dont le jet est orienté vers le bas.

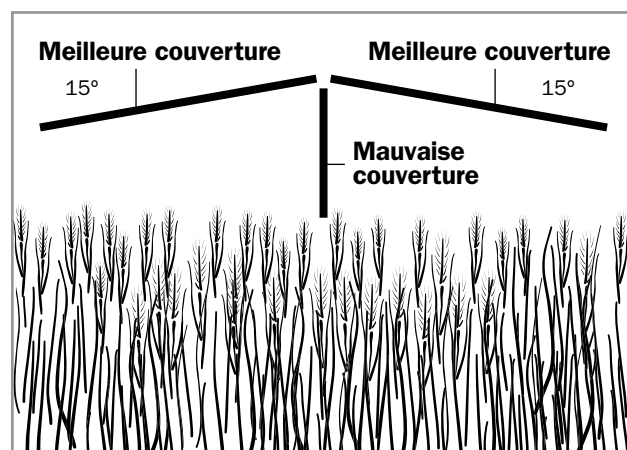


Figure 4-5 – Configuration suggérée pour un système à buses doubles orientées avant-arrière

Volumes d'eau

Il faut suivre les instructions figurant sur l'étiquette. L'emploi de plus grandes quantités d'eau devrait permettre d'améliorer la couverture de pulvérisation, notamment par temps venteux. Pour une application au sol, il faut employer des volumes d'eau de l'ordre de 170 à 190 l/ha (18 à 20 gal US/ac), sans dépasser cette deuxième valeur.

Vitesse d'avancement du pulvérisateur

La couverture reste presque inchangée entre 10 et 20 km/h. La modification des vitesses d'avancement n'entraîne aucun changement du classement des différents types de buses ni de la qualité des couvertures de pulvérisation des épis de blé.

Distance de la buse à la cible

Les buses doubles orientées avant-arrière et les buses Turbo FloodJet alternatives doivent être actionnées à une hauteur de 25 à 30 cm (10 à 12 po) au-dessus du couvert végétal. Il faut actionner les autres types de buses assez haut, soit à environ 50 cm (20 po) du couvert végétal, pour permettre un bon déploiement du jet. Au-dessus de cette valeur minimale, il en résultera une importante réduction de la couverture des épis, qui peut atteindre 50 % au double de cette distance.

Moment de l'application de fongicides pour la lutte contre la fusariose

Le jour 0 correspond au moment où 75 % des épis des tiges principales ont entièrement émergé. Il faut prévoir les applications entre les jours 1 à 4, l'idéal étant le jour 2.

Résistance au délavage par la pluie

Les fongicides actuellement employés contre la fusariose (Prosaro^{MD}, Caramba^{MD} et Proline^{MD}) résistent tous au délavage par la pluie pendant une heure. Le fongicide doit être appliqué lorsque les épis sont assez secs, car les gouttelettes peuvent provoquer le ruissellement du produit sur les épis et réduire la couverture. Pour en savoir plus, consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Nettoyage des pulvérisateurs avant le traitement du blé

Les pulvérisateurs doivent absolument être entièrement nettoyés, y compris les couvercles d'extrémité de la rampe. À l'épiaison, le blé est très sensible à toute contamination des produits de traitement, avec des pertes de rendement avoisinant les 100 % dans les cas graves. Si le pulvérisateur n'est pas convenablement nettoyé, il vaut mieux ne faire aucun traitement contre la fusariose.

Prévision de la fusariose

Weather INnovations Incorporated (WIN) offre le système de modélisation météorologique DONcast. Voir le site Web de WIN, à l'adresse www.weatherinnovations.com, et suivre les instructions.

Fongicides et maturité des cultures

Les fongicides contribuent à maintenir la santé des plants, et ainsi à réduire les infections dues aux maladies. Des plants sains donnent un meilleur rendement, mais retardent la récolte de deux à trois jours. On pourrait croire que les fongicides retardent la maturité, mais, en réalité, ils empêchent les plants de mourir prématurément à cause de la maladie, ce qui prolonge la période de remplissage des grains, permet aux plants d'atteindre leur pleine maturité et donne un meilleur rendement.

Interactions entre fongicides et azote

Des études récentes ont montré qu'il existait une synergie entre l'azote et les fongicides dans les cultures de blé d'automne (Hooker *et al*, 2014, Johnson et McClure, données recueillies sur le terrain, 2008-2014). Lorsqu'une culture reçoit de fortes doses d'azote conjuguées à des fongicides, l'augmentation de son rendement est supérieure au résultat cumulatif du fongicide et de l'azote, comme le montre la figure 4-6, *Effets du fongicide sur la réaction des cultures à l'azote*. Le fongicide maintient les plants en bonne santé, ce qui leur permet d'absorber la dose d'azote élevée. Cette réaction synergétique est particulièrement visible chez le blé d'automne, dont le potentiel génétique de rendement et la maturité précoce (moins de stress dû à la chaleur) permettent une meilleure utilisation de l'azote. L'ampleur de cette synergie dans les céréales de printemps fait actuellement l'objet de recherches. Notons que les premiers résultats chez les autres céréales ne sont pas aussi encourageants.

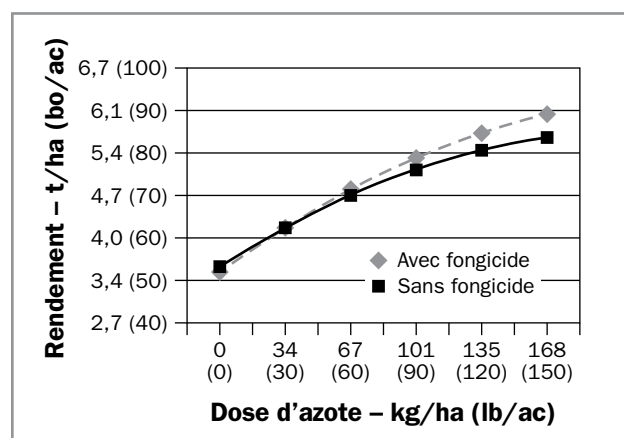


Figure 4-6 – Effets du fongicide sur la réaction des cultures à l'azote

Source : P. Johnson et S. McClure, MAAARO, 2013-2014.

Gestion de la fertilisation

Azote

Les céréales font partie de la famille des graminées et sont très sensibles aux apports d'azote. L'épandage de cet élément en quantité excessive provoque la verse des cultures de céréales, entraînant une perte de rendement et de qualité ainsi que des difficultés au moment de la récolte (voir photo 4-2). La dose d'azote optimale pour un champ donné dépend de la culture visée, des applications préalables de fumier ou d'engrais, du type de sol, de la rotation des cultures et des conditions météorologiques. Il faut partir des directives générales, mais aussi prendre en considération les observations sur la croissance de la culture et sa tendance à verser.



Photo 4-2 – Verse due au chevauchement des travées ou à des doses excessives d'engrais azoté

L'interaction entre fongicides et azote dans les cultures de blé d'automne a également une incidence sur les méthodes d'épandage de l'azote. Voir la figure 4-6, *Effets du fongicide sur la réaction des cultures à l'azote*. La valeur de la culture, le prix de l'azote et le coût des fongicides sont autant d'éléments qui servent à déterminer la dose maximale d'épandage d'azote qu'il est rentable d'utiliser.

Directives générales

Pour les directives générales sur les apports d'azote pour les céréales, voir le tableau 4-13, *Besoins en azote des cultures céréalières*, le tableau 4-14, *Besoins en azote du blé de qualité pâtissière*, et le tableau 4-17, *Directives relatives aux apports d'azote pour l'orge de printemps selon la teneur du sol en azote des nitrates*.

Tableau 4-13 – Besoins en azote des cultures céréalières

Plus les doses d'azote sont élevées, plus le feuillage des plants est dense, donc plus le risque de maladies foliaires est élevé. En principe, l'azote épandu en grande quantité n'a pas d'incidence sur le rendement, sauf s'il est accompagné d'un fongicide permettant de lutter contre les maladies des feuilles et des épis. Si la culture n'a pas été touchée par la verse, la dose d'azote épandue au printemps peut être augmentée de 30 kg/ha (27 lb/ac) si elle est conjuguée à un traitement de fongicide T2 ou T3.

Culture	Quantité d'azote requise ¹
Orge (zones recevant 2 800 UTC ou moins) ²	70 à 90 kg/ha (63 à 81 lb/ac)
Orge (zones recevant plus de 2 800 UTC)	45 à 60 kg/ha (40 à 54 lb/ac)
Céréales servant de culture-abri aux cultures fourragères	15 kg/ha (14 lb/ac)
Céréales mélangées, triticales de printemps (Sud de l'Ontario)	45 à 60 kg/ha (40 à 54 lb/ac)
Céréales mélangées, triticales de printemps (Nord de l'Ontario)	70 à 90 kg/ha (63 à 81 lb/ac)
Avoine, seigle de printemps (Sud de l'Ontario)	35 à 50 kg/ha (32 à 45 lb/ac)
Avoine, seigle de printemps (Nord de l'Ontario)	55 à 75 kg/ha (50 à 68 lb/ac)
Blé de printemps	70 à 100 kg/ha (63 à 91 lb/ac)
Orge d'automne, seigle d'automne ³	90 kg/ha (81 lb/ac)
Triticale d'automne	80 kg/ha (72 lb/ac)
Blé d'automne	Voir le tableau 4-16
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Réduire les doses d'azote dans les champs ayant reçu du fumier ou ayant servi précédemment à la culture d'une pelouse de légumineuses (voir le tableau 9-9, *Réduction des besoins en azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*, et le tableau 9-10, *Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques*).

² Voir *Teneur du sol en azote des nitrates pour l'orge de printemps*.

³ Sauf en rotation avec le tabac.

Tableau 4-14 – Besoins en azote du blé de qualité pâtissière (dose d'azote la plus rentable)

Pour le blé tendre roux ou le blé blanc de qualité pâtissière. On peut épandre 10 kg d'azote/ha au semis et le reste en surface, au début du printemps.

Rapport coût de l'azote/prix du blé ¹	Rendement prévu				
	4 t/ha (60 bo/ac)	5 t/ha (75 bo/ac)	6 t/ha (90 bo/ac)	7 t/ha (105 bo/ac)	8 t/ha (120 bo/ac)
5	75 kg N/ha	95 kg N/ha	110 kg N/ha	125 kg N/ha	140 kg N/ha
6	70 kg N/ha	85 kg N/ha	105 kg N/ha	120 kg N/ha	135 kg N/ha
7	65 kg N/ha	80 kg N/ha	100 kg N/ha	115 kg N/ha	130 kg N/ha
8	60 kg N/ha	75 kg N/ha	95 kg N/ha	110 kg N/ha	125 kg N/ha
100 kg/ha = 90 lb/ac					

¹ Le rapport de prix est le coût de l'azote (N) contenu dans l'engrais (\$/kg d'azote) divisé par le prix de vente du blé (\$/kg de blé).

Exemple de rapport de prix :

Le prix du nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) est de 350 \$/t.

Un kg d'azote coûte $350 \$ \div 280 = 1,25 \$/\text{kg}$.

La valeur du blé est de 250 \$/t, ou 0,25 \$/kg.

Le rapport de prix est de $1,25 \$ \div 0,25 \$ = 5$.

Il faut 5 kg de blé pour payer 1 kg d'azote.

Blé vitreux d'automne (roux et blanc)

Les cultivars de blé vitreux d'automne actuellement recommandés en Ontario ne sont pas équivalents aux blés roux de printemps de l'Ouest canadien (CWRS), mais ce sont des cultivars intermédiaires ou de vigueur moyenne ayant certaines propriétés de boulangerie ou d'autres qualités qui leur sont propres. Pour répondre aux normes de qualité, ils doivent avoir une forte teneur en protéines, ce qui nécessite souvent d'augmenter la dose d'engrais azoté. La dose d'azote optimale est environ de 35 à 70 kg/ha (30 à 60 lb/ac) supérieure à celle qui est recommandée pour le blé (tendre) de qualité pâtissière. Le fractionnement des épandages d'azote permet d'accroître la teneur en protéines, mais la différence est trop faible pour que cette méthode soit économique. D'après des études menées en Ontario, le fractionnement des épandages d'azote augmente le rendement de 0,5 %, en moyenne.

Plus les doses d'azote sont élevées, plus le feuillage des plants est dense, donc plus le risque de maladies foliaires est élevé. En principe, l'azote épandu en grande quantité n'a pas d'incidence sur le rendement, sauf s'il est accompagné d'un fongicide permettant de lutter contre les maladies des feuilles et des épis. Si la culture n'a pas été touchée par la verse, la dose d'azote épandue au printemps peut être augmentée de 30 kg/ha (27 lb/ac) si elle est conjuguée à un traitement de fongicide T2 ou T3.

Au cours du développement du plant, l'absorption d'azote allant à la production de protéines dans le grain a lieu plus tard que celle allant à l'amélioration du rendement. Les cultivars de blé vitreux sont

donc parfaitement adaptés à l'absorption d'azote en provenance de sources qui libèrent cet élément lentement ou de sources organiques (enfouissement de légumineuses ou fumier de bétail). De ce fait, les teneurs en protéines recherchées sont souvent plus faciles à atteindre sur les fermes d'élevage. De la même façon que pour le fractionnement des épandages d'azote, des études ont montré que l'azote stable sur le plan environnemental, ou ESN (urée enrobée de polymère, 44-0-0), augmente la teneur en protéines de 0,5 % lorsqu'il est inclus dans l'azote épandu à hauteur de 50 à 65 % (voir tableau 4-15, *Augmentation de la teneur en protéines*). Par contre, le rendement reste le même.

Tableau 4-15 – Augmentation de la teneur en protéines

Apport	Augmentation de la teneur en protéines
35 kg/ha d'azote supplémentaires	0,5 %
70 kg/ha d'azote supplémentaires	1,0 %
Azote épandu par fractionnement (stades de croissance 30 et 32)	0,5 %
Azote épandu après l'anthèse (stades de croissance 30 + 69)	0,75 %
Azote épandu par fractionnement (stades de croissance 30, 32 et 69)	1,0 %
Agrotain Plus	0,2 %
ESN (50 %)	0,5 %
ESN (100 %)	0,75 %

Source : P. Johnson, S. McClure, moyennes de résultats d'essais menés entre 2008 et 2014.

Teneur du sol en azote des nitrates pour l'orge de printemps

L'épandage d'azote à l'automne est déconseillé en Ontario en raison des conditions de croissance que l'on y trouve. Cette pratique n'a aucune valeur pour le producteur et peut être néfaste pour l'environnement si les nitrates gagnent l'eau souterraine. Elle est certes viable dans d'autres régions où poussent des céréales d'automne, mais ces régions ont un climat plus doux qui leur permet de poursuivre leur culture en hiver. En Ontario, avec le manteau nival et le froid hivernal, les céréales d'automne sont totalement en dormance. L'azote épandu à l'automne n'est pas absorbé, car il n'y a aucune croissance. Par temps humide à la fin de l'automne, en hiver et au début du printemps, l'azote est exposé au lessivage ou à la dénitrification. D'après des études sur le sujet (voir tableau 4-16, *Épandage d'azote à l'automne*), plus de 50 % de l'azote épandu à l'automne n'est pas absorbé à temps pour l'hiver. Étant donné que l'épandage d'azote à l'automne (autre que la petite quantité présente dans le phosphore de démarrage) ne présente aucun avantage et peut nuire à l'environnement, cette pratique est fortement déconseillée.

Comme les sols ont une capacité très variable à fournir de l'azote aux plantes, les directives générales présentées au tableau 4-13, *Besoins en azote des cultures céréalières*, ne sont pas nécessairement les plus rentables dans tous les cas. La quantité d'azote des nitrates présente dans le sol au moment des semis est un bon indice de la capacité du sol à fournir de l'azote aux plantes.

Tableau 4-16 – Épandage d'azote à l'automne

Épandage	Rendement	Incidence sur le rendement ¹
100 kg/ha (90 lb/ac) au printemps	5,53 t/ha (82,2 bo/ac)	0
34 kg/ha (30 lb/ac) à l'automne + 100 kg/ha (90 lb/ac) au printemps	5,69 t/ha (84,6 bo/ac)	-0,26 t/ha (-3,8 bo/ac)
135 kg/ha (120 lb/ac) au printemps	5,94 t/ha (88,4 bo/ac)	0
34 kg/ha (30 lb/ac) à l'automne + 135 kg/ha (120 lb/ac) au printemps	5,96 t/ha (88,7 bo/ac)	-0,16 t/ha (-2,4 bo/ac)
168 kg/ha (150 lb/ac) au printemps	6,13 t/ha (91,1 bo/ac)	0

Source : P. Johnson, S. McClure, données recueillies à 18 endroits entre 2011 et 2013.

¹ Par rapport au rendement d'une culture qui reçoit la même quantité d'azote uniquement au printemps.

L'analyse de la teneur du sol en azote des nitrates peut servir à prévoir les besoins en azote de l'orge de printemps dans des régions de la province autres que l'Est de l'Ontario qui reçoivent moins de 3 000 UTC (voir figure 1-1, *Unités thermiques de croissance [UTC-M1] pour le maïs*).

D'ailleurs, la directive fondée sur l'analyse de la teneur du sol en azote des nitrates au printemps doit être considérée comme un indicateur utile en vue de l'élaboration du programme de fertilisation azotée de l'orge de printemps (voir tableau 4-17, *Directives relatives aux apports d'azote pour l'orge de printemps selon la teneur du sol en azote des nitrates*).

Tableau 4-17 – Directives relatives aux apports d'azote (dose la plus rentable) pour l'orge de printemps selon la teneur du sol en azote des nitrates

Dans les zones situées ailleurs que dans l'Est de l'Ontario qui reçoivent moins de 3 000 UTC.				
Teneur du sol en azote des nitrates au printemps à 030 cm ¹	Rapport de prix ²			
	8	7	6	5
10 kg/ha	138 kg/ha	147 kg/ha	156 kg/ha	165 kg/ha
20 kg/ha	107 kg/ha	114 kg/ha	122 kg/ha	129 kg/ha
30 kg/ha	76 kg/ha	81 kg/ha	87 kg/ha	93 kg/ha
40 kg/ha	44 kg/ha	49 kg/ha	53 kg/ha	57 kg/ha
50 kg/ha	13 kg/ha	16 kg/ha	18 kg/ha	21 kg/ha
60 kg/ha	0	0	0	0

100 kg/ha = 90 lb/ac

¹ Teneur du sol en azote des nitrates (à 30 cm de profondeur) : pour convertir des kg/ha en ppm, diviser par 4.

² Le rapport de prix est le coût de l'azote (N) contenu dans l'engrais (\$/kg d'azote) divisé par le prix de vente de l'orge (\$/kg d'orge). Exemple de rapport de prix : voir tableau 4-13.

Moment et profondeur de l'échantillonnage

Il faut prélever les échantillons le plus près possible du moment des semis (dans les cinq jours qui les précèdent), ce qui laisse le temps d'expédier les échantillons à un laboratoire accrédité pour analyse et de recevoir les résultats. Pour connaître les délais à prévoir, il faut s'adresser au laboratoire directement.

Il est important de prélever toutes les carottes d'un champ donné à une profondeur de 30 cm (12 po). Pour s'assurer que l'échantillon est représentatif du champ, il faut prélever le même nombre de carottes en suivant le même schéma d'échantillonnage que celui recommandé pour une analyse de sol ordinaire dans la section *Analyse de sol*. Voir également l'annexe C, *Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario*.

Faire preuve de jugement

Il faut parfois corriger les doses recommandées d'azote qui se fondent sur les résultats des analyses de la teneur du sol en azote des nitrates; en effet le test ne détecte pas l'azote du fumier épandu ou des légumineuses enfouies juste avant l'échantillonnage, qui n'a pas encore été converti en nitrates. Les résultats sont accompagnés d'explications sur le calcul de cette correction.

Il faut faire preuve de prudence si une forte dose d'engrais azoté est recommandée dans un champ où l'orge a été touchée par la verse à des doses plus faibles. L'analyse de la teneur du sol en azote des nitrates n'a pas fait l'objet d'une évaluation adéquate dans les cas suivants :

- Enfouissement de légumineuses ou de fumier à la fin de l'été ou à l'automne;
- Culture d'orge après une culture de légumineuses dans un système de semis direct avec destruction chimique des légumineuses.

Uniformité des épandages d'engrais azoté

Pour obtenir un rendement maximal, il est conseillé d'épandre l'azote uniformément dans tout le champ. L'uniformité de l'épandage est plus importante que la forme sous laquelle l'engrais azoté se présente. Le tableau 4-18, *Pertes de rendement liées à des schémas d'épandage d'azote erronés*, montre les conséquences d'un mauvais calcul des quantités d'engrais. On a constaté un écart de rendement de 1,48 t/ha (22 bo/ac) entre les bandes ayant reçu la pleine dose d'engrais et celles ayant une dose trop faible.

Tableau 4-18 – Pertes de rendement liées à des schémas d'épandage d'azote erronés

D'après les résultats obtenus à deux endroits dans le comté de Middlesex, en 1998, à raison de trois répétitions à chaque endroit.

Schéma d'épandage	Perte de rendement
Dose faible d'azote	3,72 t/ha (55,3 bo/ac)
Pleine dose d'azote	5,20 t/ha (77,3 bo/ac)

Source : P. Johnson, MAAARO.

L'épandage de solution de nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) (28-0-0 ou 32-0-0) avec des buses à jet concentré donne une excellente couverture uniforme d'azote qui s'accompagne d'un petit gain de rendement de 0,17 t/ha (2,5 bo/ac), comme le montre le tableau 4-19, *Le NAU comme support pour herbicides*. L'application d'urée, de nitrate d'ammonium ou de nitrate d'ammonium et de calcium peut aussi se faire à l'aide d'appareils de distribution à air qui donnent une meilleure uniformité, bien que des inégalités puissent subsister. Les jours humides, l'urée peut s'accumuler dans les tubes de distribution, gêner l'écoulement et nuire à l'uniformité de la couverture. Pour obtenir un schéma de distribution uniforme, il faut s'assurer que le liquide circule librement dans les tubes.

Ce sont souvent les épandeurs rotatifs qui donnent la couverture la moins régulière. Si on utilise quand même ces appareils, pour compenser le manque d'uniformité, on peut doubler le nombre de passages en réduisant la dose de moitié (en réduisant la superficie traitée à 6 m [20 pi] au lieu de 12 m [40 pi] de centre à centre). Les épandeurs rotatifs de type européen, qui peuvent ajuster la descente de l'engrais sur le disque, permettent un épandage beaucoup plus précis. Toutefois, tant que l'industrie des engrais en Ontario n'est pas au même niveau que celle en Europe, où la taille et la densité des granulés sont calculées pour chaque charge d'engrais, cette technologie améliorée est d'une utilité limitée.

Lors d'essais de précision, les épandeurs pendulaires ont obtenu de très bons résultats avec les engrais secs. Cependant, vu leur trémie de petite taille et leur largeur d'épandage limitée, ces épandeurs ne sont pas très répandus en Ontario.

Les engrais à base de NAU appliqués à l'aide de buses à jet concentré brûlent peu les feuilles, voire pas du tout. IL EST DÉCONSEILLÉ de pulvériser de l'azote 28 % (NAU) à la volée (à l'aide de buses à miroir ou de buses à jet en T) sur des cultures de céréales levées. Le tableau 4-19 montre les pertes de rendement potentielles liées à cette pratique. L'ajout d'azote 28 % à une application d'herbicide, en particulier s'il s'agit d'un herbicide de contact, accentue considérablement les dommages aux feuilles et les pertes de rendement (voir photo 4-3).

Tableau 4-19 – Le NAU comme support pour herbicides

Application	Dommages visibles	Rendement
200 l/ha d'eau (18 gal/ac ¹ d'eau)	0 %	6,4 t/ha (95 bo/ac)
150 l/ha d'eau + 50 l/ha de NAU (13,4 gal/ac d'eau + 4,5 gal/ac de NAU)	3 %	6,4 t/ha (95 bo/ac)
100 l/ha d'eau + 100 l/ha de NAU (9 gal/ac d'eau + 9 gal/ac de NAU)	5 %	6,1 t/ha (91 bo/ac)
50 l/ha d'eau + 150 l/ha de NAU (4,5 gal/ac d'eau + 13,4 gal/ac de NAU)	7 %	6,1 t/ha (91 bo/ac)
200 l/ha de NAU (18 gal/ac de NAU)	9 %	6,0 t/ha (89 bo/ac)

¹ 1 gallon impérial = 1,2 gallon américain

Source : Sikkema, Université de Guelph (CTAR), 2008 à 2013.



Photo 4-3 – Brûlure des feuilles par de l'engrais à base de nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) à 28 %; cet engrais azoté peut brûler les feuilles et réduire le rendement

L'épandage de NAU peut se faire au moyen de diverses buses à jet concentré. D'après des essais, la hauteur de la rampe peut avoir une grande influence sur le fonctionnement de certaines buses. Par exemple, avec une distance normale de la buse à la cible, soit 50 cm (20 po), les buses à trois jets fonctionnent très bien. En revanche, s'il y a du relief ou si le sol est en mauvais état, la hauteur de la rampe peut varier, et si elle atteint 75 cm (30 po), l'épandage des buses à trois jets est loin d'être idéal. Les dispositifs d'aspersion Chafer permettent un épandage parfaitement uniforme, quelle que soit la hauteur de la rampe, mais les buses peuvent pivoter, et le repliage de la rampe avec ces corps de buses volumineux peut s'avérer problématique.

Moment des applications d'azote

La plupart des engrais azotés destinés aux céréales de printemps sont appliqués avant les semis et incorporés au sol. Cette façon de procéder permet une absorption optimale de l'engrais par la culture tout en limitant les risques de pertes par ruissellement ou par volatilisation. Le traitement en surface des céréales de printemps levées est acceptable, surtout si on a appliqué un engrais de démarrage au moment des semis.

Phosphate et potasse

Les recommandations pertinentes figurent au tableau 4-20, *Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour les céréales*, et au tableau 4-21, *Doses de potasse (K_2O) recommandées pour les céréales*.

Ces directives reposent sur les résultats des analyses de sol reconnues par le MAAARO. Pour plus d'information sur la lecture de ces tableaux ou en l'absence d'une analyse de sol reconnue par le MAAARO, voir la section *Directives relatives aux engrais* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Tableau 4-20 – Doses de phosphate (P_2O_5) recommandées pour les céréales

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium	Orge de printemps, blé de printemps et céréales mélangées	Avoine, triticale de printemps et seigle de printemps	Blé d'automne, seigle d'automne, orge d'automne et triticale d'automne	Céréales de printemps ou d'automne avec sous-semis
	Quantité de phosphate à appliquer ¹			
0 à 3 ppm	110 kg/ha (RÉ)	70 kg/ha (RÉ)	70 kg/ha (RÉ)	130 kg/ha (RÉ)
4 à 5 ppm	100 kg/ha (RÉ)	60 kg/ha (RÉ)	60 kg/ha (RÉ)	110 kg/ha (RÉ)
6 à 7 ppm	90 kg/ha (RÉ)	50 kg/ha (RÉ)	50 kg/ha (RÉ)	90 kg/ha (RÉ)
8 à 9 ppm	70 kg/ha (RÉ)	30 kg/ha (RÉ)	30 kg/ha (RÉ)	70 kg/ha (RÉ)
10 à 12 ppm	50 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)	50 kg/ha (RM)
13 à 15 ppm	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)	30 kg/ha (RM)
16 à 20 ppm	20 kg/ha (RM)	0 (RF)	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)
21 à 25 ppm	0 (RF)	0 (RF)	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)
26 à 30 ppm	0 (RF)	0 (RF)	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RF) ¹
31 à 40 ppm	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RF)	0 (RF)
41 à 50 ppm	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RTF)
51 à 60 ppm	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RTF)
61 ppm et plus	0 (RN) ²	0 (RN) ²	0 (RN) ²	0 (RN) ²

100 kg/ha = 90 lb/ac

¹ Uniquement pour les céréales d'automne avec sous-semis.

² Quand la cote est « RN », l'application du phosphore sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, des apports de phosphate peuvent entraîner des carences en zinc dans les sols pauvres en zinc et augmenter les risques de pollution de l'eau.

Tableau 4-21 – Doses de potasse (K_2O) recommandées pour les céréales

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle

Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium	Orge de printemps, blé de printemps et céréales mélangées	Avoine, triticale de printemps et seigle de printemps	Blé d'automne, seigle d'automne, orge d'automne et triticale d'automne	Céréales de printemps ou d'automne avec sous-semis
	Quantité de potasse à appliquer ¹			
0 à 15 ppm	90 kg/ha (RÉ)	70 kg/ha (RÉ)	50 kg/ha (RÉ)	90 kg/ha (RÉ)
16 à 30 ppm	80 kg/ha (RÉ)	50 kg/ha (RÉ)	40 kg/ha (RÉ)	80 kg/ha (RÉ)
31 à 45 ppm	70 kg/ha (RÉ)	40 kg/ha (RÉ)	30 kg/ha (RÉ)	70 kg/ha (RÉ)
46 à 60 ppm	50 kg/ha (RÉ)	30 kg/ha (RÉ)	20 kg/ha (RÉ)	50 kg/ha (RÉ)
61 à 80 ppm	40 kg/ha (RÉ)	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)	40 kg/ha (RÉ)
81 à 100 ppm	30 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)	20 kg/ha (RM)	30 kg/ha (RM)

Suite à la page suivante

Suite de la page précédente

Tableau 4-21 – Doses de potasse (K_2O) recommandées pour les céréales

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle				
Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium	Orge de printemps, blé de printemps et céréales mélangées	Avoine, triticale de printemps et seigle de printemps	Blé d'automne, seigle d'automne, orge d'automne et triticale d'automne	Céréales de printemps ou d'automne avec sous-semis
	Quantité de potasse à appliquer ¹			
101 à 120 ppm	20 kg/ha (RM)	0 (RF)	20 kg/ha (RF)	20 kg/ha (RM)
121 à 150 ppm	20 kg/ha (RM)	0 (RTF)	0 (RTF)	20 kg/ha (RM)
151 à 180 ppm	0 (RF)	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RF)
181 à 210 ppm	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RTF)
211 à 250 ppm	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RTF)	0 (RTF)
251 ppm et plus	0 (RN) ¹	0 (RN) ¹	0 (RN) ¹	0 (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac				

¹ Quand la cote est « RN », l'application de potasse sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, l'épandage de potasse dans des sols pauvres en magnésium peut provoquer une carence en magnésium.



Photo 4-4 – Syndrome du rang de maïs dans le blé d'automne causé par la rémanence des engrais ou des pesticides dans les rangs des cultures précédentes

Syndrome du rang de maïs

Les cultures en semis direct sans engrais de démarrage sont souvent touchées par le « syndrome du rang de maïs » : les plants de blé qui poussent sur l'emplacement des anciens rangs de maïs sont

beaucoup plus hauts et plus vigoureux que ceux qui se trouvent dans les anciens entre-rangs. Cette situation s'explique principalement par la meilleure biodisponibilité du phosphore provenant de l'engrais de démarrage qui avait été épandu en bandes dans le maïs, même si cela remonte à deux ou trois ans avant la culture de blé. Dans les champs ayant reçu 58 kg/ha (52 lb/ac) de supplément de P_2O_5 (100 lb/ac de phosphate monoammonique), cette variabilité de la croissance du blé a disparu. L'ajout de faibles doses de P avec un engrais de démarrage liquide a eu pour effet d'atténuer le phénomène des rangs de maïs sans l'éliminer. Le tableau 4-22, *Syndrome du rang de maïs*, et la photo 4-4 montrent les répercussions du syndrome du rang de maïs sur le plan visuel et sur le plan du rendement. Le blé d'automne est l'une des cultures qui répond le mieux à l'épandage de phosphore. C'est ce que montre le tableau 4-23, *Effet de l'engrais de démarrage sur le rendement*, qui résume les comparaisons effectuées pendant quatre ans sur des champs de fertilité très variable. Même les sols très fertiles réagissent à l'engrais de démarrage appliqué au moment du semis. Notons d'ailleurs que cette méthode d'application de l'engrais est quatre à cinq fois plus efficace que l'application

à la volée. De plus, le phosphore épandu à la volée à l'automne qui n'est pas incorporé peut dériver et nuire à l'environnement. Si le semoir ne permet pas l'application de phosphore, on peut mélanger l'engrais (phosphate monoammonique, 11-52-0) aux semences, et semer le tout en même temps. Les semences et l'engrais ne se dissociant pas, c'est une méthode qui a fait ses preuves dans bon nombre d'exploitations

agricoles. Il faut ouvrir les logettes à semences un cran de plus par rapport à un semis de blé, et, au début, régler le semis à 10 % de moins que la somme du poids par acre des semences et du poids par acre de l'engrais. Par la suite, on doit étalonner le semoir. Si c'est l'application à la volée qui est choisie pour le phosphore, il faut vérifier que l'engrais est bien incorporé pour éviter qu'il ne dérive.

Tableau 4-22 – Syndrome du rang de maïs

Endroit	Teneur du sol en phosphore	Hauteur	Teneur des tissus en phosphore (base de matière sèche)	Rendement
Sur le rang	19	107 cm (42 po)	0,16 % de P	5,13 t/ha (76,3 bo/ac)
Dans l'entre-rang	9	89 cm (35 po)	0,12 % de P	4,51 t/ha (67,1 bo/ac)

Source : P. Johnson, MAAARO (2013).

Tableau 4-23 – Effet de l'engrais de démarrage sur le rendement

Apport d'engrais	Apport de phosphore	Augmentation du rendement par rapport à la parcelle témoin		
		Teneur en P ¹ 6 à 13 ppm (10 sites)	Teneur en P ¹ 13 à 21 ppm (9 sites)	Teneur en P ¹ 21 à 56 ppm (9 sites)
Liquide (6-24-6)				
95 l/ha (10 gal US/ac) (dans la raie de semis)	30 kg de P ₂ O ₅ /ha (27 lb de P ₂ O ₅ /ac)	12,0 %	6,2 %	3,3 %
40 l/ha (5 gal US/ac) (dans la raie de semis)	14,5 kg de P ₂ O ₅ /ha (13 lb de P ₂ O ₅ /ac)	9,7 %	2,7 %	1,8 %
21 l/ha (2,5 gal US/ac) (dans la raie de semis)	3 kg de P ₂ O ₅ /ha (7 lb de P ₂ O ₅ /ac)	6,3 %	2,9 %	0,9 %
Sec (7-34-20)				
170 kg/ha (150 lb/ac) (dans la raie de semis)	58 kg de P ₂ O ₅ /ha (52 lb de P ₂ O ₅ /ac)	17,3 %	6,2 %	4,8 %
56 kg/ha (50 lb/ac) (dans la raie de semis)	19 kg de P ₂ O ₅ /ha (17 lb de P ₂ O ₅ /ac)	10,9 %	4,7 %	3,5 %
225 kg/ha (200 lb/ac) (à la volée)	76 kg de P ₂ O ₅ /ha (68 lb de P ₂ O ₅ /ac)	12,0 %	3,5 %	4,6 %
Rendement moyen de la parcelle témoin		5,31 t/ha (79,0 bo/ac)	5,95 t/ha (88,5 bo/ac)	6,0 t/ha (89,0 bo/ac)
Écart minimum ²		0,2 t/ha (3,2 bo/ac)	0,2 t/ha (3,2 bo/ac)	0,2 t/ha (3,1 bo/ac)

Source : Johnson, McClure et Janovicek, 2010-2013.

¹ Phosphore biodisponible d'après des analyses de sol effectuées par des laboratoires accrédités de l'Ontario.

² Écart de rendement minimum requis pour garantir que la différence n'est pas le fruit du hasard.

Méthodes d'application

Quand les céréales ont besoin d'un engrais phosphaté, il vaut mieux appliquer celui-ci avec la semence. Les engrais appliqués avec la semence peuvent comprendre une partie ou la totalité des apports d'azote et de potasse nécessaires, selon les doses. Pour en savoir plus sur le sujet, voir le tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Soufre

Étant donné qu'il y a de moins en moins de soufre provenant des dépôts atmosphériques, celui-ci devient un élément de plus en plus indispensable à la fertilité du sol. Dans le cadre de nombreuses études menées à ce sujet entre 2010 et 2015, plusieurs champs ont vu leur rendement grimper certaines années avec l'apport de soufre (entre 0,67 et 0,94 t/ha ou entre 10 et 14 bo/ac). D'autres champs, par exemple ceux qui avaient régulièrement reçu du fumier, ont connu très peu de changement. La figure 4-7, *Effet du soufre sur le blé*, montre l'augmentation moyenne du rendement dans les champs qui ont réagi à l'apport de soufre. Lors de ces essais, 13 sites sur 22 (soit 59 %) ont été stimulés par le soufre et ont vu leur rendement augmenter en moyenne de 0,26 t/ha (3,8 bo/ac). Sur l'ensemble des sites, la réaction moyenne a été de 0,13 t/ha (2 bo/ac).

À l'heure actuelle, il n'existe aucun outil (analyse du sol, analyse des tissus) permettant de déterminer à l'avance quels seront les champs qui réagiront au soufre. De plus, l'interaction est importante d'une année à l'autre. Si le printemps est doux et hâtif, le sol verra son activité biologique stimulée et réagira peu aux ajouts de soufre. À l'inverse, un printemps froid et humide procure les conditions propices à une réaction bien plus prononcée. Pour les producteurs, la meilleure stratégie consiste à mener leurs propres essais pour savoir quels sont les champs qui réagissent au soufre, car ces champs sont nettement plus susceptibles que les autres de réagir année après année. Si les résultats sont incertains, les producteurs pourraient décider d'appliquer du soufre selon les conditions actuelles (printemps hâtif et sec ou printemps tardif et humide) ou de le faire systématiquement, par mesure de précaution.

D'après la figure 4-7, la stratégie idéale est d'épandre entre 10 et 15 kg/ha (entre 9 et 13 lb/ac) de sulfate ou de thiosulfate au printemps. Dans certaines régions, le dosage suggéré est de 10 unités d'azote pour 1 unité de soufre, car c'est la proportion relative de la teneur de ces éléments dans les plants. Ce dosage ne tient toutefois pas compte du soufre provenant des dépôts atmosphériques. D'après les recherches menées à ce jour, le rapport azote-soufre a peu d'intérêt en Ontario. Les producteurs devraient appliquer ces deux éléments en quantité suffisante sans respecter de rapport particulier.

Il est également possible d'épandre du soufre à l'automne. Toutefois, si le soufre est appliqué sous forme de sulfate à l'automne, il sera lessivé en hiver; il doit donc être appliqué sous sa forme élémentaire. Pour être absorbé par les plants, le soufre élémentaire doit être transformé en sulfate. Si le printemps est froid, il se peut que ce processus ne soit pas assez rapide pour répondre à la demande des cultures de blé en début de saison. Des recherches ont été menées sur l'application de soufre à l'automne, et les résultats ne sont pas concluants. La stratégie à privilégier est l'épandage de sulfate au printemps, car, dans ce cas, les résultats sont connus. Toutefois, si la méthode choisie est l'application de soufre élémentaire à l'automne, il faudrait en épandre entre 22 et 56 kg/ha (entre 20 et 50 lb/ac).

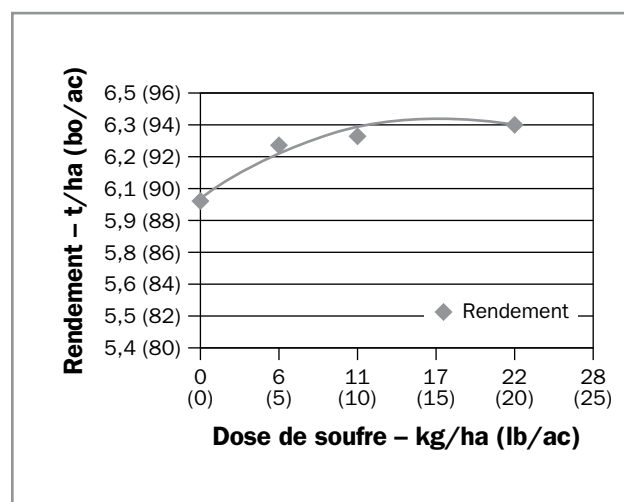


Figure 4-7 – Effet du soufre sur le blé

Source : P. Johnson, S. McClure, 2012-2014.
Synthèse des résultats de 13 sites qui ont réagi à l'apport de soufre.

Analyse des tissus végétaux

Pour les céréales, il faut prélever les deux feuilles les plus hautes au stade de l'épiaison. Cependant les plants soupçonnés d'avoir une carence en éléments nutritifs devront être échantillonnés dès l'apparition des premiers signes. Il faut prélever les plants de moins de 20 cm (8 po) de haut en entier. Si l'échantillonnage est effectué à un autre moment qu'au stade de l'épiaison, il faut prélever dans les zones carencées et dans des zones saines du champ pour permettre des comparaisons.



Photo 4-5 – Carence en soufre chez le blé
Photo : Marieke Patton Bayer

À l'échantillon de tissu végétal, il faut joindre un échantillon de sol prélevé au même endroit et en même temps.

L'analyse des tissus végétaux doit révéler des concentrations entre le niveau critique (bas) et le niveau normal maximal. Pour interpréter les résultats de l'analyse, voir le tableau 4-24, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour les céréales*, et l'annexe 1, *Services de diagnostic*.

Tableau 4-24 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour les céréales

Les valeurs se rapportent aux deux feuilles supérieures du plant prélevées au moment de l'épiaison.

LÉGENDE : — = aucune donnée disponible

Élément nutritif	Concentration critique ¹	Concentration normale maximale ²
Azote (N)	2,0 %	2,7 %
Phosphore (P)	0,1 %	0,5 %
Potassium (K)	1,0 %	3,0 %
Calcium (Ca)	—	1,0 %
Magnésium (Mg)	0,15 %	1,0 %
Bore (B)	3 ppm	25 ppm
Cuivre (Cu)	3 ppm	50 ppm
Manganèse (Mn)	15 ppm	200 ppm
Zinc (Zn)	10 ppm	70 ppm

¹ Prévoir une baisse de rendement due à une carence en un élément nutritif donné lorsque la concentration de ce dernier tombe au niveau critique ou sous celui-ci.

² Les concentrations normales maximales sont plus que suffisantes, mais ne causent pas nécessairement de toxicité.

Oligo-éléments

Manganèse

Les carences en manganèse sont fréquentes dans les cultures de blé, d'avoine ou d'orge sur des sols organiques (terres noires). Elles se produisent occasionnellement sur des sols minéraux riches en matière organique ou à pH élevé, ainsi que sur des sols très sableux contenant peu de matière organique. Dans l'avoine, la carence en manganèse se traduit par l'apparition de taches ovales, grises et irrégulières sur les feuilles (voir photo 4-6). Dans l'orge et le blé, elle se manifeste le plus souvent par des stries jaune clair sur le limbe, alors que les nervures restent d'un vert un peu plus foncé (voir photo 4-7). Les analyses de sol et de tissus végétaux permettent de prévoir à quels endroits des carences en manganèse sont susceptibles de se produire. Les laboratoires d'analyse de sol accrédités par le MAAARO offrent ces deux types de tests.



Photo 4-6 – Dans l’avoine, une carence en manganèse se manifeste par des taches ovales, grises et irrégulières sur les feuilles



Photo 4-7 – Dans le blé d’automne, les carences en manganèse (stries jaune pâle entre les nervures) se produisent surtout dans les sols sableux au pH élevé ou dans les terres noires

Aussitôt que la carence est détectée, il faut la corriger en pulvérisant sur le feuillage 2 kg/ha (1,8 lb/ac) de manganèse, que l’on obtient en mélangeant 8 kg/ha (7 lb/ac) de sulfate de manganèse et 200 l (53 gal) d’eau. Il faut ensuite ajouter un mouillant-adhésif à la bouillie. En cas de carence prononcée, une deuxième pulvérisation peut être souhaitable. Dans les zones présentant des carences graves en manganèse, il peut être nécessaire de faire une application en automne pour assurer la survie hivernale des céréales d’automne. Il faut se méfier des produits de types « complets » qui contiennent tous les éléments nutritifs. Même avec la dose d’application maximale, ces produits fournissent rarement plus de 0,10 kg/ha de manganèse, et ils reviennent bien plus cher par unité. Il se peut que ces produits corrigent brièvement la carence, mais il faut souvent répéter le processus pour obtenir des résultats acceptables.

L’épandage de manganèse sur le sol n’est pas recommandé, quelle qu’en soit la source, parce qu’il en faudrait de très grandes quantités. La plupart du temps, les carences qui touchent les plants sont causées par une faible biodisponibilité du manganèse plutôt que par un manque de cet élément dans le sol. Il est peu fréquent qu’un apport de manganèse au sol permette de corriger la situation. Toutefois, si certaines zones localisées d’un champ présentent une carence continue, il est possible d’y effectuer un épandage au sol pour éviter d’avoir à faire des traitements foliaires sur l’ensemble du champ année après année. Pour ce faire, il faut épandre 22 kg/ha (20 lb/ac) de manganèse sous forme de sulfate de manganèse (MnSO_4) et répéter le processus au besoin.

Cuivre

Des carences en cuivre sont susceptibles de se produire dans les sols organiques (terres noires), et pourraient survenir, bien que rarement, sur des sols très sableux. On ne connaît pas les effets du cuivre sur les sols sableux. La carence en cuivre se manifeste le plus souvent par un dépérissement de la pointe de la feuille, souvent accompagné du vrillage des feuilles supérieures. Pour en savoir plus sur les méthodes de correction des carences en cuivre, voir la section *Oligo-éléments* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*. On attribue beaucoup de vertus au cuivre, notamment sur le plan de la lutte contre les maladies, mais aucune étude menée en Ontario n’a pu en démontrer concrètement les bienfaits dans ce domaine.

Bore

Aucune carence en bore n’a été diagnostiquée dans les céréales. Un apport de cet élément peut même être toxique et provoquer le blanchiment des tissus foliaires des plantules. Dans le cadre d’analyses, de nombreux échantillons de tissus présentent une carence en bore, mais l’apport de bore n’a aucun effet. Les valeurs critiques du bore dans les tissus foliaires du blé doivent être revues.

Zinc

Il ne semble pas y avoir de carences en zinc dans les céréales. Dans le cadre d’essais, des céréales ont reçu le mélange MicroEssentials SZ (soufre et zinc, 10-40-0-10-2) et n’ont tiré aucun bienfait du zinc présent dans le produit.

Il ne faut pas employer de mélanges engrais-herbicides en traitements foliaires, à moins que ce soit recommandé par des agronomes fiables. Par ailleurs, il faut toujours consulter l’étiquette des herbicides.

Récolte et entreposage

Réglage optimal de la moissonneuse-batteuse

Les manuels d'utilisation sont la première source à consulter pour les réglages de la récolteuse d'une petite production de céréales. Il arrive à l'occasion que des conditions particulières rendent nécessaires des réglages plus poussés. Une attention particulière doit être apportée à la récolte des grains endommagés par *Fusarium*, des cultures versées ou des cultures infectées par la carie naine ou la carie du blé. Le moyen le plus facile et le plus sûr d'améliorer l'échantillon de grain dans ces cas est de bien régler la moissonneuse-batteuse. Souvent, cette opération suffit à faire la différence entre une récolte commercialisable et un blé de grade d'échantillon. Il ne faut pas hésiter à expérimenter.

L'entreposage de la culture permet d'améliorer la qualité du grain avant de le livrer au silo-élevateur ou à la minoterie. Cette étape est particulièrement importante dans le cas du blé infecté par l'une ou l'autre des formes de carie. De nombreux producteurs ont fait l'expérience d'un second nettoyage du grain à l'aide de tarares, de nettoyeurs-séparateurs et de tables densimétriques dans le but d'améliorer la qualité de l'échantillon. Il est également possible de confier cette tâche aux exploitants des silos-élevateurs contre rémunération, ce qui peut être extrêmement avantageux sur le plan économique si l'on peut faire passer le blé du grade de grains récupérés à celui de blé de meunerie. Grâce à l'amélioration de la qualité du grain, il est beaucoup plus facile pour l'exploitant du silo-élevateur de gérer la culture et de trouver preneur pour le produit.

Grain endommagé par *Fusarium*

Normalement, à la récolte, le grain est séparé de la paille par un jet d'air dans la moissonneuse-batteuse. La plupart des grains infectés par *Fusarium* sont petits, ratatinés et plus légers que les grains sains; il est donc souvent possible d'en éjecter une grande partie à l'arrière de la moissonneuse-batteuse en augmentant le débit du ventilateur au-delà des valeurs habituelles. En 1996, de nombreux producteurs ont réglé le ventilateur à vitesse maximale pour améliorer la qualité du grain. Une étude menée en 1996 par M. Art Schaafsma (Université de Guelph, campus de Ridgetown) a montré qu'en faisant tourner le ventilateur à la vitesse maximale (jusqu'à 300 tours/minute de plus que le réglage prescrit), il était possible de réduire de 10 fois la quantité de grains endommagés par *Fusarium* qui se trouvaient dans le produit. Le fonctionnement du ventilateur de nettoyage à un tel régime entraîne aussi nécessairement un accroissement des pertes de bons grains, qui peuvent atteindre 0,13 t/ha (2 bo/ac); voir le tableau 4-25, *Influence de la vitesse de rotation du ventilateur sur le rendement du blé*. Cette réduction du rendement est négligeable si la culture devient commercialisable au lieu d'être reléguée aux grades de blé fourrager, d'échantillon ou de grains récupérés.

Il faut récolter le grain endommagé par *Fusarium* le plus vite possible, sans quoi l'infection peut se propager rapidement. Elle peut continuer à se développer si la teneur en eau du grain est supérieure à 19 %, ce qui survient fréquemment chez le blé lorsqu'il pleut. Mais si cette teneur est supérieure à 16 %, le ventilateur peine à rejeter vers l'arrière les grains endommagés, qui sont normalement plus légers. Il est souvent impossible de faire une récolte hâtive des grains ayant

Tableau 4-25 – Influence de la vitesse de rotation du ventilateur sur le rendement du blé

Case International 1644, blé Harus, comté d'Essex, le 17 juillet 1996. Vitesse d'avancement de 6,8 km/h (4,2 mi/h). Vitesse de rotation de 880 tr/min.

Comparaison	Vitesse de rotation du ventilateur							
	Réglage du crible : 6 mm (0,25 po)							Avant fermé
	1 160 tr/min	1 190 tr/min	1 220 tr/min	1 250 tr/min	1 280 tr/min	1 320 tr/min	1 330 tr/min	1 330 tr/min
Grains sains au sol	172/m ² (16/pi ²)	125/m ² (11,6/pi ²)	340/m ² (31,6/pi ²)	263/m ² (24,4/pi ²)	379/m ² (35,2/pi ²)	446/m ² (41,4/pi ²)	470/m ² (43,6/pi ²)	461/m ² (42,8/pi ²)
Perte	0,06 t/ha (0,8 bo/ac)	0,04 t/ha (0,6 bo/ac)	0,11 t/ha (1,6 bo/ac)	0,08 t/ha (1,2 bo/ac)	0,12 t/ha (1,8 bo/ac)	0,14 t/ha (2,1 bo/ac)	0,15 t/ha (2,2 bo/ac)	0,14 t/ha (2,1 bo/ac)
Perte pour un rendement de 4,03 t (60 bo)	1,38 %	0,97 %	2,63 %	2,03 %	2,93 %	3,45 %	3,63 %	3,56 %

Source : Art Schaafsma, Université de Guelph, Collège de Ridgetown, 1996.

une faible teneur en eau. Il se peut que la diminution de la vitesse d'avancement de la moissonneuse-batteuse réduise encore plus les niveaux de *Fusarium* puisque l'air a ainsi plus de temps pour séparer le bon grain du grain infecté. Il faut penser à ouvrir davantage la grille supérieure pour diriger l'air à la verticale; le mouvement de la masse de grain vers l'arrière est ainsi ralenti, ce qui facilite son nettoyage et sa séparation. Il faut veiller à ce que les épis et les particules de paille restent hors de l'échantillon de grain si la grille supérieure est ouverte.

Malheureusement, il arrive qu'on ne puisse pas rendre la qualité du grain conforme aux normes d'admissibilité aux grades meuniers. Dans ce cas, il est conseillé de stocker la plus grande quantité possible de grains endommagés. Souvent, une fois la récolte terminée, les marchands de grains et les minotiers sont moins occupés et peuvent évaluer les marchés existants pour déterminer la meilleure façon de conditionner le blé en vue de répondre aux critères pertinents.

Le blé entreposé doit absolument être sec (14 % d'humidité ou moins). Une teneur en eau trop élevée permettrait la croissance de *Fusarium* et la production de toxines, ce qui nuirait encore davantage à la qualité de la récolte. Il faut examiner fréquemment le grain entreposé pour s'assurer qu'il reste en bon état.

Récolte de céréales versées

Si le blé a versé, le réglage de la moissonneuse-batteuse nécessite plus de travail et dure plus longtemps dans le champ. Même si les moissonneuses-batteuses modernes sont habituellement dotées de tabliers flottants à soya équipés de barres de coupe flexibles, il existe plusieurs méthodes efficaces pour récolter les céréales versées.

- **Releveurs d'épis** : Ils soulèvent la culture au-dessus de la barre de coupe. Il s'agit d'un moyen économique de maximiser les rendements.
- **Réglage des couteaux** : Sur les barres de coupe flottantes, il faut laisser les couteaux inclinés vers le bas et faire fonctionner le tablier dans la position flottante, comme pour récolter une culture de soya. Si l'on opte pour cette solution, il faut prendre garde de ne pas faire entrer de cailloux dans la moissonneuse-batteuse.
- **Réglage du rabatteur** : Les moissonneuses-batteuses plus récentes sont équipées d'un système hydraulique permettant le réglage du rabatteur à partir de la cabine, mais le réglage de la plupart des rabatteurs est permanent et optimal pour la récolte du soya et ne convient pas à la récolte des céréales qui ont versé. Il

faut régler le rabatteur vers l'avant et modifier l'angle des peignes pour les rendre plus performants, de sorte que le rabatteur soulèvera la récolte au-dessus du sol et au-dessus des couteaux. Il est possible de faire la mise au point à partir des réglages suggérés dans le manuel d'utilisation.

- **Passage à sens unique** : La solution de dernier recours, à laquelle il faut se résoudre certaines années, consiste à faire la récolte à sens unique de sorte que le grain versé soit orienté vers le tablier.

Blé infecté par la carie

Pour éviter d'avoir à récolter du blé infecté par la carie, il faut choisir des semences convenablement traitées de cultivars résistants. Toutefois, quand la carie a infecté une culture, les méthodes de récolte et d'entreposage doivent viser à éviter l'introduction des balles sporifères dans l'échantillon et à réduire l'odeur de poisson qui se dégage du grain après la récolte.

Il ne faut pas récolter le blé infecté par la carie si sa teneur en eau est élevée. Les spores provenant des balles sporifères éclatées adhèrent plus facilement au grain mouillé. Il faut récolter le grain une fois qu'il est sec en faisant tourner le cylindre à basse vitesse et en ouvrant le contre-batteur, de manière à réduire le nombre de balles sporifères qui éclatent pendant l'opération. Il est conseillé de faire fonctionner les ventilateurs de nettoyage à haute vitesse pour éjecter le plus possible de balles sporifères et de spores de carie vers l'arrière de la moissonneuse-batteuse.

L'entreposage du blé infecté par la carie est un bon moyen d'améliorer la qualité du grain. L'aération est ici la clé du succès. Il faut stocker le grain infecté dans des installations offrant une grande capacité d'aération, et l'aérer jusqu'à ce que l'odeur disparaisse. On conseille de le manipuler délicatement au moment de le retirer de la cellule de stockage pour éviter de provoquer l'éclatement des balles sporifères qui seraient restées intactes, ce qui risquerait de contaminer à nouveau le produit. Il faut déplacer le grain infecté par la carie avec des transporteurs à courroie plutôt que des vis de déchargement. Il est également possible de manipuler le grain par aspiration, ce qui permet souvent de le débarrasser des balles sporifères restantes et de le conserver en bon état.

Il ne faut jamais mélanger du blé propre et du blé infecté par la carie. Il suffit d'une très faible proportion de grains contaminés pour faire diminuer la qualité de l'ensemble. Le mélange ne permet pas d'améliorer

le grain endommagé, il a simplement pour effet de détériorer le bon grain. Pour en savoir plus, voir les sections *Carie naine* et *Carie du blé* du chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*.

Séchage et entreposage du blé

On récolte parfois le blé d'automne à une plus forte teneur en eau parce qu'on prévoit du temps pluvieux, ou dans le but de réduire les pertes à la récolte. Le blé est considéré comme sec à une teneur en eau de 14,5 %, selon la Commission canadienne des grains. L'Ontario a décidé de baisser ce chiffre à 14 % pour se rapprocher des autres normes internationales. Au-delà de ce seuil, des frais de séchage peuvent être appliqués.

Pour pouvoir être entreposé sans risque pendant de longues périodes, le blé d'automne doit avoir atteint une teneur en eau de 13 à 14 %.

Systèmes de séchage

Il existe trois principaux systèmes de séchage du blé :

- Les cellules à l'air ambiant;
- Les séchoirs à basse température (moins de 40 °C);
- Les séchoirs à haute température ou ultra-rapides (plus de 40 °C).

Séchage à l'air ambiant et à basse température

Le séchage du blé à l'air ambiant n'est possible que lorsque l'humidité relative à l'extérieur est inférieure à la teneur en eau à l'équilibre des grains. L'efficacité de cette méthode se trouve considérablement réduite pendant les périodes pluvieuses et la nuit, quand il fait frais et que les taux d'humidité relative sont généralement élevés. Lorsque la température de l'air tombe à moins de 10 °C, la ventilation à l'air ambiant ne permet pas de retirer autant d'humidité, et il peut être nécessaire de chauffer. Des périodes prolongées de temps humide peuvent aussi rendre nécessaire un chauffage d'appoint pour le séchage. En augmentant la température de l'air d'entrée de 5 °C, on assèche l'air sans toutefois trop assécher le grain placé au fond de la cellule. Voir le tableau 4-26, *Débit d'air suggéré pour le séchage du blé à l'air ambiant et à basse température*.

Exigences minimales pour le séchage à l'air ambiant :

- Aménager un faux fond entièrement perforé dans la cellule de stockage.

- Nivelier la surface du grain dans toute la cellule de stockage.
- Assurer un débit d'air d'au moins 6,5 l/sec/m³ (0,5 pi³/min/bo), de préférence de 9,7 l/sec/m³ (0,75 pi³/min/bo) ou plus.
- Nettoyer le grain afin de le débarrasser des mauvaises herbes et des particules fines.
- Mesurer précisément la teneur en eau du blé dans la cellule de stockage.
- Bien lire la température de l'air et l'humidité relative à l'extérieur.
- Bien connaître la teneur en eau à l'équilibre du blé.
- Installer un interrupteur de commande du ventilateur.

Il faut un faux fond entièrement perforé pour permettre à l'air de circuler de façon uniforme partout dans la cellule; avec un faux fond partiellement perforé ou un réseau de conduits d'air, il reste des zones où l'air ne circule pas, ce qui présente des risques d'altération. Les graines de mauvaises herbes, les résidus de végétaux encore verts et les particules fines qui s'accumulent dans la cellule de stockage gênent le passage de l'air ou le dévient. L'air qui traverse la masse de grain suit toujours le chemin offrant le moins de résistance.

Tableau 4-26 – Débit d'air suggéré pour le séchage du blé à l'air ambiant et à basse température

LÉGENDE : pi ³ /min = pied cube par minute		
Teneur en eau (à l'état humide)	Débit d'air minimal	
16 %	6,5 l/sec/m ³	0,5 pi ³ /min/bo
17 %	9,75 l/sec/m ³	0,75 pi ³ /min/bo
18 %	13 l/sec/m ³	1,0 pi ³ /min/bo

Adaptation d'un tableau tiré de Wilcke, William F., Hellevang, Kenneth J. *Wheat and Barley Drying*. FS-5949-G0, 1992. Université du Minnesota, Extension Service.

Séchage à haute température

Le séchage du grain à haute température se fait avec de grands volumes d'air chaud à 40 °C ou plus, en quelques heures ou quelques jours. Pour ce faire, on peut utiliser des séchoirs à maïs, mais il peut être nécessaire de réduire la température de séchage afin d'éviter toute perte de pouvoir germinatif et de qualité de l'amidon. Il est important de ne pas dépasser les valeurs recommandées, qui dépendent du type de séchoir et de l'utilisation finale du blé. Voir le tableau 4-27, *Températures maximales de l'air recommandées pour le séchage du blé de meunerie et de semence*.

Pour que le blé sèche en toute sécurité, la température des grains ne doit jamais dépasser 60 °C. Dans le contrat, il faut vérifier si le séchage à l'air chaud est permis pour le conditionnement du blé de semence.

Tableau 4-27 – Températures maximales de l'air recommandées pour le séchage du blé de meunerie et de semence

Type de séchoir ou utilisation finale du blé	Température maximale
Séchoirs discontinus sans recyclage d'air	60 °C
Séchoirs discontinus à recyclage d'air	Entre 60 et 70 °C
Séchoirs continus à écoulement transversal	60 °C
Séchoirs à écoulement parallèle	70 °C
Blé de semence ¹	40 °C

¹ Wilcke, William F., Hellevang, Kenneth J. *Wheat and Barley Drying*. FS-5949-GO, 1992. Université du Minnesota, Extension.

Droit d'auteur : Farm Drying of Wheat, Commission canadienne des grains, septembre 1992.

La qualité boulangère du blé diminue si la température du grain atteint 60 °C pendant un certain temps. Lorsqu'on utilise des séchoirs à air chaud, il est recommandé de faire évaluer des échantillons pour s'assurer que le grain séché répond aux normes du marché.

Le blé gourd peut être séché à l'air ambiant si les conditions s'y prêtent. Cette opération exige beaucoup d'attention de la part de l'exploitant parce que le blé absorbe et perd facilement de l'humidité. Il faut mettre le ventilateur en marche uniquement lorsque les conditions extérieures sont propices au séchage.

Il ne faut pas laisser le ventilateur en marche 24 heures sur 24, parce que le grain redeviendrait humide pendant la nuit, ce qui annulerait les progrès réalisés pendant le jour. On peut utiliser un détecteur d'humidité automatique ou le modèle BINcast (www.weatherinnovations.com) pour faire en sorte que le ventilateur ne fonctionne que durant le séchage.

Détermination du débit d'air

Il faut un débit d'air suffisant pour faire passer l'air dans toute la masse de grain. Pour retirer l'humidité, le débit d'air doit être au moins de 6,5 l/sec/m³ (0,5 pi³/min/bo); en deçà de ce seuil, il aura pour effet de modifier la température du blé sans toutefois influencer sa teneur en eau. Les débits d'air plus élevés, de 9,75 l/sec/m³ (0,75 pi³/min/bo) ou plus, permettent d'accélérer le séchage, mais ils peuvent être difficiles à atteindre sans des ventilateurs beaucoup plus puissants. Étant donné le petit calibre des grains de blé, les interstices entre eux sont très étroits. Pour déplacer de grandes quantités d'air au travers d'une couche épaisse de grains de blé, il faut un gros ventilateur permettant de créer une pression statique élevée. Si la combinaison de la cellule de stockage et du ventilateur permet d'obtenir un débit de 26 l/sec/m³ (2 pi³/min/bo) lorsque la cellule est remplie de maïs, il ne faut remplir celle-ci qu'à moitié ou au tiers de blé. Pour sécher du blé à l'aide d'un ventilateur à écoulement axial, il peut être bon de commencer avec une épaisseur de blé équivalente au tiers de celle de maïs.

Pour calculer la valeur du débit en l/sec/m³ (pi³/min/bo) pour une cellule donnée, il faut déterminer le nombre de boisseaux qu'elle contient et la pression statique que le ventilateur doit vaincre. Un simple manomètre relié à la chambre de répartition d'air située sous le faux fond perforé permet de mesurer la pression statique (équivalent en pouces d'une colonne d'eau). Voir le schéma d'un tel dispositif à la figure 12-1, *Manomètre de fabrication artisanale* (chapitre 12). À partir de la courbe de rendement du ventilateur, on peut calculer son débit à la pression statique mesurée.

S'il n'est pas possible d'obtenir le débit d'air voulu, on peut ne remplir que partiellement la cellule de stockage. Ainsi le ventilateur devra vaincre une pression statique moins importante et donnera un débit d'air par boisseau plus élevé.

Pour calculer le débit d'air en l/sec/m³ (pi³/min/bo), il faut diviser le débit en l/sec (pi³/min) à la pression statique mesurée, par le nombre de boisseaux contenus dans la cellule de stockage (1 pi³/min/bo = 13 l/sec/m³).

Teneur en eau à l'équilibre

Des chercheurs ont mis au point des tableaux qui indiquent la teneur en eau finale du blé d'automne selon la température et l'humidité relative de l'air (voir tableau 4-28, *Teneur en eau à l'équilibre du blé tendre d'automne exposé à l'air*).

Tableau 4-28 – Teneur en eau à l'équilibre du blé tendre d'automne exposé à l'air

Température	Humidité relative				
	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
0 °C	12,5	13,5	14,6	16,1	18,2
5 °C	12,1	13,1	14,2	15,7	17,9
10 °C	11,7	12,7	13,9	15,3	17,5
15 °C	11,4	12,4	13,5	15,0	17,2
20 °C	11,1	12,1	13,2	14,7	17,0
25 °C	10,8	11,8	13,0	14,4	16,7

Par exemple, pour connaître la teneur en eau à l'équilibre de blé exposé à l'air extérieur à 25 °C et à 80 % d'humidité relative, il suffit de trouver l'intersection de la rangée et de la colonne correspondantes dans le tableau 4-28. La valeur indiquée à cet endroit (14,4 %) est la teneur en eau à l'équilibre du blé, qu'il atteindra s'il est soumis à ces mêmes conditions extérieures pendant un délai suffisamment long.

Quand faire fonctionner le ventilateur

Il faut mettre le ventilateur en marche non pas en fonction de l'heure de la journée, mais bien en fonction de la température et du taux d'humidité relative de l'air. En effet, selon la journée, le séchage peut avoir lieu entre 9 h et minuit ou seulement entre 9 h et 18 h. Il faut souvent vérifier la température et le taux d'humidité relative de l'air au cours de la journée. Au fur et à mesure que la teneur en eau du blé diminue, il faut de l'air de plus en plus sec pour permettre au séchage de se poursuivre. Si pendant une journée donnée, la teneur en eau à l'équilibre est inférieure à la teneur en eau des grains les plus humides, le séchage est possible et le ventilateur doit être mis en marche. Il faut installer un humidistat permettant à l'opérateur de régler à l'avance le taux d'humidité auquel le ventilateur doit se mettre en marche.

Le grain qui se trouve sur le dessus de la cellule de stockage séchera en dernier. Chaque jour où le ventilateur fonctionne, le front de séchage progresse un peu plus vers le haut de la cellule. Il se peut que l'ensemble du front du séchage n'atteigne pas le haut de la cellule le même jour. Il faut prélever des échantillons

chaque fois à la même profondeur pour connaître l'évolution de la teneur en eau à cet endroit. Les cellules de stockage pourvues de dispositifs de brassage afficheront des taux d'humidité relativement uniformes.

Autres problèmes liés aux cultures

Insectes et maladies

La figure 4-8, *Calendrier de dépistage des ennemis des cultures céréalières*, indique quels sont les insectes et les maladies qui peuvent être à l'origine des signes observés dans le champ. Les descriptions de chacun des insectes et maladies et des stratégies de dépistage et de lutte se trouvent au chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et au chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*.

Les traitements de lutte contre les insectes et animaux nuisibles et les maladies sont présentés dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Destruction par l'hiver

Pendant l'hiver et au début du printemps, il arrive que les céréales d'automne soient détruites par le déchaussement dû au gel, la glace, le froid ou la moisissure des neiges. Les différents cultivars n'ont pas tous la même résistance à ces facteurs de stress hivernal, ce qui explique que certains d'entre eux soient adaptés à certaines régions et ne donnent pas nécessairement de bons résultats partout dans la province.

Il faut choisir les cultivars en fonction des risques de destruction par l'hiver dans la région concernée. Par exemple, dans la vallée de l'Outaouais, les cultivars doivent être tolérants à la glace; dans la ceinture de neige du lac Huron, ils doivent supporter la moisissure des neiges, et ceux qui sont cultivés dans les argiles lourdes des comtés d'Essex et de Lambton ainsi que dans la péninsule du Niagara doivent résister au déchaussement par le gel.

Pour savoir évaluer le peuplement du blé d'automne et décider s'il faut ou non reprendre les semis, voir la section *Reprise des semis* et le tableau 4-6, *Calcul du potentiel de rendement pour plusieurs densités de peuplement*.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Maladies									
Insectes et animaux nuisibles									
	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre

Figure 4-8 – Calendrier de dépistage des ennemis des cultures céréalières

Déchaussement par le gel

Les cycles de gel-dégel du début du printemps sont l'une des principales causes de la destruction des végétaux par l'hiver en Ontario. Les sols à texture lourde et ceux dont le drainage souterrain est limité sont particulièrement vulnérables. Quand le gel pénètre dans le sol, il s'insère sous le collet et soulève la plante (voir photo 4-8). Si ces cycles de gel-dégel se répètent, ils font sortir le plant du sol. Les racines se cassent et demeurent exposées hors du sol, et le plant meurt par dessèchement. C'est ce phénomène qu'on appelle le « déchaussement par le gel ».



Photo 4-8 – Déchaussement de plants de blé d'automne occasionné par les cycles de gel-dégel en début de printemps qui ont pour effet de soulever le collet

Le blé semé profondément n'est pas plus résistant au déchaussement par le gel. Ce sont les racines coronales et non les racines séminales qui ancrent le plant de blé et le protègent du déchaussement. Les racines coronales ne peuvent s'enfoncer dans le sol à une profondeur supérieure à celle de la graine (voir figure 4-1, *Nombre de jours avant la levée selon la profondeur de semis*). Lorsque le blé est semé profondément, le collet et les racines coronales se forment à environ 2 à 2,5 cm (0,75 à 1 po) de la surface parce que le collet se développe en réaction à la lumière. Quelle que soit la profondeur de semis, les racines coronales ne s'enfoncent pas à plus de 2,5 cm (1 po) dans le sol. Pour pouvoir bien résister au déchaussement par le gel, les plants doivent donc former un réseau étendu de racines coronales aussi profond que possible.

Sur les sols vulnérables au déchaussement par le gel, on peut augmenter le taux de semis pour réduire les dommages. Avec un semis plus dense, les racines s'entremêlent en poussant, ce qui donne des plants plus résistants au phénomène de déchaussement par le gel.

Glacé

Lorsque la neige fond rapidement ou qu'une pluie hivernale est suivie d'une gelée, il peut se former une épaisse couche de glace sur les zones où l'eau s'est accumulée. Même lorsque l'eau qui se trouve sous la couche de glace parvient à s'écouler, la glace elle-même peut tuer les plants en les privant d'oxygène.

Le drainage en surface et le drainage souterrain permettent de prévenir en partie la formation de flaques d'eau qui donnent lieu à ce phénomène. Si une couche de glace se forme (par exemple en janvier ou en février), le blé en dormance ne survivra que deux semaines environ. Il faut briser la surface gelée pour permettre l'échange gazeux et maintenir le blé en vie, mais il faut agir prudemment, car l'eau peut être profonde sous la couche de glace. Parfois, le compactage provoqué par les pneus de la moissonneuse-batteuse crée des dépressions suffisamment profondes et réduit le drainage, ce qui crée de la glace aux endroits où les roues sont passées. Pour prévenir ce problème, on peut doter la moissonneuse-batteuse de pneus à basse pression ou de chenilles.

Dommages causés par le froid

Le blé peut survivre à des froids extrêmes. Les plants qui ont été endurcis (qui sont entrés en dormance) peuvent supporter des températures de -24 °C. La neige agit comme un isolant, et il suffit d'une couche de 7,5 cm (3 po) pour protéger la culture du froid. Les tissus foliaires des plants qui n'ont pas été endurcis résistent à des températures de -9 °C, si bien que les gelées printanières tardives portent peu à conséquence. Au cours du dernier siècle (1900-1999), il n'y a eu qu'une seule année où le froid a détruit les récoltes de blé en Ontario.

Même si le blé survit bien aux températures très basses, il peut tout de même subir des dommages dus au froid qui se traduiront par une perte de vigueur et une réduction des rendements. Dans les cas les plus graves, il arrive que les zones touchées ne s'en remettent pas complètement. Toutefois, ce phénomène est impossible à prévoir.

5. Haricots secs comestibles

Les haricots secs comestibles (*Phaseolus vulgaris*) sont des légumineuses de la famille des papilionacées. Ils sont principalement cultivés dans l'Ouest de l'Ontario, et habituellement dans le cadre de contrats. Plus de 80 % de la production est exportée. Dans la province, on cultive principalement le petit haricot blanc, le haricot rognon, le haricot canneberge, le haricot noir, le haricot otebo et l'azuki (ou adzuki). L'azuki (*Vigna angularis*), qui n'a qu'un lointain lien de parenté avec les haricots, comporte ses propres caractéristiques de croissance et de production et n'est pas vulnérable aux mêmes maladies et insectes. Afin d'optimiser la rentabilité et la qualité des haricots secs comestibles, il faut adopter des pratiques culturales particulières.

Méthodes de travail du sol

Les haricots secs comestibles poussent mieux dans des sols bien drainés qui présentent une excellente structure. Les exigences relatives au lit de semence sont semblables à celles pour le soya, soit notamment une surface ferme améliorant l'uniformité de la profondeur de semis et un bon contact entre la semence et le sol qui favorise une levée rapide et uniforme. Les meilleurs peuplements – ayant le plus grand rendement – sont ceux qui ont levé dans la semaine suivant le semis et qui ne subissent pas de stress pendant les trois premières semaines de croissance. Pour obtenir ces conditions, il faut assurer :

- l'uniformité de l'humidité du sol;
- un bon contact entre la semence et le sol;
- un travail superficiel du sol limité à ce qui est nécessaire pour la préparation du lit de semence;
- un état de la surface propre à réduire les risques d'encroûtement du sol.

Le choix d'une méthode de travail du sol doit être guidé par la technique de récolte. Les haricots blancs et noirs sont récoltés en coupe directe et peuvent pousser dans des champs où l'on a travaillé le sol par bandes superficiellement ou de façon traditionnelle, réduite ou en semis direct. Les haricots à grosses graines, comme les haricots rognons et les haricots canneberges, sont généralement récoltés par arrachage et andainage avant

d'être coupés par moissonneuse-batteuse. Certains producteurs obtiennent une bonne récolte en coupe directe lorsque les haricots présentent une teneur en eau idéale. La méthode traditionnelle de travail du sol est la méthode la plus couramment utilisée pour préparer les lits de semence de haricots à grosses graines qui sont arrachés au moment de la récolte, mais de plus en plus de producteurs obtiennent de bons résultats en utilisant d'autres méthodes de travail du sol. Les haricots à grosses graines sont plus susceptibles d'être endommagés par l'encroûtement en raison de leurs grands cotylédons.

Dans les cultures en semis direct, une forme ou une autre de travail du sol dans la zone de germination au moment des semis est bénéfique aux haricots secs comestibles. Ce phénomène est essentiellement dû au fait que cette plante possède de petites racines peu développées. Les coutres du semoir effectuent dans la zone de germination le travail du sol nécessaire à l'optimisation de la levée, de l'établissement du peuplement, de la rapidité de croissance et de la hauteur des plants. Les plants de haricots cultivés par semis direct sont plus courts et se prêtent donc mieux à la culture sur rangs rapprochés.

Après les semis, le tassage du sol est généralement essentiel dans les cultures de haricots secs comestibles où l'on prévoit une récolte par coupe directe, et dans celles qui sont ensemencées en semis direct dans des chaumes de maïs. Cette étape permet de niveler le champ en vue de couper les plants de haricots au ras du sol et de réduire les pierres, les tiges de maïs et la contamination par la terre au moment de la récolte.

Sélection du site et rotation des cultures

Voici quelques-uns des facteurs les plus importants dans la sélection d'un champ :

- Présence de maladies dans le passé;
- Culture précédente;
- Lutte contre les mauvaises herbes et rémanence potentielle des herbicides;
- Structure du sol, inclinaison du champ et drainage.

Type de sol et structure du sol

Les champs ensemencés de haricots secs comestibles sont vulnérables à l'érosion du sol en raison des semis tardifs, de la lenteur de la croissance et du système racinaire relativement peu développé de la culture. Le feuillage et les résidus de culture ne protègent le sol que pendant une relativement courte partie de la saison. Dans le cas des haricots cultivés sur des rangs écartés, il se peut que le feuillage ne couvre entièrement le sol qu'au mois d'août.

Les haricots secs comestibles font partie des cultures les plus sensibles à la structure du sol et poussent mieux dans des loams non compactés. Dans les sols lourds qui sont mal drainés, sujets à l'encroûtement ou difficiles à travailler, la levée risque d'être inégale et les peuplements, de mauvaise qualité. Les plantules subiront de graves dommages si le sol reste saturé pendant 24 heures. Les haricots ont un système racinaire relativement inefficace et peu développé qui est vulnérable au stress. Une levée irrégulière mène à une maturation inégale, à un retard de la récolte et à la présence de graines immatures (criblures), ce qui entraîne un déclassement du produit et l'attribution d'un prix de vente moins élevé.

Il faut éviter de cultiver des haricots secs comestibles dans des champs sujets au compactage : ce phénomène nuit gravement à ce type de culture parce qu'il gêne la croissance des racines, favorise les maladies racinaires et accroît les risques de lésions produites par les herbicides. Les pertes de rendement dues au compactage et à une mauvaise structure du sol peuvent atteindre de 30 à 50 %. Les problèmes de compactage sont longs à résoudre, un simple travail du sol n'étant pas efficace.

Présence de maladies dans le passé

Pour éviter le développement de maladies, il faut espacer les cultures de haricots d'au moins trois ans dans la rotation. Les pourritures des racines et la pourriture à sclérotés (*Sclerotinia*) sont les maladies les plus courantes favorisées par des rotations de courte durée. Il est mal avisé de cultiver le soya, le canola, la pomme de terre et le tournesol dans une rotation comprenant des haricots, car ils sont tous vulnérables à la pourriture à sclérotés. Il est difficile de prévenir les pourritures des racines par la rotation parce qu'elles ont une large gamme de cultures-hôtes. Les organismes en cause sont souvent envahissants et infectent les plants soumis au stress (compactage

du sol, mauvais drainage, courts intervalles entre les cultures de haricots, etc.). Les haricots secs comestibles sont également des hôtes du nématode à kyste du soya, auquel l'azuki est particulièrement vulnérable. Pour plus de renseignements sur le nématode à kyste du soya et certaines maladies des haricots secs comestibles, voir le chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*.

Les fournisseurs et acheteurs de haricots peuvent indiquer aux producteurs les produits de protection des cultures que ces derniers peuvent utiliser en fonction de la limite maximale de résidus (LMR) approuvée par les pays importateurs. Les producteurs doivent consulter leur contrat ou leurs lignes directrices de production et obtenir une liste de produits approuvés auprès de leur fournisseur.

Lutte contre les mauvaises herbes

Dans les cultures de haricots secs comestibles, il y a peu de moyens d'utiliser les herbicides pour lutter contre les mauvaises herbes vivaces et les dicotylédones annuelles, de sorte que des mesures doivent être prises pendant la culture précédente. Les mauvaises herbes présentes à la récolte peuvent également nuire à la qualité des haricots (taches) et réduire l'efficacité de la récolte. Le phytolaque d'Amérique vivace et la morelle, par exemple, peuvent les tacher gravement à la récolte. On privilégie souvent le maïs comme culture préalable parce qu'il se prête à de nombreuses formes de lutte contre les mauvaises herbes. On peut aussi sarcler le sol entre les rangs pour limiter les mauvaises herbes. Consulter le chapitre 7 de la publication 75F, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*, pour en savoir plus sur les techniques de lutte culturales et chimiques adaptées à la culture de haricots secs comestibles. Les différentes catégories de haricots secs comestibles ont leur propre degré de tolérance aux herbicides; par ailleurs la tolérance aux herbicides n'est pas évaluée pour chaque catégorie.

Les haricots secs comestibles sont très sensibles à certains herbicides pouvant se trouver dans le sol. Il faut bien choisir ceux qui sont appliqués l'année précédant la culture de haricots pour limiter les dommages causés par leur effet rémanent. Voir à ce sujet le tableau 4-4, *Restrictions (rotation des cultures et pH du sol) – Grandes cultures*, de la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

En fonction de tous ces facteurs, le maïs, les cultures fourragères et les céréales sont quelques-unes des cultures les plus propices à cultiver avant les haricots secs comestibles dans une rotation. La culture préalable de maïs ou de céréales permet de bien lutter contre les mauvaises herbes et d'enrayer efficacement le cycle des maladies des haricots comestibles. Comme les haricots sont récoltés tôt, il est possible de semer rapidement le blé d'automne. Une culture de céréales conjuguée à une bonne maîtrise des mauvaises herbes serait préférable à une culture de maïs quand une récolte effectuée par temps humide aurait causé des problèmes de compactage. Les cultures fourragères favorisent la formation d'une structure du sol optimale, mais elles sont sujettes à des problèmes d'insectes terricoles et de pression exercée par les mauvaises herbes. Pour en savoir plus sur les rotations de cultures adaptées aux haricots secs comestibles et sur les précautions à prendre selon la méthode de travail du sol choisie, voir le tableau Intro-1, *Points à considérer dans le choix des rotations des cultures*, qui se trouve dans l'introduction.

Choix des cultivars

Avant de choisir une catégorie commerciale, il faut évaluer minutieusement les exigences de production et les risques propres à chacune d'elles. Le matériel et la méthode de récolte requis peuvent varier en fonction de la taille des graines et du port des plants, et certaines catégories sont assorties de difficultés particulières concernant le respect des normes de qualité. En Ontario, la plupart des haricots secs comestibles sont produits dans le cadre de contrats; il faut donc tenir compte des multiples débouchés et formules de contrat.

Pour choisir un cultivar de haricot sec comestible, il faut évaluer :

- les caractéristiques de croissance (p. ex. port dressé ou tiges grimpantes);
- le nombre de jours avant la maturité;
- le potentiel de rendement;
- la compatibilité avec la méthode de récolte prévue;
- sa résistance ou sa tolérance aux maladies (p. ex. anthracnose, mosaïque commune du haricot, brûlure bactérienne commune).

Les données sur le rendement des différents cultivars sont publiées annuellement par l'Ontario Pulse Crop Committee, à l'adresse www.gobeans.ca.

Il est primordial de choisir des cultivars dont le délai pour atteindre la maturité convient. Les fournisseurs de semences et l'Ontario Pulse Crop Committee fournissent le nombre de jours avant la maturité pour chacun des cultivars. Il faut choisir des cultivars qui parviennent à maturité au cours des trois premières semaines de septembre, lorsque le temps est habituellement plus favorable à la récolte et qu'on peut semer le blé d'automne. Une récolte par temps sec facilite le maintien d'une bonne qualité.

On attribue une cote aux cultivars en fonction de leur résistance à deux maladies importantes : la mosaïque commune du haricot et l'anthracnose. À l'heure actuelle, tous les types de haricots sont vulnérables à la pourriture à sclérotés, mais l'azuki y est plus résistant.

Les haricots rognons sont plus vulnérables à la pourriture des racines que les autres types de haricots; c'est pourquoi ils poussent mieux dans des loams. Les haricots noirs et l'azuki se distinguent quant à eux par leur système racinaire plus solide et peuvent être cultivés dans un plus grand nombre de types de sols. Cependant, l'azuki met plus de temps à sortir de terre que les autres haricots en raison de son tégument dur; il est par conséquent plus vulnérable aux problèmes de levée dans des sols sujets à l'encroûtement. Les haricots blancs, eux, sont cotés en fonction de leur compatibilité avec la récolte en coupe directe. Dans les cultures en rangs serrés, il faut choisir des cultivars au port érigé parce que la coupe directe est la seule méthode de récolte possible.

Semis

Qualité des semences

Pour favoriser une bonne vigueur en début de saison et réduire les risques de maladies transmises par les semences, il est important d'utiliser des semences certifiées de qualité provenant de champs inspectés. Certaines années, la brûlure bactérienne, l'anthracnose et la mosaïque commune du haricot – des maladies transmises par les semences – peuvent occasionner de graves problèmes.

La plupart des semences de haricots colorés (sauf pour les haricots noirs) sont importées de régions arides des États-Unis où l'incidence de la brûlure bactérienne et de l'anthracnose est faible. Certaines semences, surtout pour les haricots blancs et noirs, peuvent provenir de productions ontariennes certifiées. Il faut

évaluer le pouvoir germinatif de toutes les semences. Voir l'annexe F, *Laboratoires offrant des tests de germination sur demande en Ontario*.

On doit s'assurer que les graines sont exemptes de dommages d'origine mécanique et causés par des intempéries, et les manipuler avec précaution. Les semences de haricots sont fragiles : si on les manipule sans ménagement, on peut endommager le point végétatif dans la graine, ce qui occasionnera une levée lente ou réduite, une croissance difforme et l'absence de cotylédons. Les semences récoltées dont la teneur en eau est inférieure à 16 % sont plus vulnérables aux dommages mécaniques. Pour réduire ces dommages, on doit diminuer la hauteur de chute des semences (idéalement à moins de 0,5 m ou 2 pi) et utiliser des transporteurs et des vis à brosses au lieu d'une vis sans fin ordinaire. Les graines de mauvaise qualité, y compris celles qui ont des dommages d'origine mécanique, peuvent avoir une vigueur et un pouvoir germinatif réduits ou une levée inégale et donner des plants rabougris ou même exfoliés (sans feuilles véritables).

Date des semis

La température de germination idéale pour les haricots secs comestibles est de 15 °C ou plus. Le plant croît de façon optimale à des températures situées entre 18 et 23 °C, mais peut pousser entre 10 et 32 °C. Le tableau 5-1, *Dates de semis recommandées*, montre, selon la région géographique, les dates de semis idéales qui donnent les meilleurs rendements. Se référer à la figure 1-1, *Unités thermiques de croissance (UTC-M1) pour le maïs*, du chapitre 1, *Maïs*, pour déterminer les unités thermiques de la région considérée. Pour obtenir des recommandations sur les semis d'un cultivar en particulier, consulter le distributeur de semences.

Tableau 5-1 – Dates de semis recommandées

Légende : UTC = unités thermiques de croissance	
UTC de la région géographique	Dates de semis recommandées
Moins de 3 000 UTC	Du 26 mai au 6 juin
De 3 000 à 3 200 UTC	Du 30 mai au 10 juin
Plus de 3 200 UTC	Du 7 au 20 juin

Les haricots secs comestibles sont moins vigoureux que le soya, et on doit donc les semer dans un sol chaud et humide pour assurer une levée rapide et uniforme. Les semis faits à basse température augmentent le risque de levée lente et de dommages causés par les herbicides,

l'encroûtement du sol et la pourriture des racines. Au moment de choisir la date des semis, il faut aussi tenir compte de la température à la floraison. Si les semis sont faits dans la fourchette de dates appropriées, le temps ne sera pas chaud et sec pendant la floraison, et la récolte pourra être effectuée à temps. Une température supérieure à 32 °C peut causer la mort des fleurs (chute des boutons et des fleurs). Peu importe la date de semis prévue, il faut d'abord et avant tout que le sol soit en mesure de recevoir les semences. En cas de retard dans les semis, avant de poursuivre, il faut bien calculer la date à laquelle les haricots secs comestibles arriveront à maturité. S'ils sont semés tardivement, les haricots secs comestibles s'adaptent moins facilement que le soya à une saison de croissance plus courte.

Taux de semis

Le calibre des semences de haricots secs comestibles varie considérablement. On doit vérifier que le semoir est bien réglé pour déposer le bon nombre de graines par mètre de rang. Il faut ajuster les taux de semis en fonction de la qualité des semences et de leur taux de germination prévu, de l'état du champ et des antécédents de culture. Là où l'on craint une diminution du pourcentage de levée, il faut augmenter le taux de semis de 10 %. Parmi les facteurs de risque élevé, mentionnons des semis effectués dans des sols lourds, les semis tardifs ou très précoces, les semis profonds, la possibilité de pertes de plantules en raison de la présence du ver fil-de-fer ou de la mouche des légumineuses, et les semis faits dans des sols sujets à l'encroûtement.

Le tableau 5-2, *Taux de semis pour les haricots blancs et noirs*, indique les taux à respecter en fonction de l'écartement des rangs. Des directives générales concernant les haricots colorés sont présentées au tableau 5-3, *Taux de semis pour les haricots colorés*. La densité de peuplement moyenne désirée pour l'azuki est de 210 000 à 222 500 plants par hectare (85 000 à 90 000 plants par acre), et de 173 000 plants par hectare (70 000 plants par acre) pour le haricot otebo. Pour obtenir de plus amples renseignements sur les taux de semis associés aux différentes catégories de haricots, il faut consulter le fournisseur de semences. Les taux de semis peuvent aussi varier en fonction du matériel utilisé.

Tableau 5-2 – Taux de semis pour les haricots blancs et noirs

Les taux de semis présupposent que les pourcentages de germination et de levée seront de 90 %. Il faut ajuster les taux de semis en fonction des pourcentages de germination et de levée prévus.

Nombre de graines	Paramètres		
	Rangs de 36 cm (14,5 po) 10 à 13 graines/m (3 à 4 graines/pi) Taux de semis : 369 000 graines viables/ha (150 000 graines/ac)	Rangs de 53 cm (21 po) 11,5 à 15 graines/m (3,5 à 4,5 graines/pi) Taux de semis : 272 000 graines viables/ha (110 000 graines/ac)	Rangs de 76 cm (30 po) 15 à 16 graines/m (4,5 à 5 graines/pi) Taux de semis : 222 000 graines viables/ha (90 000 graines/ac)
4 500 à 5 000 graines/kg (2 000 à 2 300 graines/lb)	72 à 83 kg/ha	54 à 62 kg/ha	42 à 48 kg/ha
5 000 à 5 500 graines/kg (2 300 à 2 500 graines/lb)	66 à 72 kg/ha	50 à 54 kg/ha	38 à 42 kg/ha
5 500 à 6 000 graines/kg (2 500 à 2 700 graines/lb)	61 à 66 kg/ha	46 à 50 kg/ha	36 à 38 kg/ha
6 000 à 6 500 graines/kg (2 700 à 3 000 graines/lb)	55 à 61 kg/ha	42 à 46 kg/ha	32 à 36 kg/ha
100 kg/ha = 90 lb/ac			

Tableau 5-3 – Taux de semis pour les haricots colorés

Les taux de semis recommandés varient beaucoup d'une catégorie commerciale à l'autre. Pour connaître les quantités recommandées, il faut s'adresser au distributeur de semences. Le calibre des semences peut varier selon les lots; on doit vérifier le nombre de graines par kilogramme (ou graines par livre) indiqué sur l'étiquette.

Écartement des rangs	Taux de semis	Peuplement final ¹
53 cm (21 po)	9,5 à 11,5 graines/m (3,5 à 4 graines/pi)	173 000 à 205 000 plants/ha (70 000 à 80 000 plants/ac)
76 cm (30 po)	11,5 à 15,1 graines/m (4,3 à 6 graines/pi)	148 000 à 198 000 plants/ha (60 000 à 80 000 plants/ac)

¹ Si les pourcentages de germination et de levée s'élèvent à 90 %.

On peut calculer le taux de semis à partir du nombre de graines par kilogramme qui figure sur l'étiquette, avec la formule suivante :

Taux de semis (kg/ha ou lb/ac)
= densité de peuplement finale désirée ÷ taux de survie des plantules ÷ graines par kilogramme (graines par livre)

Exemple : Haricots canneberges
Densité de peuplement désirée de
148 000 plants par hectare
Taux de survie des plantules de 85 %
1 760 graines par kilogramme

Taux de semis
= 148 000 ÷ 0,85 ÷ 1 760
= 99 kg/ha

Profondeur des semis

La profondeur de semis des haricots secs comestibles est cruciale pour que la levée soit uniforme. Les peuplements clairsemés sont souvent le résultat de semis effectués dans un sol trop sec. La semence doit être enfouie sous au moins 1,2 cm (0,5 po) de terre humide. Une levée non uniforme donne une maturité inégale. La profondeur normale de semis est de 4 à 6 cm (1,5 à 2,5 po), mais il peut être nécessaire d'enfouir la semence plus profondément, jusqu'à 9 cm (3,5 po), pour la mettre en contact avec de la terre humide. Les haricots semés plus profondément sont plus susceptibles d'avoir une faible levée et plus vulnérables à l'encroûtement du sol. Certains anciens modèles de semoirs à grains ne permettent pas un réglage précis de la profondeur de semis. Dans ce cas, il vaut parfois mieux utiliser un semoir de précision. Les semoirs à grains doivent placer les semences en douceur et être équipés de bandes de profondeur ou de roues de jauge de profondeur et de roues plombeuses pour assurer une mise en place et une couverture uniformes. Il est essentiel d'utiliser du

matériel de semis de qualité, précis et bien calibré pour assurer la réussite de la production de haricots secs comestibles. Le roulage ou le tassement du sol avant les semis contribue à raffermir le lit de semence et à retenir l'humidité, et permet aussi de mieux contrôler la profondeur de semis lorsqu'on utilise un semoir à grains. Le tassement du sol après les semis a pour effet d'aplanir les buttes, d'enfoncer les cailloux dans le sol et de retenir l'humidité, mais il rend aussi le sol plus vulnérable à l'encroûtement.

Écartement des rangs

Les écartements de 70 à 75 cm (28 à 30 po) constituent la norme pour les haricots blancs et colorés lorsque la culture doit être arrachée et andainée. Dans les champs présentant un risque élevé de pourriture à sclérotés, il est préférable de bien écarter les rangs pour assurer une plus grande circulation de l'air dans le couvert végétal. Des écartements de seulement 36 à 56 cm (14 à 22 po) sont préférables pour une culture de haricots qui doit être récoltée en coupe directe. Dans le cadre d'essais ontariens portant sur l'écartement des rangs dans des champs de haricots blancs en semis direct, on a obtenu un gain de rendement de 14 % avec les rangs serrés (c'est-à-dire de moins de 56 cm [22 po]) par rapport aux rangs plus écartés. Lors d'essais relatifs à l'écartement des rangs de haricots blancs et noirs, réalisés au Michigan en 2011-2012, on a comparé des rangs écartés de 15 et 20 po à des rangs espacés de 30 po. Les rangs rapprochés ont généré un gain de rendement allant de 4,5 à 14 %, mais la hauteur des plants est demeurée inchangée. Pour des rangs serrés, il faut choisir des cultivars de haricots blancs qui ont un port érigé et une bonne tolérance à la pourriture à sclérotés.

Il est possible que la levée soit meilleure dans les rangs écartés où l'on a utilisé un semoir à maïs traditionnel que dans les rangs serrés ensemencés au moyen d'un semoir à céréales ou d'un semoir pneumatique. Il faut également tenir compte des points suivants :

- Les semoirs à céréales et les semoirs pneumatiques peuvent endommager les graines fragiles.
- Les semoirs de précision améliorent l'uniformité, la précision de la profondeur de semis et la couverture des semences.
- Les rangs écartés comportent un plus grand nombre de graines par mesure linéaire pour traverser la croûte en surface. Par exemple, des rangs écartés peuvent avoir 16 graines par mètre (5 graines par pied) au lieu de 10 graines par mètre (3 graines par pied) dans des rangs de 36 cm (14 po).

- Il peut y avoir des problèmes de levée si les graines sont semées dans des traces de pneus.

Dans les rangs serrés, les haricots semés dans les traces du tracteur peuvent lever difficilement. Certains producteurs modifient la machinerie de manière à herser ou à travailler la terre entre les roues du tracteur et le semoir. Depuis l'avènement des arracheuses, les plants de haricots semés en rangs écartés de 50 à 56 cm (20 à 22 po) peuvent être arrachés et mis en andains.

Inoculation

L'espèce de rhizobium qui s'associe aux haricots secs comestibles est le *Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli*. Les haricots secs comestibles fixent moins bien l'azote au moyen de rhizobiums que le soja ou d'autres légumineuses. Des essais portant sur l'inoculation et l'utilisation régulière d'un inoculant n'ont pas montré que ces pratiques étaient avantageuses sur le plan économique en Ontario, même si on recommande dans d'autres régions d'employer un inoculant dans des champs vierges qui accueilleront des haricots secs comestibles.

Sol croûté

La pluie battante d'orages peut causer un grave encroûtement des sols lourds ou dont les agrégats sont peu stables. Elle peut aussi empêcher la levée des haricots, surtout si la chaleur et la sécheresse cuisent la surface. Il peut être nécessaire d'ameublir et d'aérer le sol. Lorsque l'encroûtement a été constaté, il n'y a aucun intérêt à attendre, puisque le manque d'uniformité du peuplement risque de s'accroître. Il est parfois préférable que le peuplement soit moins dense et plus uniforme plutôt que plus dense mais inégal. On emploie des houes rotatives, des rouleaux cultivauteurs, des systèmes de coutres, des semoirs pour semis direct, des semoirs de précision et des herbes pour briser les sols croûtés, mais ils ne sont pas toujours efficaces.

L'utilisation de la houe rotative peut réduire la densité de peuplement de 5 à 10 %, mais la plus grande proportion de plants qui lèvent compense largement cette diminution. Par contre, le passage de la houe rotative au stade de la crosse s'accompagne de pertes importantes. Il est possible de réduire les dommages infligés aux plants de haricots par la houe rotative en effectuant cette opération au milieu de la journée, lorsqu'ils sont plus flasques. La vitesse d'avancement doit être de 10 à 20 km/h. Il faut ajuster l'appareil sur une courte distance et vérifier que le pourcentage

de plants enfouis ou déracinés est inférieur à 10 %. Il est normal que la culture n'ait pas un bel aspect après le passage de la houe rotative. La lutte contre les mauvaises herbes est également plus efficace si celles qui sont déracinées sèchent pendant les heures chaudes de la journée.

Évaluation du peuplement et décisions concernant la reprise des semis

La décision de reprendre ou non les semis peut être l'une des plus difficiles à prendre. Les sources de stress des cultures sont cumulatives et affectent habituellement davantage les haricots secs comestibles que le soya. Pour qu'un peuplement de haricots secs comestibles soit acceptable, il doit représenter au moins les deux tiers ou les trois quarts d'un peuplement complet. Ce type de culture a une capacité limitée à se ramifier et à compenser les vides laissés par les pertes de peuplement.

Souvent les haricots qui mettent du temps à sortir de terre après la germination développent un hypocotyle (tige) épais, émettent leurs feuilles sous le sol ou présentent une brûlure des plantules. Lorsqu'on repère un dommage, il faut cibler quelques zones du champ pour les surveiller et les réévaluer. On doit vérifier le système racinaire pour voir s'il y a de nouvelles pousses et une décoloration causée par une maladie des racines (celles-ci doivent être d'un blanc éclatant). Il faut comparer la croissance des plants des zones affectées et des zones non affectées. On doit garder à l'esprit que des mesures de lutte contre les mauvaises herbes ou des dessiccants supplémentaires peuvent être nécessaires lorsque les peuplements ne sont pas uniformes.

Avant de reprendre les semis, il faut analyser les causes de la mauvaise qualité du peuplement, la densité et l'uniformité des plants sains restants, la date de reprise des semis ainsi que les besoins en matière de lutte contre les mauvaises herbes. À la suite de semis tardifs, les haricots canneberges donnent généralement un meilleur rendement que les haricots blancs ou les autres haricots colorés.

Croissance des plants

Les différents cultivars de haricots se distinguent par leurs caractéristiques de croissance. Les cultivars indéterminés poussent continuellement et comportent de longues tiges. La plupart des

Le nombre de plants sains par rang doit être au moins de :

6,5 à 8 plants par mètre dans des rangs de 38 à 56 cm (ou de 2 à 2,5 plants par pied dans des rangs de 15 à 22 po);

10 à 13 plants par mètre dans des rangs de 76 cm (ou de 3 à 4 plants par pied dans des rangs de 30 po);

5 à 6,5 plants par mètre dans des rangs de 18 cm (ou de 1,5 à 2 plants par pied dans des rangs de 7 po).

Ces chiffres présupposent de bonnes conditions de croissance, des plants restants en bonne santé, un peuplement uniforme et un sol non compacté.

haricots couramment cultivés ont une croissance semi-déterminée, c'est-à-dire qu'ils continuent de pousser après le début de la floraison et forment des tiges courtes ou longues. Les types déterminés, aussi appelés « nains », fleurissent et arrivent généralement à maturité en peu de temps. Ils sont parfois plus sensibles à l'humidité et à la chaleur que les types indéterminés (grimpants), qui fleurissent et remplissent leurs gousses sur une période plus longue.

En plus des types de croissance déterminée et indéterminée, on reconnaît les groupes suivants :

Type I – plants nains à croissance déterminée, par exemple la plupart des haricots canneberges et les cultivars de haricots blancs très précoces.

Type II – tige courte dressée, plante étroite ayant trois à cinq branches, par exemple la plupart des cultivars de haricots blancs, noirs, rogons et otebo.

Type III – plants à tige principale faible produisant une tige prostrée, dite « procombante » (sur la surface du sol).

Voir le tableau 5-4, *Stades végétatifs et reproductifs des haricots secs comestibles*. Les stades végétatifs sont décrits selon le nombre de feuilles trifoliées portées par la tige principale. On compte les feuilles trifoliées à partir du moment où leurs bords ne se touchent plus. Normalement, les haricots secs comestibles s'autofécondent.

Tableau 5-4 – Stades végétatifs et reproductifs des haricots secs comestibles

Symbole	Stade	Description	Nombre de jours écoulés depuis le semis¹
VE	Levée de l'hypocotyle	Les plantules lèvent de terre (stade de la crosse).	7 ou 8
VC	Cotylédon (ouverture des feuilles unifoliées)	L'hypocotyle se redresse, les cotylédons (feuilles de la graine) s'ouvrent, et les feuilles unifoliées sont visibles.	8 ou 9
V1	Première feuille trifoliée	Première feuille trifoliée entièrement formée au troisième nœud.	10
V2	Deuxième feuille trifoliée	Deuxième feuille trifoliée (les bords des feuilles ne se touchent plus).	19
V3	Troisième feuille trifoliée	Troisième feuille trifoliée. La ramification secondaire commence à l'aisselle des feuilles.	29
V4	Quatrième feuille trifoliée	Quatrième feuille trifoliée.	33
V5	Cinquième feuille trifoliée	Plantes naines – les fleurs des plants de type I (déterminés) commencent à apparaître et atteignent le stade R1.	50
V8	Huitième feuille trifoliée	Plantes grimpantes – les fleurs des plants de type II (indéterminés) commencent à apparaître et atteignent le stade R2.	40
Vn	Énème feuille trifoliée	La énème feuille trifoliée apparaît au nœud N-2. Nouveau nœud tous les trois à cinq jours.	40 + (nb)
R1	Première fleur	Une fleur éclore par plant.	50
	30 % de floraison	Présence de fleurs ouvertes et fanées, mais aucun signe de gousses. 30 % des fleurs qui apparaîtront sont ouvertes.	53
R2	50 % de floraison	Apparition des premières gousses (immatures).	53
R3	Début de la formation des gousses	Une gousse a atteint sa longueur maximale.	56
R4	Moitié de la formation des gousses	50 % des gousses ont atteint leur longueur maximale (les graines ne sont pas visibles).	60
R5	Début du remplissage des gousses	Une gousse par plant contient des graines pleinement formées.	64
R6	Moitié du remplissage des gousses	50 % des gousses contiennent des graines pleinement formées.	66
R8	Maturation	50 % des feuilles jaunissent; pic de la production.	90
R9	Maturité physiologique	80 % des gousses qui étaient vertes ont pris leur teinte de maturité; seulement 40 % des feuilles sont encore vertes.	105

¹ Le nombre approximatif de jours écoulés depuis le semis variera d'une saison et d'un cultivar à l'autre.

Gestion de la fertilisation

Azote

Même si les haricots secs comestibles sont des légumineuses, ils comblent moins de la moitié de leurs besoins en azote en fixant cet élément. D'après des études, l'inoculation (rhizobium) n'apporte aucun bénéfice. Des recherches sur l'azote menées en Ontario montrent que l'incorporation d'azote avant les semis ou l'épandage de cet élément en bandes fait augmenter les rendements certaines années, mais n'améliore pas le rendement économique pour autant. L'épandage d'azote avant la floraison n'entraîne aucun gain de rendement. Des études réalisées dans d'autres

territoires (Manitoba, Michigan, Wyoming, Dakota du Nord) indiquent que l'épandage d'azote avant les semis engendre une hausse du rendement économique et recommandent des doses de 18 à 36 kg/ha (40 à 80 lb/ac). S'il y a épandage en bandes d'engrais phosphatés, un faible apport d'azote (10 kg/ha ou 9 lb/ac) pourrait améliorer la biodisponibilité du phosphate.

Il est important de tenir compte des cultures antérieures, de la teneur en matière organique du sol et des anciens épandages de fumier lorsqu'on décide d'appliquer un engrais azoté supplémentaire. Il est possible que le sol n'ait pas besoin d'azote si du fumier est épandu ou si les haricots succèdent à une culture de légumineuse ou à une culture qui a reçu une grande quantité d'azote.

L'azote stimule la croissance des plants et des racines, ce qui peut être utile quand les haricots poussent lentement en raison de stress environnementaux ou d'un problème de pourriture des racines. Là où les rendements des haricots comestibles sont habituellement faibles à cause de bronzage ou de pourriture des racines, il faut épandre 100 kg/ha (90 lb/ac) d'azote avant le semis. L'azote ne constitue pas un remède contre ces maladies, mais il peut faire augmenter le rendement ainsi que la hauteur des plants, ce qui est utile pour la récolte dans des rangs serrés ou quand les haricots sont cultivés dans des sols argileux et lourds. L'azote peut accroître les risques de pourriture à sclérotose et la gravité de cette maladie parce qu'il accroît la végétation, mais ne retarde pas considérablement la maturité des haricots.

Phosphate et potasse

Les doses de phosphate et de potasse recommandées pour la culture des haricots secs comestibles sont présentées aux tableaux 5-5, *Directives relatives au phosphate pour la culture des haricots secs comestibles*, et 5-6, *Directives relatives à la potasse pour la culture des haricots secs comestibles*. Pour plus d'information sur l'utilisation de ces tableaux ou en l'absence d'une analyse de sol reconnue par le MAAARO, voir la section *Directives relatives aux engrais* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Si on utilise du fumier, on doit réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier conformément au tableau 9-10, *Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques*.

Lorsque le sol a une teneur adéquate en ces éléments nutritifs, le rendement des haricots secs comestibles n'augmente que très peu après l'épandage de phosphore comme engrais de démarrage. Quand le sol contient peu de potassium, la carence se manifeste chez les haricots blancs sous forme de jaunissement des feuilles inférieures et de nécrose du pourtour des feuilles, comme on le montre à la photo 5-1. Les plantules des haricots secs comestibles sont très sensibles aux dommages causés par la toxicité de l'ammonium et le sel des engrais de démarrage. Aucun engrais ne devrait être en contact direct avec les semences. Il faut appliquer l'engrais de démarrage en bandes, 5 cm (2 po) à côté et 5 cm (2 po) au-dessous des semences. Lorsque du phosphore ou du zinc est nécessaire, un épandage en bandes est plus efficace. L'engrais peut être épandu

à la volée et enfoui, incorporé au sol avant les semis ou épandu à l'aide d'un semoir équipé d'un dispositif distinct pour l'engrais.



Photo 5-1 – Carence en potasse se manifestant chez les haricots blancs par un jaunissement des feuilles inférieures et une nécrose du pourtour des feuilles

Tableau 5-5 – Directives relatives au phosphate (P_2O_5) pour la culture des haricots secs comestibles

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium	Quantité de phosphate à appliquer
0 à 3 ppm	80 kg/ha (RÉ)
4 à 5 ppm	60 kg/ha (RÉ)
6 à 7 ppm	50 kg/ha (RÉ)
8 à 9 ppm	40 kg/ha (RÉ)
10 à 12 ppm	30 kg/ha (RM)
13 à 15 ppm	20 kg/ha (RM)
16 à 30 ppm	0 (RF)
31 à 60 ppm	0 (RTF)
61 ppm et plus	0 (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application du phosphore sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, des apports de phosphore peuvent entraîner des carences en zinc dans les sols pauvres en zinc et augmenter les risques de pollution de l'eau.

Tableau 5-6 – Directives relatives à la potasse (K_2O) pour la culture des haricots secs comestibles

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

LÉGENDE : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle

Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium	Quantité de potasse à appliquer
0 à 15 ppm	120 kg/ha (RÉ)
16 à 30 ppm	110 kg/ha (RÉ)
31 à 45 ppm	90 kg/ha (RÉ)
46 à 60 ppm	80 kg/ha (RÉ)
61 à 80 ppm	60 kg/ha (RM)
81 à 100 ppm	40 kg/ha (RM)
101 à 120 ppm	30 kg/ha (RM)
121 à 150 ppm	0 (RF)
151 à 250 ppm	0 (RTF)
251 ppm et plus	0 (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application de potasse sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, l'épandage de potasse dans des sols pauvres en magnésium peut provoquer une carence en magnésium.

Analyse des tissus végétaux

Pour l'analyse des tissus végétaux, dans le cas des haricots secs comestibles, il est préférable de prélever la feuille pleinement formée la plus haute (trois folioles plus le pétiole) à la première floraison. Consulter le tableau 5-7, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux de haricots secs comestibles*.

Cependant, les plants soupçonnés d'avoir une carence en éléments nutritifs devront être échantillonnés dès l'apparition des premiers signes. Si l'échantillonnage a lieu à tout autre moment qu'à la première floraison, il faut prélever des échantillons provenant à la fois de zones saines et de zones touchées pour pouvoir les comparer. On doit joindre aux tissus végétaux prélevés un échantillon de sol pris au même endroit et en même temps. Les valeurs qui figurent au tableau 5-7 se rapportent à la feuille pleinement formée la plus haute (trois folioles plus le pétiole) à la première floraison.

Oligo-éléments

Manganèse

En Ontario, il arrive que des carences en manganèse soient signalées dans des cultures de haricots secs comestibles. Ce problème risque davantage de se manifester dans les sols très sableux et les terres noires. Chez les plants qui souffrent d'une carence en manganèse, les feuilles supérieures vont du vert pâle au blanc, alors que leurs nervures restent vertes. Ces signes peuvent paraître similaires à ceux d'une carence en fer; toutefois, la carence en manganèse se présente généralement sur tout le plant, alors que la carence en fer apparaît sur les nouvelles pousses.

Tableau 5-7 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux de haricots secs comestibles

Légende : — = aucune donnée disponible

Élément nutritif	Concentration critique ¹	Concentration normale maximale ²
Azote (N)	4,00 %	5,5 %
Phosphore (P)	0,15 %	0,5 %
Potassium (K)	1,20 %	2,5 %
Calcium (Ca)	—	5,0 %
Magnésium (Mg)	0,10 %	1,0 %
Bore (B)	10,0 ppm	55,0 ppm
Cuivre (Cu)	4,0 ppm	30,0 ppm
Manganèse (Mn)	14,0 ppm	100,0 ppm
Zinc (Zn)	14,0 ppm	50,0 ppm

¹ Prévoir une baisse de rendement due à une carence en un élément nutritif donné lorsque la concentration de ce dernier tombe au niveau critique ou sous celui-ci.

² Les concentrations normales maximales sont plus que suffisantes, mais ne causent pas nécessairement de toxicité.

Il faut suppléer la carence aussitôt qu'elle est décelée en pulvérisant sur le feuillage 2 kg/ha (1,8 lb/ac) de manganèse sous forme de sulfate de manganèse (soit 8 kg/ha ou 7,1 lb/ac) dissous dans 200 l (44 gal) d'eau. On recommande l'utilisation d'un mouillant-adhésif. Il faut employer un produit de manganèse à vaporiser pour prévenir l'obstruction des buses.

Dans de bonnes conditions de croissance, les feuilles atteintes devraient verdir en quatre ou cinq jours. Les produits à base de manganèse chélaté sont tout aussi efficaces avec la même dose de manganèse, mais ils sont beaucoup plus dispendieux que le sulfate de manganèse. De faibles doses de manganèse chélaté ne peuvent pas pallier une carence.

En général, les haricots réagissent bien à un apport de manganèse dans les parties du champ où la carence est évidente. Il n'y a aucun intérêt à appliquer cet élément sur des plants qui ne présentent pas de signes de carence.

Zinc

Il y a parfois peu de zinc dans les sols pauvres en matière organique, compactés, sableux, érodés ou au pH très élevé. Des signes de carence peuvent aussi apparaître par temps frais et humide au début de la saison de croissance.

Comme le zinc n'est pas très mobile dans les plants, la carence se manifeste généralement sur les nouvelles pousses : les feuilles ont une coloration vert pâle entre les nervures et jaunissent sur le bout et le pourtour. Au début de la carence, les feuilles peuvent être déformées ou trop petites. Plus tard en saison, les tissus foliaires peuvent présenter des signes d'insolation et de bronzage ou brunissement des feuilles, et la carence peut entraîner la chute des gousses terminales à la floraison, ce qui retarde la maturation.

Le rendement des haricots secs comestibles n'augmente généralement pas lorsqu'on épand du zinc, à moins que la teneur du sol en cet élément soit faible (indice inférieur à 15). Pour en savoir plus sur les possibilités d'épandage au sol et de pulvérisation foliaire de zinc, consulter le chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Bore

Comme les haricots sont très sensibles au bore, ils ne devraient pas être cultivés dans un champ où l'on a épandu du bore sur une culture de rutabagas, de betteraves à sucre ou de fourrages l'année précédente.

Récolte et entreposage

Il est très facile d'endommager les haricots secs comestibles à la récolte. Comme ils sont vendus en fonction de leur apparence, la qualité et la couleur de leur tégument sont importantes. Le but ultime est de produire des haricots propres, brillants et entiers, et il est essentiel de les récolter rapidement pour préserver leur qualité. Il faut aussi connaître les normes de qualité de la catégorie commerciale visée. La teneur en eau idéale pour la récolte est de 16 à 20 %; si la récolte est effectuée à l'extérieur de cette plage, la qualité diminuera. En effet, une faible teneur en eau à la récolte fera augmenter la quantité de graines fendues et de téguments fissurés.

Les conditions météorologiques automnales détériorent certains types de haricots beaucoup plus rapidement que d'autres. Voici quelques différences entre les catégories :

- À maturité, les haricots rognons, bruns hollandais et noirs supportent généralement mieux les intempéries que les petits haricots blancs, les haricots canneberges, les haricots otebo et les haricots rognons blancs.
- Les haricots canneberges sont sujets à un noircissement du tégument une fois parvenus à maturité, ce qui fait baisser leur valeur; il est donc important de les récolter rapidement.
- Les haricots colorés de gros calibre ont tendance à absorber plus d'humidité après une averse et mettent ainsi plus de temps à sécher.
- L'azuki a un port nettement dressé et est plutôt résistant à l'altération sur pied, et son tégument dur n'absorbe pas l'humidité une fois parvenu à maturité.

Chaque type de haricot est assorti de ses propres normes de qualité que les acheteurs recherchent; il importe donc de les connaître avant la récolte. Les haricots blancs doivent être propres et exempts de saleté (venant du lissage) et de taches. Pour les haricots canneberges et l'azuki, ce sont la taille et la couleur des graines qui importent, alors que pour les haricots rognons, c'est le faible nombre de téguments fissurés.

Impuretés et criblures

Les impuretés sont tous les corps étrangers séparés des haricots pendant le criblage. Certaines d'entre elles ne peuvent être que partiellement éliminées par cette opération (p. ex. graines de mauvaises herbes, maïs, soya et autres cultures). Un chargement peut être refusé si les haricots sont fortement tachés par des mauvaises herbes ou des végétaux, et la qualité sera moindre si les haricots sont sales. Un chargement peut aussi être refusé s'il contient des morceaux de métal ou de verre, par exemple. Il est impératif que les haricots livrés soient exempts de soya, de maïs ou d'autres sortes de haricots. La présence de soya ou de maïs dans un échantillon peut entraîner le rejet du chargement, car l'on présumera qu'ils sont génétiquement modifiés, ce que ne tolèrent pas certains pays importateurs. Des allergènes comme le blé et le soya peuvent aussi poser problème, et il est possible que le traitement des haricots n'arrive pas à enlever tous les contaminants. Avant la récolte, il faut débarrasser la moissonneuse-batteuse de tous les résidus de graines des récoltes précédentes.

On appelle criblures le pourcentage (en poids) de haricots défectueux, notamment de graines fendues, décolorées et déformées qui restent après le nettoyage des impuretés. La pénalité financière encourue pour les criblures est double puisqu'elle correspond au poids des graines enlevées, plus le coût de leur retrait.

Deux méthodes sont couramment utilisées pour la récolte des haricots secs comestibles : l'arrachage suivi de l'andainage, et la coupe directe par moissonneuse-batteuse.

Arrachage, andainage et moissonnage-battage

Les haricots de gros calibre et ceux cultivés dans des rangs écartés sont habituellement arrachés et mis en andains groupés au moment de la récolte. Par arrachage, on entend le fait de couper les plants de 3 à 5 cm (1,2 à 2,0 po) sous la surface du sol et de fusionner plusieurs rangs en un seul andain groupé ou étalé. L'arrachage a lieu lorsque 90 % des gousses sont parvenues à maturité et ont jauni. Pour empêcher les gousses de tomber et éviter les pertes par égrenage, on doit arracher les plants tôt le matin, lorsqu'ils sont fermes et mouillés par la rosée. Les haricots sont récoltés plus tard le même jour à l'aide d'une moissonneuse-batteuse conçue pour la récolte des haricots comestibles ou d'une moissonneuse-batteuse traditionnelle pourvue d'une pièce qui soulève les andains groupés. Comme l'exposition prolongée de la culture mature à l'humidité entraîne une perte de qualité, il faut la récolter le plus tôt possible après avoir arraché les plants. Il est nécessaire d'employer cette technique de récolte spécialisée pour respecter les normes de qualité des haricots de gros calibre qui sont établies par le marché. Dans de bonnes conditions, les pertes de graines à la récolte s'élèvent normalement de 3 à 5 % (1 % à l'arrachage et à l'andainage, 1 % au ramassage par moissonneuse-batteuse et 1 à 2 % au nettoyage et au battage).

Coupe directe par moissonneuse-batteuse

Les types de haricots qui se prêtent le mieux à la récolte par coupe directe sont les haricots blancs au port dressé, l'azuki et les haricots noirs et pinto. On peut utiliser cette méthode pour certains haricots de gros calibre si on les cultive en rangs serrés et les récolte à la bonne teneur en eau pour réduire les dommages aux graines.

Certaines améliorations apportées aux moissonneuses-batteuses permettent de réduire les pertes à la récolte et de limiter la quantité de haricots salis, fendus et endommagés. Les techniques de nettoyage et de battage adaptées à la culture varient au cours de la journée, à mesure que change la teneur en eau; autrement dit, on devrait ajuster la moissonneuse-batteuse tout au long de la journée.

Voici ce qu'il faut prendre en considération lorsqu'on configure la moissonneuse-batteuse :

- On doit maintenir les couteaux bien affûtés pour limiter les pertes par égrenage.
- Il faut faire tourner les cylindres à la vitesse minimale nécessaire pour battre la récolte. On doit faire circuler un maximum de plants dans le cylindre pour réduire les dommages aux graines. Sur de nombreuses moissonneuses-batteuses, il est impossible de baisser la vitesse du cylindre à moins de 250 tours/minute, ce qui peut être trop rapide pour les haricots faciles à battre. Il se vend des trousseaux de ralentissement des cylindres qui comprennent une poulie d'entraînement de plus petit diamètre et une courroie.
- Il faut veiller à ce que la vis sans fin de déchargement tourne à basse vitesse et reste pleine pour réduire les dommages aux graines. Les graines sont facilement endommagées lorsqu'elles passent dans la courte vis sans fin verticale de la moissonneuse-batteuse (vis sans fin tourelle) qui les amène du fond du réservoir à la vis sans fin de déchargement. Certains producteurs de haricots remplacent les vis sans fin de déchargement par des transporteurs à courroie.
- On doit régler la vitesse d'avancement de la moissonneuse-batteuse à environ les deux tiers de celle adoptée pour la récolte du soya.
- Il faut munir la moissonneuse-batteuse de dispositifs soulevant les gousses basses avant que le plant ne soit coupé. Ce système peut être particulièrement avantageux pour la récolte de cultivars dont le port n'est pas nettement dressé. La coupe directe faite en angle par rapport au rang permet de répartir les plants le long du couteau.
- On doit régler la barre de coupe flottante flexible de manière à couper les plants de haricots le plus près possible du sol, pour réduire la coupe des gousses basses et les pertes de graines connexes. Il faut veiller à ce que le couteau coupe vite et bien sans secouer les plants, pour éviter l'ouverture des gousses et l'égrenage des haricots. La plupart des pertes sont dues à l'égrenage. Des études menées en Ontario ont montré qu'une barre de coupe flottante

flexible permettait de réduire les pertes de 25 % comparativement à une tête flottante traditionnelle. De plus, les barres de coupe « à mouvement rapide » permettent une réduction des pertes pouvant atteindre 40 % comparativement à une barre de coupe ordinaire.

- L'utilisation d'un rabatteur avec soufflerie améliore considérablement le chargement de la moissonneuse-batteuse et réduit les pertes au niveau du couteau; il dégage ainsi la barre de coupe sans faire pénétrer les cailloux dans la tête. Le rabatteur avec soufflerie offre un maximum d'avantages dans des conditions de récolte difficiles, en cas de verse ou lorsque le volume de la récolte est réduit. Dans de bonnes conditions, les pertes à la récolte peuvent n'être que de 3 %, que l'on utilise un rabatteur avec soufflerie ou non. Tard dans la journée, avec l'assèchement des gousses, les pertes au niveau de la tête peuvent dépasser les 20 % si l'on utilise un rabatteur ordinaire, et elles ne seront que de 10 % si l'on utilise un rabatteur avec soufflerie.
- Il faut modifier le parcours de la moissonneuse-batteuse de façon à améliorer le rendement et la qualité. Il faut circuler dans le sens contraire de la verse pour récolter les branches qui retombent et les gousses basses, ce qui permet de réduire le nombre de gousses restées sur le plant. Si le peuplement n'est pas parvenu à maturité de manière uniforme, on doit repousser la récolte dans les zones concernées jusqu'à ce que la maturité soit suffisante.

Maintien de la qualité à la récolte

Il peut arriver que la culture soit prête à être récoltée, mais que le champ soit encore vert ou envahi par les mauvaises herbes en totalité ou en partie. Or si la récolte est effectuée en présence de tiges vertes ou de mauvaises herbes vertes, les haricots peuvent être tachés. De même, des mauvaises herbes produisant des baies mauves, comme la morelle noire de l'Est et le phytolaque d'Amérique, peuvent fortement tacher les haricots. De plus, il peut se produire une croissance secondaire quand les plants parviennent à maturité, surtout lorsque la pluie suit une période prolongée de sécheresse. Si on prévoit effectuer une récolte par coupe directe, il faut appliquer un dessiccant pour dessécher les tissus verts restants. Il se vend des produits d'aide à la récolte qui permettent de brûler chimiquement les mauvaises herbes et de dessécher la culture. Pour plus d'information, voir la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*. Comme le moment de l'épandage peut différer d'un produit à l'autre, il faut consulter l'étiquette et suivre les

directives qui y sont indiquées. L'utilisation de certains produits peut aussi être proscrite pour les haricots secs comestibles exportés dans des marchés précis; il est donc impératif de consulter le fournisseur de haricots pour connaître les restrictions.

Si un entreposage à l'exploitation est nécessaire, on doit placer chacun des cultivars de haricots secs comestibles dans des cellules distinctes qui sont exemptes d'oléagineux ou d'autres grains. Les haricots récoltés doivent demeurer exempts de cailloux, de morceaux de verre ou d'autres contaminants de la grosseur des graines. La présence d'impuretés peut faire diminuer la valeur de la récolte.

Autres problèmes liés aux cultures

Insectes et maladies

La figure 5-1, *Calendrier de dépistage des ennemis des haricots secs comestibles*, indique les causes possibles des signes de dommages observés dans le champ. On trouvera une description des insectes, des animaux nuisibles, des maladies ainsi que des stratégies de dépistage et de lutte aux chapitres 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et 16, *Maladies des grandes cultures*. Les traitements recommandés contre les insectes, les animaux nuisibles et les maladies sont présentés dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Dommages causés par le gel et la grêle

Le gel et la grêle peuvent causer d'énormes dégâts dans une culture de haricots. En début de saison, l'ampleur des dommages dus au gel dépend de la partie atteinte : si les plants sont endommagés sous les cotylédons, ils ne s'en remettent pas. Si le point végétatif est endommagé mais que le pied de la tige reste intact, le plant émettra de nouvelles pousses à partir de la base des feuilles ou des cotylédons. Il faut attendre quelques jours avant de reprendre les semis pour voir si ces pousses apparaissent.

Après un épisode de grêle, les haricots secs comestibles se rétablissent beaucoup moins bien que le soya. Les cultivars déterminés sont moins susceptibles de s'en remettre que les cultivars indéterminés de type II. Pour évaluer les dommages causés par la grêle, il faut vérifier s'il y a des meurtrissures sur les tiges. Les tiges endommagées au stade végétatif pourraient ne pas supporter le poids des gousses. Par ailleurs, les plaies

laissées par la grêle servent de porte d'entrée aux agents pathogènes causant la brûlure bactérienne. Lorsque les gousses sont endommagées par la grêle, les graines ou les gousses entières finissent souvent par pourrir.

Si la gelée survient près du moment de la maturité, les gousses jaunes à brunes sont souvent suffisamment formées pour échapper aux dommages. Les haricots encore verts se ratatinent, conservent leur couleur verdâtre et font augmenter les criblures. Il est possible de prévenir la formation de taches et d'améliorer la séparation en repoussant la récolte jusqu'au moment où les haricots sont suffisamment secs.

Plantules exfoliées

Les plantules exfoliées sont des plants dont le point végétatif est endommagé ou absent à leur sortie de terre. Les cotylédons (feuilles séminales) ne sont pas toujours présents, comme on le voit à la photo 5-2. Si les plants ont des bourgeons auxiliaires au pied des cotylédons, ils ne se développent pas. Sans point végétatif, les plants finissent par mourir. Ce phénomène découle le plus souvent de dommages mécaniques infligés aux semences, ou d'une mauvaise manutention. Les dommages se manifestent alors par des fissures dans le tégument. On ne doit pas confondre ce type de lésion avec les signes d'une infestation par la mouche des légumineuses, qui laisse les plantules à l'aspect déchiqueté. Des semences de mauvaise qualité peuvent aussi donner des plantules dont les cotylédons sont brisés ou fissurés, et celles ayant une teneur en eau inférieure à 16 % sont plus sujettes aux dommages mécaniques. Il faut donc utiliser uniquement des semences certifiées de haute qualité. De plus, on doit traiter les semences avec un fongicide au moment des semis pour protéger les plantules des maladies, et les manipuler délicatement afin de limiter les dommages mécaniques.



Photo 5-2 – Haricots exfoliés
(sans feuilles séminales)

Compaction et structure du sol

Les haricots secs comestibles font partie des cultures les plus sensibles à la compaction, à la dureté des semelles de labour et à une mauvaise structure du sol. Souvent les plants deviennent rabougris, comme l'illustre la photo 5-3, parce que la croissance limitée des racines n'arrive pas à alimenter la croissance des parties aériennes. Il arrive souvent que les systèmes racinaires frêles ou stressés pourrissent. Le seul moyen de réduire la compaction ou d'améliorer la structure du sol pendant la saison de croissance consiste à sarcler les entre-rangs. Cette solution permet d'ameublir et d'aérer le sol et d'envoyer la terre meuble au pied des plants pour favoriser le développement de nouvelles racines. La fertilisation foliaire pallie efficacement les carences en oligo-éléments, mais elle ne permet pas aux plants d'absorber suffisamment d'azote, de phosphore ou de potassium.



Photo 5-3 – Chez les haricots blancs, la compaction du sol mène à la formation de systèmes racinaires peu profonds, comme pour le plant de droite

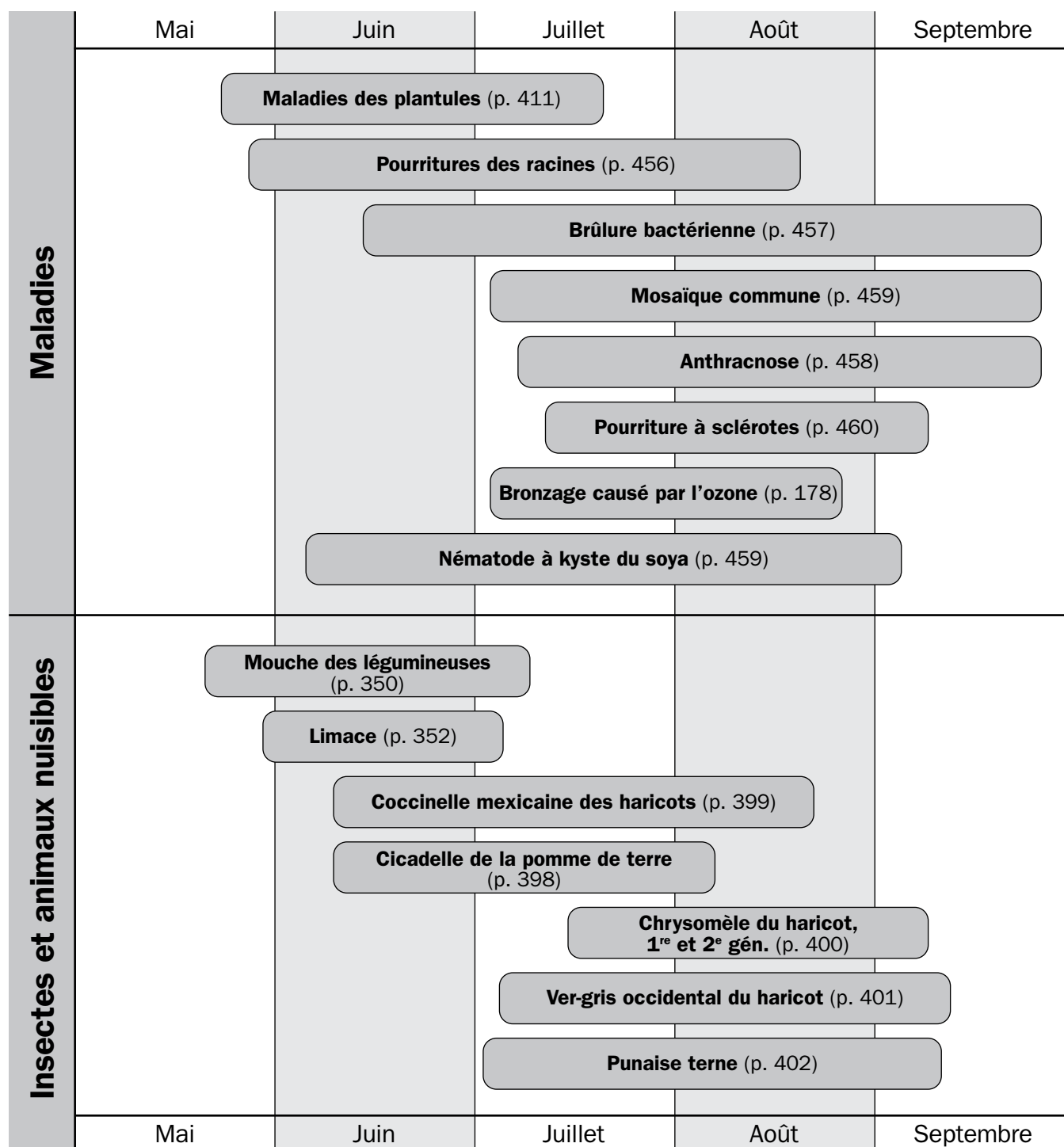


Figure 5-1 – Calendrier de dépistage des ennemis des haricots secs comestibles

Insolation et bronzage

L'insolation est causée par une très forte concentration de la chaleur solaire dans les tissus végétaux (voir photo 5-4). Pouvant se manifester sur les feuilles, les tiges ou les gousses, elle touche la plupart du temps les nouveaux tissus foliaires succulents. Elle peut se manifester par une couleur brune et un aspect brûlé des tissus foliaires, ou par une décoloration blanche des feuilles supérieures exposées. Les tissus foliaires affectés deviennent nécrosés et s'émiettent facilement, ce qui leur donne une apparence déchiquetée. Les dommages se produisent souvent lorsque des journées très ensoleillées sont suivies de jours nuageux, chauds et humides. L'insolation ne nuit pas au rendement.



Photo 5-4 – Une température élevée peut brûler les feuilles supérieures, causant ainsi un flétrissement et une nécrose de couleur brune semblables aux dommages laissés par le gel



Photo 5-5 – Le bronzage, causé par l'ozone, touche les feuilles supérieures des plants de haricots secs

Le bronzage est causé par une exposition à l'ozone (O_3), qui provient de la pollution atmosphérique et des éclairs des orages. Un ensoleillement intense ou une température élevée favorisent ce type de dommage. Comme les plants tolèrent mieux l'ozone par temps sec, les signes peuvent être plus prononcés dans des conditions humides. Dans une culture ou une zone donnée, les dommages sont généralement plus importants pendant les épisodes de pollution atmosphérique ou les orages violents. Les dommages se manifestent par des mouchetures brun rougeâtre ou le « bronzage » de la face supérieure des feuilles (voir photo 5-5). Les gousses peuvent aussi être touchées, mais les dommages sont généralement mineurs; les graines, elles, ne le sont habituellement pas. La sensibilité à l'ozone varie d'un cultivar à l'autre, mais les haricots noirs semblent particulièrement vulnérables.

6. Canola de printemps et d'automne

Le canola est un oléagineux cultivé en saison fraîche qui est bien adapté aux régions tempérées de l'Ontario. Les semis et la gestion du canola d'automne sont semblables à ceux du canola de printemps; les différences relatives à la gestion de ces céréales sont présentées ci-dessous.

Le canola fait partie de la famille des *Brassicae*, qui englobe le radis sauvage (cultivé en tant que culture couvre-sol), le rutabaga, la moutarde, le chou-fleur, le chou et le brocoli. Les cultivars de canola contiennent moins de 30 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolate et moins de 2 % d'acide érucique, et ont une teneur en huile moyenne de 40 à 45 %. En Ontario, on trouve les *Brassicae napus* (originaires d'Argentine), qui se distinguent des autres espèces par la forme de leurs feuilles supérieures. Le canola a des feuilles cireuses de couleur bleu-vert foncé aux lobes peu profonds, alors que les plants de moutarde ont des feuilles velues vert pâle aux lobes profonds.

Méthodes de travail du sol

Méthode traditionnelle

Bon nombre d'exploitations agricoles délaissent la méthode traditionnelle de travail du sol (c.-à-d. la charrue à socs et le chisel) au profit d'autres méthodes qui perturbent moins le sol et laissent beaucoup de résidus dans les champs. Certains producteurs préfèrent travailler le sol en majeure partie à l'automne dans des sols argileux ou des loams argileux, afin de pouvoir créer un bon lit de semence au printemps. Cependant, au printemps, il faut limiter le travail superficiel du sol au strict minimum afin de préserver l'humidité du sol, d'éviter l'encroûtement et de réduire les risques d'érosion importante à la suite de fortes averses printanières. Un lit de semence à texture granulaire qui a de bons agrégats et fournit un bon contact entre la semence et le sol est préférable à un lit de semence à texture fine.

Travail réduit du sol et semis direct

Quand on utilise la méthode de travail réduit du sol et le semis direct, le canola peut donner de très bons résultats, à condition que le semoir puisse placer les

graines sous les résidus et bien en contact avec le sol. L'efficacité du semis direct repose sur la bonne gestion des résidus présents à la récolte dans l'année précédant la culture du canola. Si les résidus de culture (paille et paillette) ne sont pas étalés uniformément, le semoir pourrait mal placer les graines, et les plantules auront alors du mal à pousser à travers la couche de résidus. Soulignons aussi que les résidus mal étalés constituent un habitat idéal pour les limaces. Il n'est donc pas recommandé de semer le canola par semis direct dans des résidus de céréales à cause des risques de destruction du peuplement par les limaces. Certains outils de travail du sol déplacent les résidus, perturbent l'habitat des limaces et répartissent uniformément la paille et la paillette, ce qui facilite la mise en place des semences. Les roues tasseuses du semoir pour semis direct doivent placer fermement la semence au fond d'une raie peu profonde, assurant ainsi un bon contact entre la semence et le sol. Il est possible de semer par semis direct dans la plupart des types de résidus, y compris les tiges de maïs, si le matériel utilisé s'y prête bien et est correctement ajusté.

Sélection du site et rotation des cultures

Le canola pousse de façon optimale dans les sols bien drainés qui ont un pH d'au moins 5,5. Les champs dont le drainage et le pH varient donnent des densités de peuplement et des rendements inégaux. Dans les sols qui retiennent peu l'humidité, les céréales de printemps résistent mieux à la sécheresse que le canola de printemps.

Le canola d'automne a besoin d'un meilleur drainage que le blé d'automne et doit par conséquent être cultivé dans des sols bien drainés. Il tolère généralement bien le gel, mais quand il est cultivé dans des sols lourds ou mal drainés, il peut avoir de la difficulté à survivre à l'hiver, notamment en raison d'un déchaussement des racines, de problèmes de pourriture des racines et de dommages liés à l'accumulation de glace.

La rotation des cultures est un excellent moyen de réduire la progression des maladies et infestations d'insectes. On recommande de laisser trois ou quatre ans entre chaque culture de canola. Les longues rotations comprenant des cultures ne servant pas

d'hôtes à la *Sclerotinia* (pourriture à sclérotés), à la jambe noire et à la cécidomyie du chou-fleur contribueront à diminuer la présence de ces ravageurs dans les champs de canola. Pour limiter la propagation de la cécidomyie du chou-fleur, il faut aussi exclure de la rotation tous les crucifères adventices, notamment la moutarde, la bourse-à-pasteur, la lépidie des champs, le tabouret des champs, la barbarée vulgaire et le radis. Toutefois, tout champ de canola à proximité peut favoriser la prolifération de cet insecte.

La rotation joue également un rôle important dans la protection contre l'effet rémanent des herbicides, le canola étant particulièrement sensible à plusieurs produits du groupe 2. La rémanence des herbicides est plus élevée dans les sols pauvres en matière organique, très secs et ayant un pH élevé ou faible, car les herbicides s'y décomposent moins bien. Pour connaître les précautions à prendre relativement à la rémanence de chaque herbicide, consulter le tableau 4-4, *Restrictions (rotation des cultures et pH du sol) – Grandes cultures*, de la publication 75F du MAAARO.

Il ne faut pas cultiver le canola d'automne à moins de cinq kilomètres d'une plantation de rutabagas, car ces deux cultures servent d'hôtes au virus de la mosaïque du navet. Cette maladie occasionne des pertes importantes dans les cultures de rutabagas.

Dans la rotation, on ne doit pas cultiver de maïs après le canola en raison du risque de carence en phosphore. Les racines du maïs s'associent étroitement aux mycorhizes à vésicules et arbuscules, des champignons dans le sol qui facilitent l'absorption du phosphore. Après une culture de canola, la colonisation des racines des plantules de maïs par ces organismes est réduite, ce qui fait augmenter les risques de carence en phosphore.

Le canola peut être utilisé de différentes façons dans une rotation des cultures. On le récolte suffisamment tôt pour pouvoir planter à temps le blé d'automne. Beaucoup de producteurs signalent d'ailleurs que le blé d'automne donne un rendement optimal quand il suit le canola dans la rotation. Mentionnons qu'après une récolte de canola, il y aura probablement beaucoup de repousses. Même si la plupart d'entre elles ne survivront pas à l'hiver, il faut éliminer ces pousses au début du printemps, avant qu'elles se développent et deviennent difficiles à gérer.

Choix des cultivars

Le rendement et les caractéristiques des cultivars mis à l'essai par l'Ontario Soybean and Canola Committee sont présentés au www.gosoy.ca. Il est important de choisir des cultivars de qualité supérieure qui ont donné des rendements stables à divers endroits et pendant plusieurs années.

En plus du rendement, il faut prendre en compte les caractéristiques suivantes :

- Résistance à la verse;
- Herbicides employés (p. ex. LibertyLink, Roundup Ready, Pursuit);
- Résistance aux maladies (p. ex. jambe noire, pourriture à sclérotés);
- Faible pourcentage de graines vertes et brunes;
- Tolérance à l'égrenage.

Tous les cultivars de canola actuellement utilisés en Ontario sont des *Brassicae napus* et ont une bonne résistance à la jambe noire, bien que ce caractère soit variable selon les cultivars. Quand la semence a été importée, un certificat phytosanitaire établit qu'elle est exempte de jambe noire, une maladie grave qui peut être transmise par les semences ou le sol. Certaines entreprises ont également réussi à créer des cultivars plus résistants à la *Sclerotinia*.

La majorité des cultivars de canola en Ontario sont tolérants au glufosinate (Liberty) ou au glyphosate et sont génétiquement modifiés. Certains tolèrent en outre les imidazolinones, l'ingrédient actif d'herbicides comme Pursuit; ils ont été créés par la sélection de mutations naturelles de cultivars traditionnels.

Il faut choisir des cultivars dont les gènes assurent un faible pourcentage de graines vertes et brunes. C'est la durée de la saison de croissance et les stress d'origine météorologique pendant le remplissage des gousses qui ont le plus d'influence sur la couleur de la graine, mais celle-ci est également déterminée génétiquement. Si l'intérieur des graines écrasées est vert ou brun (au lieu de jaune pâle, la couleur normale), la qualité de l'huile et ultimement la valeur marchande du canola s'en trouveront réduites; la présence de graines vertes et brunes peut donc entraîner le déclassement ou le refus d'un chargement de canola.

Semis

L'établissement du peuplement est l'une des principales difficultés avec la culture du canola. Un mauvais établissement découle souvent d'une mauvaise préparation des lits de semence, de la sécheresse du sol ou de son encroûtement. Lorsqu'on sème du canola, il faut surtout s'efforcer de réduire le stress au début de la saison de croissance : le potentiel de rendement de cette culture dépend en effet des conditions présentes dans les 24 jours suivant les semis. Comme le canola a des semences plus petites que la plupart des autres cultures et que les réserves alimentaires des graines sont limitées, les plants doivent passer rapidement de la germination à la levée pour que le peuplement soit adéquat. Les conditions qui ralentissent la levée du canola influent grandement sur la densité des peuplements et, au bout du compte, sur le rendement de la culture.

Qualité des semences

Il faut vérifier si les semences sont de bonne qualité. Le pouvoir germinatif est le principal critère de qualité utilisé pour l'évaluation des lots de semences, et les semences certifiées doivent respecter des normes de pureté et de germination. Les normes de germination visent la capacité de production de plantules normales dans des conditions favorables (humidité de 95 à 100 % et température de 25 °C). Les sources de stress présentes dans les champs après les semis ont souvent pour effet de faire diminuer le taux de levée des plantules comparativement à ce que l'on obtient en laboratoire. Certains fournisseurs de semences évaluent la vigueur des semences, soit le potentiel de levée et de croissance rapides et uniformes des plantules dans des conditions sous-optimales. On doit choisir des semences ayant subi un test de pouvoir germinatif ou de vigueur dans les trois ou quatre mois précédant les semis. Il est recommandé de conserver les étiquettes et un échantillon des semences après la plantation au cas où des problèmes se présenteraient. Une semence de canola certifiée n° 1 a un pouvoir germinatif de 90 % ou plus, et une semence certifiée n° 2, de 80 à 90 %.

Traitement des semences

Les semences certifiées sont traitées avec un fongicide et un insecticide. Le fongicide prévient les maladies transmises par les semences et celles qui sont transmises par le sol en début de saison, notamment la jambe noire, la pourriture des semences, la fonte des semis et la brûlure des plantules. Il faut traiter les semences avec un insecticide pour lutter contre les populations

faibles à modérées d'altises, qui se nourrissent des plantules. Les mesures de lutte peuvent être inefficaces quand la population de ce ravageur est élevée, ou si le canola tarde à croître; il est donc essentiel de faire du dépistage pour surveiller l'efficacité des mesures de lutte et toujours avoir une longueur d'avance sur ce ravageur. Voir le chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, pour en savoir plus sur l'altise. Il est recommandé de traiter les semences avec un insecticide qui tue le ver-gris dans les régions culturales où ce ravageur est courant.

Plantation de canola d'automne

Il faut semer le canola d'automne de manière à ce que les plants puissent former de quatre à six feuilles et un système racinaire adéquat (1,25 cm ou 0,5 po de diamètre) avant l'hiver. Une bonne croissance à l'automne réduira les risques de déchaussement par le gel et de dessèchement au printemps. On doit semer le canola d'automne entre le 15 et le 30 août, ou entre le 20 août et le 10 septembre dans le Sud-Ouest de l'Ontario. Après ces dates, les risques de destruction hivernale sont beaucoup plus élevés. Si le canola est planté trop tôt et produit des graines à l'automne, il ne survivra pas à l'hiver. À l'automne, il peut arriver que la forte concurrence exercée par les mauvaises herbes et les repousses de céréales stimule la croissance du canola et augmente ainsi les risques de destruction hivernale.

Lorsque du temps sec suit les semis faits en août, la levée peut être retardée. On doit préparer le lit de semence en travaillant le sol le moins possible pour préserver l'humidité, et tasser le sol après les semis pour assurer un bon contact entre la semence et le sol.

Quand le canola d'automne succède à une culture de céréales, on conseille de travailler un peu les résidus avant les semis pour réduire les risques inhérents aux limaces, qui peuvent poser problème certaines années. Il faut récolter les céréales avec soin pour diminuer la formation de grandes mottes de paille, et il est important d'étaler la paillette et la paille uniformément pour que les semis soient efficaces. Les coutres et les ouvre-sillons à disque doivent bien couper les résidus pour assurer une bonne mise en place des semences et un bon contact entre la semence et le sol.

Plantation de canola de printemps

Il faut semer aussitôt que l'état du sol le permet. Le canola peut germer et croître dans des sols à 2 °C, mais la température idéale pour une levée rapide est

de 10 °C. La basse température du sol sur une longue période nuit à l'embryon des graines. Au bout du compte, pour les semis, on doit se fonder sur l'état du sol et les prévisions météorologiques, mais il est raisonnable de viser une température de 5 °C ou plus. À 6 °C, tous les plants lèvent en huit jours ou moins. Lorsque les plantules sortent de terre, le point végétatif est exposé entre les cotylédons (feuilles séminales). Les plantules de canola sont considérablement résistantes au gel (-5 à -8 °C) quand elles ont eu le temps de s'acclimater après plusieurs jours de froid. Par contre, les plantules de canola qui poussent par temps chaud, et qui sont donc plus molles, peuvent être tuées par des températures de quelques degrés à peine sous le point de congélation. Lorsque les semis sont effectués très tôt, le fait d'accroître les taux de semis de 5 à 10 % contribuera à compenser la lenteur de la levée et la hausse de la mortalité des plantules.

Quand le canola est planté au début du mois d'avril, il risque davantage d'être tué par des maladies des plantules, l'encroûtement du sol et l'altise. Le canola semé à une date précoce risque aussi davantage d'être envahi par le charançon de la graine du chou aux stades de la floraison et du début de la formation des gousses. Il faut être prêt à éliminer les populations d'altises si le canola tarde à passer le stade où il cesse d'être vulnérable à ce ravageur (c.-à-d. stade de 4 feuilles vraies). On doit semer le canola avant le début du mois de mai pour réduire le risque de dommages causés par la cécidomyie du chou-fleur. Consulter le chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, pour obtenir de plus amples renseignements sur ce ravageur. La photo 6-1 montre un plant de canola rabougri et déformé à cause d'une infestation de cécidomyie du chou-fleur.

Si les semis sont retardés, il est essentiel de préserver l'humidité du sol et de semer dans la terre humide pour assurer une levée rapide et uniforme. Les petites plantules de canola semées à une faible profondeur meurent facilement quand elles manquent d'humidité. Lorsque le canola est planté tard, il risque considérablement d'être endommagé par la cécidomyie du chou-fleur dans les zones où ce ravageur sévit.

On ne doit semer le canola à la volée que s'il est impossible d'utiliser un semoir à céréales. Cette pratique peut être efficace quand les semis sont faits tôt et qu'une teneur en eau adéquate se maintient tout au long des stades de germination et de levée. Quelques producteurs sèment le canola à la volée avec un engrais sur un lit de semence préparé. Cette

méthode a l'avantage de permettre des semis précoces, une économie de temps et une réduction des coûts, d'où un potentiel de rendement supérieur. Son principal inconvénient est le manque d'uniformité de la profondeur et de l'étalement des semis. Il faut souvent utiliser un taux de semis plus élevé (de 10 à 15 %) quand on applique les semences à la volée au lieu de les enfouir. Les dommages causés par le gel constituent aussi un risque lié aux semis précoces. Une bonne préparation du lit de semence avant le semis à la volée, suivie d'un hersage ou d'un tassage, contribue à assurer la régularité de la profondeur de semis et un bon contact entre la semence et le sol. Les semis effectués à la volée peuvent donner des peuplements inégaux durant les années sèches.

Conditions de semis

Le lit de semence doit être de niveau, ferme, friable, et humide jusqu'à 2,5 cm (1 po) de profondeur dans le sol. Un lit de semence ferme contribue à préserver l'humidité près de la surface et favorise l'uniformité de la profondeur et de la levée du semis. Un sol à la surface friable couvert à au moins 30 % de résidus n'est pas sujet à l'encroûtement après des épisodes de pluie battante et permet donc la levée des petites graines de canola. Ce point est essentiel parce qu'il n'est pas possible de remédier à l'encroûtement après son apparition. La croûte peut casser l'hypocotyle (tige de la plantule) qui soutient les cotylédons au-dessus de la surface du sol.



Photo 6-1 – Une infestation de cécidomyie du chou-fleur à la montaison rend les plants de canola rabougris et déformés

Taux de semis

Il faut ajuster le taux de semis en fonction du taux de levée prévu dans un champ donné en se fondant sur divers facteurs comme le type de sol, les conditions météorologiques, le semoir et la date de semis. Un peuplement optimal correspond à 75 à 130 plants sains par mètre carré (7 à 13 par pied carré), et il faut une densité d'au moins 54 plants par mètre carré (5 par pied carré) pour maintenir le potentiel de rendement. Dans des rangs écartés de 19 cm (7,5 po), cela équivaut à 14 à 25 plants par mètre (4,5 à 6 par pied) de rang. Le taux de semis moyen pour le canola est de 5 à 6,2 kg/ha (4,5 à 5,5 lb/ac). Pour déterminer le taux de semis qui donnera un peuplement optimal, il faut tenir compte de la taille des semences, du pouvoir germinatif ou de la vigueur indiqués sur l'étiquette des semences, et du pourcentage de levée prévu dans le champ concerné.

La taille des semences de canola varie considérablement d'un cultivar à l'autre, mais elle n'a pas d'incidence sur le pourcentage de levée ou les rendements. On doit calculer le taux de semis cible en kg/ha (ou en lb/ac) en se fondant sur le poids en grammes de 1 000 graines et le pourcentage de germination, tous deux indiqués sur l'étiquette des semences, ainsi que sur le pourcentage de levée prévu dans le champ en question. Voir le calcul dans l'encadré *Exemple de taux de semis*.

Le tableau 6-1, *Taux de semis du canola*, présente le taux de semis cible pour deux pourcentages de levée prévus (75 % et 60 %). Si on s'attend à une levée de seulement 60 %, il faudra utiliser une plus grande quantité de semences pour obtenir un peuplement adéquat. Au tableau 6-1, le peuplement visé est de 75 plants par mètre carré (7 par pied carré), et le taux de survie des plantules correspond au taux de germination (90 %) multiplié par le pourcentage de levée prévu (75 % ou 60 %). On doit employer un taux de semis supérieur à celui indiqué si on souhaite obtenir un peuplement de plus de 75 plants par mètre carré.

Le tableau 6-1 montre en outre la quantité de graines (en grammes) qui doivent être semées par ouvre-sillon pour chacun des taux de semis (pourcentage de levée prévue de 75 % ou 60 %). Il faudra davantage de semences pour obtenir le peuplement approprié si le pourcentage de levée est de seulement 60 %.

Exemple de taux de semis

On peut calculer le taux de semis à partir du poids en grammes de 1 000 graines, qui est indiqué sur l'étiquette des semences, avec la formule suivante :

Système métrique

Taux de semis (kg/ha)

= (densité de peuplement désirée par m² x poids en grammes de 1 000 graines ÷ taux de survie des plantules) ÷ 100

Système impérial

Taux de semis (lb/ac)

= (densité de peuplement désirée par pi² x poids en grammes de 1 000 graines ÷ taux de survie des plantules) ÷ 10,4

Taux de survie des plantules (peuplement final)

= % de germination (sur l'étiquette des semences) x % de levée prévu

Exemple de calcul

Poids de 5 g pour 1 000 graines, semences n° 1 ayant un taux de germination garanti de 90 % et pourcentage de levée prévu de 75 %

Taux de survie des plantules

= 0,9 x 0,75

= 0,675

Taux de semis (kg/ha)

= 75 plants/m² x 5 g ÷ 0,675 ÷ 100

= 5,6 kg/ha

Taux de semis (lb/ac)

= 7 plants/pi² x 5 g ÷ 0,675 ÷ 10,4

= 5,0 lb/ac

Tableau 6-1 – Taux de semis du canola

Poids de 1 000 graines	Taux de semis cible		Quantité de graines semées par l'ouvre-sillon pour chaque tranche de 30,5 m (100 pi) sur un rang de 19,5 cm (7,5 po)	
	Pourcentage de levée de 75 % 22 plants/m de rang (6,7 graines/pi de rang)	Pourcentage de levée de 60 % 27 plants/m de rang (8,2 graines/pi de rang)	Pourcentage de levée de 75 %	Pourcentage de levée de 60 %
2,5 g	2,8 kg/ha (2,5 lb/ac)	3,5 kg/ha (3,2 lb/ac)	1,7 g	2,0 g
3 g	3,3 kg/ha (3,0 lb/ac)	4,2 kg/ha (3,8 lb/ac)	2,0 g	2,5 g
3,5 g	3,9 kg/ha (3,5 lb/ac)	4,9 kg/ha (4,4 lb/ac)	2,3 g	2,9 g
4 g	4,4 kg/ha (4,0 lb/ac)	5,6 kg/ha (5,0 lb/ac)	2,7 g	3,3 g
4,5 g	5,0 kg/ha (4,5 lb/ac)	6,2 kg/ha (5,6 lb/ac)	3,0 g	3,7 g
5 g	5,6 kg/ha (5,0 lb/ac)	6,9 kg/ha (6,2 lb/ac)	3,3 g	4,1 g
5,5 g	6,1 kg/ha (5,5 lb/ac)	7,6 kg/ha (6,8 lb/ac)	3,7 g	4,5 g
6 g	6,7 kg/ha (6,0 lb/ac)	8,3 kg/ha (7,5 lb/ac)	4,0 g	4,9 g
6,5 g	7,2 kg/ha (6,5 lb/ac)	9,0 kg/ha (8,1 lb/ac)	4,4 g	5,3 g
100 kg/ha = 90 lb/ac				

Vérification du calibrage d'un semoir traditionnel

Une fois le bon taux de semis établi, on doit vérifier le calibrage du matériel comme suit :

1. Mesurer une distance de 30,5 m (100 pi). On peut aussi monter l'extrémité de la roue du semoir côté conducteur et tourner la roue jusqu'à ce que l'on obtienne l'équivalent d'une distance de 30,5 m.
2. Recueillir les semences de différents ouvre-sillons sur cette distance. Il faut vérifier plusieurs ouvre-sillons du semoir pour s'assurer que chaque buse fonctionne comme il se doit. Quand on ne sait pas comment calibrer au départ les ouvertures des logettes à semences, on peut commencer par une largeur de trois pièces de dix cents. On pèse ensuite les semences recueillies.
3. Voir le tableau 6-1, *Taux de semis du canola*, pour connaître le bon poids en grammes des graines associé à un pourcentage de levée de 60 % ou 75 % dans des rangs écartés de 19,5 cm (7,5 po).

4. Pour d'autres distances d'écartement des rangs, employer la formule suivante :

Taux de semis (kg/ha) =

$$\frac{\text{Superficie (100 m}^2\text{/ha)} \times \text{poids des semences recueillies (kg)}}{\text{Largeur couverte par les buses du semoir (m)} \times \text{longueur de la bande mesurée (m)}}$$

Taux de semis (lb/ac) =

$$\frac{\text{Superficie (43 560 pi}^2\text{/ac)} \times \text{poids des semences recueillies (lb)}}{\text{Largeur couverte par les buses du semoir (pi)} \times \text{longueur de la bande mesurée (pi)}}$$

5. Prendre en note le taux de semis et les réglages du semoir en prévision de l'année suivante.

Le taux de levée et de survie des plantules variera en fonction de la date et de la profondeur des semis, du type de sol et des maladies des plantules. Selon une étude menée dans les champs de canola de l'Ouest du Canada, à peine 40 à 60 % des graines plantées produisent habituellement des plantules viables. De même, en Ontario, on estime qu'un pourcentage de levée de 75 % est raisonnable dans de bonnes conditions, mais que si les conditions sont plus mauvaises que la moyenne, un taux de 60 % constitue une base de référence raisonnable pour le calcul du taux de semis. Il faut utiliser le taux de semis se situant dans la fourchette supérieure recommandée dans les champs sujets à l'encroûtement, ou quand les semis se font par temps frais ou très tardivement.

Une hausse du taux de semis peut faire augmenter la levée et la densité du peuplement, mais n'améliorera pas forcément le rendement final. Le canola est considéré comme une plante « plastique », dans le sens qu'elle s'adapte à son environnement et arrive à compenser de fortes variations de son peuplement sans que le rendement final en souffre grandement. Dans des peuplements denses, les plants de canola produiront moins de branches. Un peuplement dense peut être plus uniforme en ce qui a trait à la formation et à la maturation des gousses, alors que des peuplements clairsemés, comportant plus de branches, auront une période de floraison plus longue et prendront plus de temps pour parvenir à maturité. Parfois les peuplements denses ont des tiges plus minces et versent davantage, mais ils concurrencent mieux les mauvaises herbes et peuvent être préférables quand on prévoit de grands dommages causés par l'altise. Les peuplements clairsemés pourraient ne pas donner des rendements adéquats si le taux d'humidité est faible.

Étoffement des semences

Avec certains vieux semoirs traditionnels, il peut être difficile de respecter les taux de semis visés pour le canola. On doit calibrer l'appareil avant de se rendre au champ et vérifier que les ouvertures des logettes à semences ont toutes le même réglage. On peut utiliser des roues dentées fonctionnant à basse vitesse ou des agents d'étoffement des semences avec des semoirs traditionnels

pour ajuster le taux de semis. Il est possible d'améliorer la précision du taux de semis en étoffant les semences avec du soufre élémentaire en granules, du phosphate monoammonique, de l'engrais MicroEssentials SZ (soufre et zinc) ou des épis de maïs moulus. On ne doit pas employer d'autres engrais avec les semences de canola parce que la toxicité du sel risquerait de faire diminuer le taux de germination et de levée.

Profondeur de semis

Quand on plante une culture, on souhaite une levée rapide et uniforme. La profondeur de semis a une grande incidence sur la vigueur des plantules. Il faut semer à une profondeur de 1,25 à 2,5 cm (0,5 à 1 po) si le taux d'humidité est adéquat, ou plus profondément au besoin, pour que les graines se trouvent sous 0,6 cm (0,25 po) de terre humide. On ne doit pas dépasser une profondeur de 4 cm (1,5 po), sans quoi la levée peut baisser de 50 à 60 % par rapport à la profondeur optimale. Des semis faits dans de la terre humide favorisent une levée et une croissance uniformes, ce qui facilitera la détermination du calendrier des mesures de lutte contre les mauvaises herbes, d'épandage de pesticides et de récolte. Si le sol est sec au moment des semis ou dans la semaine suivante, il est possible que la mortalité des plantules augmente beaucoup.

Il faut vérifier comment les ouvre-sillons placent les semences à différentes profondeurs. Sur certains semoirs, si les disques sont réglés à une profondeur de 2,5 cm (1 po), les graines seront seulement déposées à la surface. Pour surmonter ce problème, on doit régler le sabot à son plus bas sur le disque, et ajuster la profondeur des ouvre-sillons. Des roues plumbeuses installées sur le semoir permettent de placer les semences uniformément au fond de la raie. Le rebond du semoir peut poser davantage de difficultés à des vitesses supérieures à 8 km/h. Si le canola est semé à l'aide d'une trémie de semoir à graminées, il faut orienter les tubes à semences derrière les ouvre-sillons et devant les roues plumbeuses. La photo 6-2 montre la levée d'une plantule de canola qui a été semé à une profondeur de 2,5 cm (1 po).



Photo 6-2 – Levée d'une plantule de canola qui a été semé à une profondeur de 2,5 cm (1 po)

Tassage

C'est en fonction de l'état du sol qu'on détermine s'il faut tasser ou non le lit de semence avant ou après les semis. Le tassage avant les semis peut avoir pour effet de niveler et de raffermir le lit de semence, ce qui permet de mieux contrôler la profondeur de semis et de réduire les pertes d'humidité du sol. Le tassage après les semis, quant à lui, peut améliorer la levée et le rendement si le sol a tendance à s'assécher avant que les plants sortent de terre. Cependant, si le matériel de semis a rendu le rang inégal, cette opération peut avoir pour effet d'enfouir les graines plus profondément et augmenter les risques d'encroûtement à la suite d'épisodes de pluie battante.

Évaluation des peuplements de canola et décisions concernant la reprise des semis

Un peuplement optimal est de 75 à 130 plants par mètre carré (7 à 13 par pied carré). Pour évaluer l'efficacité des semis, on doit vérifier le peuplement du champ environ trois semaines après la plantation, ce qui peut se faire au moyen d'un cerceau. Voir l'annexe K, *Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations d'ennemis à l'aide d'un cadre*. Il faut vérifier les peuplements dans plusieurs sections du champ.

De façon générale, dans les champs clairsemés, les plants de canola se ramifient beaucoup pour compenser la faible densité de peuplement, de sorte que celle-ci a peu de répercussions sur les rendements. Un peuplement de 20 à 40 plants sains par mètre carré (2 à 4 par pied carré) peut produire un rendement viable correspondant à environ 90 % d'un peuplement optimal. Des peuplements clairsemés mais uniformes donneront un meilleur rendement que ceux non uniformes; néanmoins, il est possible qu'ils atteignent la maturité un peu tardivement. Un potentiel de rendement de 90 % est souvent plus avantageux qu'une reprise des semis, laquelle se traduit par une hausse des coûts et des semis tardifs.

Avant de prendre une décision, il faut évaluer la santé et la densité du peuplement restant. Il est facile de surestimer la portée des dégâts et de sous-estimer la capacité de rétablissement des plantules. Si les peuplements ont une densité inférieure à 40 plants sains par mètre carré (4 par pied carré) avant le stade 4 feuilles, on doit tenir compte de la proportion du champ touchée, de l'uniformité du peuplement, de l'humidité du sol, de la pression exercée par les mauvaises herbes et l'altise, et des coûts et de la date de reprise des semis. Il faut évaluer la santé des racines en gardant à l'esprit que les traitements fongicides permettent de lutter contre la brûlure des plantules pendant deux à trois semaines. Une mauvaise condition des racines se manifeste notamment par une décoloration brune de la racine pivotante et un pincement de la tige près de la surface du sol.

Croissance de la culture

La croissance du canola dépend du nombre de degrés-jours de croissance (DJ) et de l'ensoleillement. Il pousse mieux à des températures situées entre 10 et 30 °C, particulièrement de 18 à 25 °C. La culture fleurit en moyenne 45 à 50 jours (582 à 666 DJ) après la levée et parvient à maturité en 90 à 96 jours. Les régions du Nord, comme New Liskeard, reçoivent moins de degrés-jours de croissance, mais ce désavantage est partiellement compensé par le plus grand nombre d'heures d'ensoleillement. L'atteinte de la maturité dans les régions du Nord prend en moyenne de 10 à 14 jours de plus que dans l'Ouest de l'Ontario. Voir à ce sujet le tableau 6-2, *Nombre approximatif de degrés-jours de croissance requis pour que le canola de printemps atteigne divers stades de développement*.

Les écarts de maturité entre les cultivars sont généralement de moins de sept jours. Quand on retarde les semis de canola, les plants s'adaptent en passant plus rapidement par les différents stades végétatifs grâce aux températures plus élevées habituellement présentes à cette période. Règle générale, le report des semis d'une semaine retarde la maturation de trois jours. Une température élevée (c.-à-d. de plus de 28 °C) au moment de la floraison peut faire avorter les fleurs et les gousses et nuire considérablement au rendement. Le stress causé par la sécheresse et la chaleur a pour effet d'accélérer la maturation.

Système racinaire

Le canola a une grande racine pivotante qui peut s'enfoncer jusqu'à 1,5 m (4,9 pi) dans le sol dans des conditions de croissance favorables, mais il est incapable de pénétrer une croûte et est vulnérable au compactage du sol. Environ 70 % de son système racinaire se trouve dans les premiers 15 cm (6 po) sous la surface du sol. Une croissance racinaire précoce améliore grandement les rendements finaux. Si, pendant les premiers stades végétatifs, la couche arable est humide mais que le sous-sol est sec, le système racinaire sera peu profond. Les racines du canola ne poussent pas en vue de chercher de l'eau ou des éléments nutritifs; elles se contentent d'intercepter ce qui est à leur portée. La compaction du sol, la concurrence exercée par les mauvaises

herbes et la sécheresse peuvent limiter la croissance racinaire; ainsi, le rendement potentiel du canola dépendra d'averses opportunes pendant la floraison et le remplissage des gousses. La croissance racinaire atteint son apogée à la floraison.

Croissance des plants

La germination du canola est semblable à celle des autres dicotylédones : les plants lèvent généralement de 4 à 15 jours après les semis, selon l'état du sol et les conditions météorologiques. La petite graine du canola n'alimente la croissance que pendant environ sept jours avant que les plants utilisent des éléments nutritifs provenant du sol ou de la photosynthèse. La mortalité des plantules peut être élevée si la levée n'est pas rapide et uniforme. À leur sortie du sol, les plantules ont des racines de 3 à 5 cm (1,2 à 2 po) de long. La première feuille vraie apparaît 4 à 8 jours après la levée. La photo 6-3 montre une plantule de canola au premier stade foliaire : elle arbore ses premières feuilles vraies et deux cotylédons. Le point végétatif du canola se trouve entre les cotylédons (feuilles séminales) et est vulnérable aux dommages causés par le gel, l'altise et la grêle. Le développement foliaire influe directement sur la vitesse de croissance et le rendement final. Le canola est généralement plutôt lent à atteindre le stade 4 feuilles, et c'est pourquoi il combat mal les mauvaises herbes.

Tableau 6-2 – Nombre approximatif de degrés-jours de croissance requis pour que le canola de printemps atteigne divers stades de développement

Légende : Les chiffres décimaux indiquent le nombre de feuilles.		
Stade de croissance (code décimal)	Description	Degrés-jours de croissance¹ (base de référence : 0 °C)
0 à 1,0	Levée	152 à 186
1,0	Ouverture des cotylédons	
1,1 à 1,2	Stade de 1 à 2 feuilles	282 à 324
1,4 à 1,6	Stade de 4 à 6 feuilles	
2,0 à 2,2	Montaison – Allongement de l'entre-nœud	411 à 463
3,0 à 3,9	Formation des bourgeons	
4,0 à 4,9	Floraison – 20 % des bourgeons du racème principal sont en fleur ou ont déjà fleuri	582 à 666
5,1 à 5,9	Formation des gousses	
6,0 à 7,9	Formation des graines	759 à 852
8,1 à 8,4	Mûrissement et maturité ² Andainage	
		1 432 à 1 557

¹ Adaptation de résultats de recherches d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, de Scott et de Swift Current.

² Au début de la maturation des graines, lorsque 10 % d'entre elles changent de couleur.



Photo 6-3 – Plantule de canola au premier stade foliaire

Le canola peut former six feuilles cireuses sans poils sous forme de rosette avant le début de l'élongation de la tige. Les jeunes feuilles poussent au centre de la rosette. Quand le plant forme et maintient une surface foliaire en hauteur, il donne de meilleurs rendements. Le canola d'automne, dans son cas, doit atteindre le stade de la rosette avant l'hiver. Les feuilles à l'extrémité de la rosette pourraient ne pas survivre à l'hiver, mais les plants, eux, demeureront viables si leur collet n'est pas endommagé et s'ils ne sont pas soulevés hors du sol.

Pour le canola de printemps et d'automne, l'allongement des jours et l'augmentation des températures au printemps déclenchent la formation de bourgeons au centre de la rosette et la « montée » rapide de la tige. Trois à cinq branches secondaires pousseront à partir de l'aisselle des feuilles le long de la tige principale, laquelle atteindra sa longueur maximale sensiblement en même temps que le pic de la floraison. Lorsque la densité du peuplement est faible, le canola développe une tige principale plus épaisse et se ramifie davantage. En raison de cette ramification accrue, les plants fleurissent durant une plus longue période et prennent davantage de temps à parvenir à maturité. La tige est une source importante de photosynthétats au cours du remplissage des gousses et des graines.

Floraison

La floraison commence au bourgeon situé le plus bas sur la tige principale et s'étend vers le haut sur les branches principale et secondaires. Les fleurs demeurent réceptives à la pollinisation trois jours après leur ouverture, et la floraison dure de 14 à 21 jours. Le plant ne peut pas former autant de gousses qu'il a de bourgeons : il est donc normal que des fleurs et des gousses avortent. Le canola est une plante à autofécondation ou à fécondation croisée, selon divers

facteurs environnementaux. La fécondation se produit dans les 24 heures qui suivent la pollinisation. Pendant cette période, le stress dû à la chaleur (plus de 28 °C) provoque l'avortement des fleurs et nuit au rendement.

Mûrissement

Le remplissage des gousses se termine 30 à 40 jours après la floraison. Le mûrissement des gousses débute au pied du plant; des gousses peuvent se développer à cette hauteur alors que les bourgeons floraux se forment près du sommet du plant. La sénescence des feuilles débute une fois que les graines sont vertes, et les plants prélèvent alors une bonne part des photosynthétats dans l'enveloppe des gousses, bien que la tige joue aussi un rôle important à cet égard. Pendant leur formation, les gousses peuvent avorter si elles subissent du stress découlant de la température ou d'une sécheresse.

Les semences de cultivars argentins matures (*Brassica napus*) sont brun-noir, et pendant la maturation des graines et le changement de coloration du tégument, l'intérieur de la semence (embryon) commence lui aussi à perdre sa couleur verte. Le changement de couleur des graines débute dans le bas du plant et progresse le long de la tige principale à mesure que leur teneur en eau baisse. Quand le tégument de 30 à 40 % des graines sur la tige principale a commencé à changer de couleur, la teneur en eau globale des graines est de 30 à 35 %, et les graines des dernières gousses formées finissent de se remplir. Le changement de coloration des graines progresse d'environ 10 % tous les deux ou trois jours; le phénomène s'accélère par temps chaud, et peut ralentir par temps frais. À la maturité des graines, la couleur de la gousse variera en fonction du cultivar et de l'environnement; la coloration de la gousse ou du plant dans le champ n'est donc pas une bonne indication de la maturité des graines ou de leur teneur en eau. Les gousses matures s'égrènent facilement.

Gestion de la fertilisation

Épandage et calendrier

La plupart des engrais destinés au canola sont épandus à la volée. Vu l'importance des besoins en azote et les méthodes de semis employées, il est difficile et risqué d'épandre des engrais en bandes. Cette méthode peut toutefois convenir dans certains cas, surtout quand le sol contient peu de phosphore et qu'il serait avantageux d'épandre 20 kg/ha (18 lb/ac) de phosphore avec les semences.

Azote

Canola de printemps

Le canola a besoin de grandes quantités d'azote. Les directives relatives aux engrais azotés pour cette culture sont présentées au tableau 6-3, *Doses d'azote recommandées pour le canola de printemps*; elles se fondent sur le rapport entre le prix de l'engrais azoté et celui du canola. Il ne faut pas épandre d'azote avec les semences. Les engrais azotés sont habituellement appliqués à la volée dans les champs de canola au printemps, mais lorsque le matériel le permet, on peut les épandre en bandes, 5 à 7,5 cm (2 à 3 po) à côté de la ligne de semences.

On doit ajuster les doses à la baisse après un épandage de fumier ou si la culture précédente contenait des légumineuses, comme la luzerne. Voir les tableaux 9-9, *Réduction des besoins en azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*, et 9-10, *Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques*. Un épandage excessif d'azote sur des cultures de canola augmente la quantité de graines vertes et peut aussi allonger le processus de maturation.

Épandage à l'automne sur des cultures de canola d'automne

On peut épandre au maximum 40 kg/ha (36 lb/ac) d'azote à l'automne. Il ne faut pas appliquer d'engrais azotés si la terre a été laissée en jachère pendant un ou plusieurs mois avant le semis, si des légumineuses fourragères ont été enfouies ou à la suite d'un épandage de fumier avant les semis.

Épandage au printemps sur des cultures de canola d'automne

La dose d'azote recommandée pour l'épandage au printemps est fondée d'une part sur le rendement prévu, et d'autre part sur le rapport entre le prix de l'engrais azoté et celui du canola. Voir le tableau 6-4, *Directives relatives à l'épandage d'azote au printemps pour le canola d'automne*.

Tableau 6-3 – Doses d'azote recommandées pour le canola de printemps

Rapport de prix ¹ (\$/kg de N ÷ \$/kg de canola)	Dose d'azote recommandée (kg/ha)
2	119 kg/ha
2,5	108 kg/ha
3	96 kg/ha
3,3	90 kg/ha
3,5	85 kg/ha
4	74 kg/ha
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Le rapport de prix est le coût de l'azote (N) contenu dans l'engrais (\$/kg d'azote) divisé par le prix de vente du canola (\$/kg de canola).

Exemple de rapport de prix :

Le prix du nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) est de 350 \$/t.

Un kg d'azote coûte 350 \$ ÷ 280 = 1,25 \$/kg.

La valeur du canola est de 420 \$/t, ou 0,42 \$/kg.

Le rapport de prix est de 1,25 \$ ÷ 0,42 \$ = 3.

Il faut 3 kg de canola pour payer 1 kg d'azote.

Tableau 6-4 – Directives relatives à l'épandage d'azote au printemps pour le canola d'automne (doses les plus profitables)

Rapport de prix ¹ (\$/kg de N ÷ \$/kg de canola)	Rendement prévu		
	2 tonnes/ha (0,81 t/ac)	3 tonnes/ha (1,21 t/ac)	4 tonnes/ha (1,62 t/ac)
3,3	125 kg/ha d'azote	170 kg/ha d'azote	195 kg/ha d'azote
2,5	160 kg/ha d'azote	195 kg/ha d'azote	210 kg/ha d'azote
2,0	180 kg/ha d'azote	210 kg/ha d'azote	220 kg/ha d'azote

100 kg/ha = 90 lb/ac

1 t/ha = 893 lb/ac ou 44,1 bo/ac

¹ Le rapport de prix est le coût de l'azote (N) contenu dans l'engrais (\$/kg d'azote) divisé par le prix de vente du canola (\$/kg de canola).

Exemple de rapport de prix :

Le prix du nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) est de 350 \$/t.

Un kg d'azote coûte 350 \$ ÷ 280 = 1,25 \$/kg.

La valeur du canola est de 420 \$/t, ou 0,42 \$/kg.

Le rapport de prix est de 1,25 \$ ÷ 0,42 \$ = 3.

Il faut 3 kg de canola pour payer 1 kg d'azote.

Phosphate et potasse

Les recommandations relatives à ces deux éléments pour les cultures de canola sont présentées aux tableaux 6-5, *Directives relatives au phosphate pour le canola*, et 6-6, *Directives relatives à la potasse pour le canola*, d'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO. Pour plus d'information sur l'utilisation de ces tableaux, ou en l'absence d'une analyse de sol reconnue par le MAAARO, voir la section *Directives relatives aux engrais* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Tableau 6-5 – Directives relatives au phosphate (P_2O_5) pour le canola

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.	
L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.	
Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).	
Légende : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle	
Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium	Quantité de phosphate à appliquer
0 à 3 ppm	70 kg/ha (RÉ)
4 à 5 ppm	60 kg/ha (RÉ)
6 à 7 ppm	50 kg/ha (RÉ)
8 à 9 ppm	30 kg/ha (RÉ)
10 à 12 ppm	20 kg/ha (RM)
13 à 15 ppm	20 kg/ha (RM)
16 à 30 ppm	0 (RF)
31 à 60 ppm	0 (RTF)
61 ppm et plus	0 (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application du phosphore sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Ainsi, des apports en phosphore peuvent entraîner des carences en zinc dans les sols pauvres en zinc et augmenter les risques de pollution de l'eau.

Tableau 6-6 – Directives relatives à la potasse (K_2O) pour le canola

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.	
L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.	
Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).	
Légende : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle	
Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium	Quantité de potasse à appliquer
0 à 15 ppm	70 kg/ha (RÉ)
16 à 30 ppm	50 kg/ha (RÉ)
31 à 45 ppm	40 kg/ha (RÉ)
46 à 60 ppm	30 kg/ha (RÉ)
61 à 80 ppm	20 kg/ha (RM)
81 à 100 ppm	20 kg/ha (RM)
101 à 120 ppm	0 (RF)
121 à 250 ppm	0 (RTF)
251 ppm et plus	0 (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application de potasse sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, l'épandage de potasse dans des sols pauvres en magnésium peut provoquer une carence en magnésium.

Besoins en phosphore (P)

Le canola a besoin de davantage de phosphore que les céréales vu que la teneur des graines en protéines est plus élevée. Une culture de canola de 2,5 t/ha (1 t. c./ac) prélève en moyenne 53 kg/ha (48 lb/ac) d'engrais phosphaté (P_2O_5) jusqu'à sa récolte. Les plants absorbent aussi 22 kg/ha (20 lb/ac) de phosphore qui sera recyclé dans les résidus de culture. Le canola prélève rapidement le phosphore du sol au début de sa croissance et continue d'en absorber pendant environ huit semaines au maximum. Même s'il a besoin d'une grande quantité de cet élément nutritif, on obtient généralement un rendement maximal en épandant des doses inférieures à celles requises pour la plupart des céréales de printemps. Les racines du canola prolifèrent abondamment lorsque des engrais phosphatés sont appliqués en bandes. De plus, même si les plants réagissent bien aux engrais phosphatés de démarrage, ils sont aussi sensibles aux dommages causés par le sel. Consulter à ce sujet le tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, au chapitre 9.

Lorsqu'on épand du phosphore, il est important de fournir un apport adéquat près de la ligne de semences pour que les plants y aient facilement accès. Pour obtenir un rendement donné, il faut appliquer à la volée de deux à quatre fois plus de phosphore que pour un épandage en bandes, et le risque de ruissellement est alors plus élevé. Selon des études réalisées au Canada, le rendement du canola est optimal quand on épand au départ de 17 à 22 kg/ha (15 à 20 lb/ac) d'engrais phosphaté de démarrage, même quand le sol est très fertile. L'engrais phosphaté de démarrage est plus susceptible d'être efficace dans les sols froids et peu fertiles lorsque les semis sont précoces. Des études sur le canola ont confirmé que le phosphate monoammonique (11-52-0) est aussi efficace que d'autres engrais de démarrage secs et des engrais phosphatés liquides. On voit à la photo 6-4 l'effet de l'engrais de démarrage au début de la croissance dans un sol moyennement fertile : à gauche, la culture n'a reçu aucun engrais de démarrage, alors qu'à droite, elle a reçu 55 kg/ha (50 lb/ac) de phosphate monoammonique en tant qu'engrais de démarrage au moment des semis.



Photo 6-4 – L'effet sur les jeunes plants de canola est manifeste dans ce champ moyennement fertile : à gauche, la culture n'a reçu aucun engrais de démarrage, alors qu'à droite, elle a reçu 55 kg/ha (50 lb/ac) de phosphate monoammonique au moment des semis

Doses maximales sûres pour l'épandage d'éléments nutritifs au moment du semis du canola

On peut appliquer au moment du semis un maximum de 28 kg/ha (25 lb/ac) de phosphate (P_2O_5) sous forme de phosphate ammoniacal, de superphosphate ou de phosphate monoammonique. Il faut s'assurer que la dose d'azote épandue avec les semences n'excède pas 11 kg/ha (10 lb/ac).

La dose d'azote, de potasse (K_2O) et de soufre appliquée avec les semences ne doit pas dépasser 11 à 33 kg/ha (10 à 30 lb/ac) selon le type de sol. On réserve la dose la plus faible aux loams sableux.

Le sulfate d'ammonium a un indice de sel élevé : une dose supérieure à 22 kg/ha (20 lb/ac) peut réduire la levée, surtout par temps sec.

Soufre

Le soufre s'associe à la matière organique du sol et est mobile, comme l'azote. C'est pourquoi les carences sont plus susceptibles de se présenter dans un sous-sol sableux ou meuble qui est pauvre en matière organique. Le canola a des besoins en soufre largement supérieurs à ceux des autres grandes cultures, et les carences en cet élément sont de plus en plus courantes dans les champs de canola en raison des rendements élevés de la culture et des apports moindres en soufre provenant des dépôts laissés par les pluies acides. Une carence peut se produire à n'importe quel stade de la culture et ainsi réduire les rendements; à la photo 6-5, on montre une carence au stade de la rosette.

La directive actuelle consiste à appliquer un maximum de 20 lb/ac de soufre comme « protection » contre la carence en cet élément dans les champs de canola. Un épandage de 45 kg/ha (100 lb/ac) de sulfate d'ammonium (21-0-0-24) comblera les besoins en soufre de la culture et remplacera 23 kg/ha (50 lb/ac) d'urée.



Photo 6-5 – Quand le canola a une carence en soufre, comme pour le plant de gauche, le feuillage est marbré en surface et mauve au revers, et les fleurs sont jaune pâle et plus petites que d'habitude

Il est possible d'épandre du soufre à la volée pour pallier une carence observée. Idéalement, la dose requise doit être appliquée au complet avant le stade de 6 feuilles de la culture, où les besoins commencent à monter en flèche, mais un épandage fait avant le début de la floraison peut améliorer les rendements en cas de carence. Les plants absorbent efficacement le soufre venant des traitements foliaires effectués le soir ou tôt le matin, moments où la température est modérée et le taux d'humidité, élevé.

Bore

Les carences en bore sont rares dans les cultures de canola. Selon des essais menés dans des champs en Ontario où l'on pulvérisait sur le feuillage 0,34 kg/ha (0,3 lb/ac) de bore au début de la floraison, cette pratique n'améliore pas le rendement sur le plan économique de manière uniforme. Bien que rare, la carence en cet élément peut diminuer considérablement les rendements. Voici quelques signes de carence en bore :

- Aspect rabougri des plants;
- Présence de zones brunes sur la moelle de la tige, ou de tiges fendues;
- Brunissement ou rougissement des nouvelles feuilles, et présence de taches jaunes ou brunes entre les nervures des feuilles;
- Déformation des feuilles en cuillère;
- Période de floraison prolongée et mauvaise pollinisation;

Cette carence peut être palliée par des applications sur le feuillage ou au sol d'engrais solubles à base de bore.

Analyse des tissus végétaux

Les analyses des tissus végétaux visant à diagnostiquer les carences ne sont pas au point. Il est difficile d'évaluer la concentration en éléments nutritifs des plants de canola en fonction de leur âge, de la partie analysée et du degré de stress qu'ils subissent. Quand le canola est soumis à un stress, il est possible qu'il pousse à une vitesse moindre, mais il continuera malgré tout d'absorber des éléments nutritifs. L'analyse des tissus végétaux doit être conjuguée à une analyse de sol de façon à faciliter l'interprétation des résultats. Pour faire analyser les tissus d'un plant de canola, il faut prélever la feuille mature la plus récemment formée. Le tableau 6-7, *Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le canola*, indique les plages de valeurs normales pour cette culture.

Tableau 6-7 – Interprétation des résultats d'analyse des tissus végétaux pour le canola

Les valeurs s'appliquent à la plus haute feuille pleinement formée avant la floraison. Il faut noter que plus les plants sont vieux, plus la concentration en éléments nutritifs a tendance à baisser. C'est pourquoi la valeur la plus basse de la plage de suffisance s'applique davantage aux jeunes plants.

Les valeurs de référence se fondent sur des données de C.O. Plank et M.R. Tucker, 2000.

Élément nutritif	Concentration critique ¹	Plage de suffisance ²
Azote (N)	3,6 %	4,0 à 6,4 %
Phosphore (P)	0,37 %	0,42 à 0,69 %
Potassium (K)	2,15 %	3,5 à 5,10 %
Soufre (S)	0,47 %	0,65 à 0,90 %
Calcium (Ca)	1,60 %	2,1 à 3,0 %
Magnésium (Mg)	0,10 %	0,15 à 0,62 %
Bore (B)	20,0 ppm	25 à 54 ppm
Cuivre (Cu)	4,0 ppm	5 à 25 ppm
Manganèse (Mn)	20 ppm	30 à 250 ppm

¹ Prévoir une baisse de rendement due à une carence en un élément nutritif donné lorsque la concentration de ce dernier tombe au niveau critique ou sous celui-ci.

² La fourchette inférieure de la plage de suffisance présuppose un rendement relatif de 100 %.

Récolte et entreposage

Le plus souvent, en Ontario, le canola est récolté par moissonnage-battage, bien que l'andainage soit employé dans certaines régions. Le moissonnage-battage donne habituellement une meilleure qualité de graines que l'andainage, vu qu'il y a moins de particules fines et de graines vertes. L'andainage peut toutefois réduire les pertes par égrenage et être préférable dans les champs où la maturité est inégale. Pour en savoir plus sur l'évaluation de la maturité et le calibrage du matériel de moissonnage-battage et d'andainage, voir la section *Managing Harvest* de la publication *Canola Encyclopedia* du Conseil canadien du canola (www.canolacouncil.org).

Récolte par coupe directe

Le moissonnage-battage donne de meilleurs résultats lorsque la maturité de la récolte est uniforme et que celle-ci est relativement exempte d'alternariose, partiellement versée, abondante et bien fournie. Ces conditions réduisent le risque d'égrenage et de chute des gousses due au vent ou à une pluie battante. La culture est prête à être récoltée par coupe directe quand les gousses sont sèches et cliquettent si on les secoue. Il doit y avoir peu de graines vertes, et la teneur en eau des graines doit être de 10 % ou moins. Il faut récolter

la culture dès que ces conditions sont réunies, car plus les plants matures restent longtemps dans le champ, plus les pertes par égrenage augmentent. Si le degré de maturité est inégal, il faut évaluer le besoin et le coût d'emploi d'un dessiccant et faire la comparaison avec l'andainage. La teneur en huile de la graine est généralement plus élevée lorsque la culture est récoltée par coupe directe. Quand la culture de canola risque de verser ou de retomber, on diminuera considérablement les pertes par égrenage si on fait la récolte dans le sens de la verse.

Andainage

Le meilleur moment pour andainer le canola est lorsque 50 à 60 % des graines des gousses de la tige principale ont changé de couleur. Dans les exploitations cultivant le canola sur une grande superficie, on doit commencer l'andainage lorsque 30 % des graines ont changé de couleur pour pouvoir récolter la plus grande partie de la superficie près de l'état de maturité optimal et éviter un état de maturité trop avancé, qui entraîne l'égrenage des gousses.

Pour évaluer le stade de maturité, on ne doit tenir compte que des gousses qui se trouvent sur la tige principale. Comme ce sont les gousses du bas du plant qui mûrissent en premier, celles du haut peuvent être encore verdâtres lorsque le champ est prêt pour l'andainage. Il ne faut pas laisser le mûrissement précoce dû à la pourriture à sclérotose ou à l'alternariose fausser l'évaluation du stade optimal pour l'andainage, puisque la majeure partie du rendement viendra des plants sains. On doit choisir un moment où la majeure partie du champ se trouve au stade voulu tout en vérifiant que dans les parties moins matures, les graines sont vertes et fermes, et ne sont plus translucides. Les graines encore vertes qui ne s'écrasent pas lorsqu'on les fait rouler entre ses doigts sont suffisamment mûres pour l'andainage.

Il est parfois avantageux d'andainer la culture lorsqu'elle est humectée par la rosée ou par une fine bruine. Il faut laisser un chaume assez haut – 25 à 30 cm (10 à 12 po) – pour qu'il supporte l'andain étalé et le maintienne au sol, et pour limiter l'usure de la moissonneuse-batteuse. Le canola mûrit et s'assèche rapidement dans l'andain étalé. Habituellement, après 5 à 10 jours de temps sec, sa teneur en eau a assez diminué pour que les graines des gousses de la partie supérieure du plant soient fermes. Dans des conditions de séchage idéales, les

graines de canola peuvent perdre rapidement leur humidité; il est donc important d'en vérifier la teneur en eau pour assurer un andainage idéal.

Herbicides pré-récolte pour faciliter la récolte du canola

Un traitement à l'herbicide effectué avant la récolte peut faciliter la coupe directe en accélérant l'assèchement des plants de canola. L'emploi d'un herbicide n'accélère toutefois pas la maturation. Cette méthode peut être utile si la récolte est inégale puisqu'elle réduit les risques d'égrenage des plants matures pendant l'assèchement des parties moins matures. Il faut récolter aussitôt que la culture est prête parce qu'un assèchement plus poussé accroît les risques de pertes par égrenage.

On peut en outre appliquer des herbicides avant la récolte pour éliminer les mauvaises herbes, ce qui peut faciliter la récolte et réduire les impuretés. L'application de glyphosate sur le canola Roundup Ready facilite la destruction chimique des mauvaises herbes, mais elle n'assèche pas la culture. Si l'on prévoit de semer du blé d'automne et que les mauvaises herbes vivaces exercent une forte pression, la meilleure option pourrait être une destruction chimique effectuée avant la récolte; en effet, après la récolte du canola, il ne reste pas assez de parties aériennes des mauvaises herbes pour permettre une lutte efficace.

Moissonnage-battage du canola

Le meilleur moment pour récolter le canola, par coupe directe ou par andainage, est lorsqu'il y a quelques graines vertes et que la teneur en eau des graines est inférieure à 10 %. Selon les conditions météorologiques, les graines perdent rapidement leur humidité à raison de 1 à 3 % par jour ou plus. Il ne faut pas tarder à récolter la culture, parce que les pertes par égrenage augmentent énormément environ 10 jours après la date de récolte optimale. Pour réduire ces pertes, on peut effectuer le moissonnage-battage lorsque les graines ont une teneur en eau plus élevée et faire sécher la récolte, ou bien récolter la culture de nuit ou en présence de rosée. Beaucoup d'opérateurs commencent le moissonnage-battage quand les graines ont une teneur en eau d'un peu plus de 10 %.

On se retrouve avec des problèmes de graines vertes quand la chlorophylle n'est pas décomposée ou éliminée dans la graine. Il faut vérifier les échantillons

de récolte en écrasant les graines sur un bout de papier et en déterminant le pourcentage de graines qui sont clairement vertes. Le canola de catégorie Canada nos 1 et 2 peut en contenir respectivement 2,0 % et 6,0 % au maximum. Par temps chaud ou venteux, les graines peuvent présenter une teneur en eau propice à la récolte sans toutefois avoir eu le temps de perdre leur chlorophylle. Des épisodes de rosée ou de pluie légère favorisent la disparition de la couleur verte des graines.

Lorsqu'on récolte les andains étalés de canola, il faut ajuster la vitesse et la hauteur de ramassage pour passer tout juste sous l'andain étalé et le soulever doucement. De plus, en ralentissant la vitesse d'avancement de la moissonneuse-batteuse, on peut réduire considérablement les pertes à la récolte. Au cours de la journée, il faut poursuivre la surveillance et ajuster la moissonneuse-batteuse pour réduire autant que possible les pertes à la récolte. Si 54 graines/m² (5 graines/pi²) restent au sol, cela équivaut à des pertes de 1 kg/ha (0,9 lb/ac). En moyenne, celles-ci se situent entre 10 et 50 kg/ha (9 à 45 lb/ac).

Entreposage du canola

Le canola est considéré comme sec à une teneur en eau de 10 %, mais s'il doit être entreposé à long terme, ce taux doit être de 8 à 9 %. Vu la petite taille des graines et leur teneur en huile élevée, un échauffement se produit rapidement pendant l'entreposage. Cet échauffement endommage les graines, qui présentent alors une teneur plus élevée en acides gras libres et des problèmes de rancissement. Une forte teneur en acides gras libres cause des problèmes dans les broyeurs, et le chargement peut être refusé s'il comporte des graines échauffées.

Avant d'entreposer le canola, il faut vérifier si les cellules de stockage ont des trous pour prévenir les fuites, car les graines se déverseront librement. On doit aérer le canola immédiatement après la récolte pour réduire les risques d'échauffement et de pourriture. Le canola fraîchement récolté maintient une forte respiration pendant un maximum de six semaines avant d'entrer en dormance et de pouvoir être entreposé sans risque. Les ventilateurs d'aération conçus pour conditionner les céréales et d'autres grains ne conviennent pas toujours au canola, vu la petite taille de ses graines. Le front de refroidissement prend plus du double du temps à traverser l'ensemble des graines de canola que pour le blé. Les graines vertes de canola (impuretés) ont habituellement une teneur en eau plus élevée de 3 à 4 % et peuvent créer des

poches d'échauffement dans les cellules de stockage. Il faut faire sécher les graines ayant une teneur en eau supérieure à 10 % au cours des deux semaines suivant la récolte pour éviter leur détérioration. La vitesse de dégradation du canola entreposé dépend de la température d'entreposage, de l'humidité relative, de la teneur en eau des graines, de la durée de l'entreposage et de la qualité initiale de la récolte (graines vertes, impuretés, etc.). Il faut vérifier l'état du canola entreposé toutes les semaines.

Pour en savoir plus sur le séchage, la manutention et l'entreposage du canola, voir la feuille d'information *Storage of Canola* se trouvant sur le site Web du ministère de l'Agriculture de l'Alberta (www.agric.gov.ab.ca).

Autres problèmes liés aux cultures

Insectes et maladies

La figure 6-1, *Calendrier de dépistage des ennemis du canola*, indique les causes possibles des signes observés dans le champ. Les descriptions des insectes et maladies et des stratégies de dépistage et de lutte se trouvent au chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et au chapitre 16, *Maladies des grandes cultures*.

Les traitements recommandés pour la lutte contre les insectes et animaux nuisibles et les maladies sont présentés dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Gel

Les plantules de canola peuvent se remettre d'une gelée printanière légère si leur point végétatif n'est pas endommagé. Avant d'entreprendre quoi que ce soit, il faut attendre quatre à cinq jours pour pouvoir évaluer les dommages. On doit examiner le point végétatif et vérifier s'il y a du vert au centre des rosettes. Même si les cotylédons et les autres feuilles sont noirs, il peut y avoir une repousse au bout de 4 à 10 jours, selon les conditions météorologiques, si le point végétatif est encore en vie. La photo 6-6 montre de nouvelles pousses sur une plantule de canola touchée par le gel mais dont le point végétatif est indemne.

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Maladies	Maladies des plantules (p. 461)					
			Jambe noire (p. 461)			
			Pourriture à sclérotés (p. 460)			
Insectes et animaux nuisibles	Altise (p. 404)			Altise		
	Charançon de la graine du chou (p. 407)					
		Cécidomyie du chou-fleur (p. 405)				
		Fausse-teigne des crucifères				
			Punaise terne (p. 402, 409)			
	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre

Figure 6-1 – Calendrier de dépistage des ennemis du canola



Photo 6-6 – Nouvelles pousses sur une plantule de canola qui se remet d'un épisode de gel; si le point végétatif n'est pas endommagé, il demeurera vert

Les plantules tolèrent mieux le gel au stade de 3 ou 4 feuilles qu'au stade des cotylédons. Des cristaux de glace peuvent se former à la surface des plants sans nécessairement causer de dommages graves, car l'eau à l'intérieur des cellules végétales contient des composés dissous qui abaissent son point de congélation de plusieurs degrés sous celui de l'eau externe. La durée

d'exposition du plant au gel n'est pas sans importance; en effet, une forte gelée de courte durée peut causer moins de dégâts qu'une gelée moins accentuée qui dure toute la nuit. Les plants en croissance rapide tolèrent moins bien le gel que ceux qui ont déjà été exposés au froid pendant plusieurs jours (endurcissement).

Le gel endommage parfois davantage le canola au stade de la floraison. Il arrive alors que les fleurs ouvertes avortent, et la maturation peut être retardée. Même si le gel ne devrait pas affecter les graines matures ayant une teneur en eau de moins de 20 %, les graines en développement qui subissent une forte gelée risquent de ne pas se former complètement et de se ratatiner. Il faut examiner les gousses pour voir si elles contiennent des graines endommagées qui ont perdu leur couleur verte et leur turgescence.

Domages causés par la grêle

Si la grêle enlève les deux cotylédons ou brise la tige sous ceux-ci, les plants ne survivent généralement pas. Néanmoins, comme les plants de canola se ramifient

beaucoup quand le peuplement est clairsemé, il est possible que la perte de plants n'ait pas une énorme incidence sur le rendement. Si l'épisode de grêle survient durant la croissance végétative et cause une perte de surface foliaire, le rendement sera alors moins élevé. Les meurtrissures et le bris des tiges entraîneront des pertes plus importantes.

Si la grêle survient pendant la floraison, les plants peuvent compenser en formant des grappes secondaires et de nouvelles ramifications. Voir à ce sujet le tableau 6-8, *Pourcentage de perte de rendement due à la destruction des ramifications pendant la floraison du canola*. Les pertes de rendement sont plus importantes quand la grêle tombe à la fin de la floraison et au stade du remplissage des gousses. Le canola se remet mal de la grêle quand il a commencé à remplir ses gousses. Si la grêle tombe entre la floraison et le remplissage des gousses, elle provoquera une poussée de croissance et la pousse de fleurs, ce qui engendrera une maturité inégale.

Tableau 6-8 – Pourcentage de perte de rendement due à la destruction des ramifications pendant la floraison du canola

% de ramifications perdues	Jours à partir de la première fleur				
	-7	0	7	14	21
10 %	0 %	0 %	10 %	10 %	10 %
20 %	0 %	0 %	13 %	20 %	20 %
30 %	0 %	0 %	12 %	29 %	30 %
40 %	0 %	0 %	12 %	32 %	40 %
50 %	0 %	0 %	14 %	36 %	50 %
60 %	0 %	0 %	18 %	42 %	60 %
70 %	0 %	0 %	24 %	50 %	70 %
80 %	0 %	5 %	31 %	60 %	80 %
90 %	0 %	12 %	40 %	71 %	90 %
100 %	0 %	20 %	51 %	84 %	100 %

Recherche effectuée dans l'Ouest canadien. Conseil canadien du canola.

Graines brunes (endommagées par la chaleur)

La présence de graines brunes est un problème qui se présente à l'occasion. En pareil cas, l'intérieur de la graine prend une couleur brune, comme à la photo 6-7, qui se révèle lorsqu'on écrase la graine et qui est produite par l'avortement des cotylédons en cours de formation. Ce phénomène se produit lorsque le canola subit de longues périodes de chaleur et de

stress provoqué par la sécheresse pendant le remplissage des gousses. On voit à la photo 6-8 un plant de canola touché par l'échaudage. Les récoltes ayant de fortes proportions de graines brunes peuvent ne pas convenir au marché de l'alimentation humaine parce qu'elles ont une teneur beaucoup plus élevée en acides gras libres et en phosphore, ce qui écourte la durée de conservation de l'huile. Quelques recherches indiquent que la quantité de graines brunes s'accroît lorsque des insectes se nourrissent des graines en développement (p. ex. punaise terne, punaise et charançon de la graine du chou). L'homologation d'un nouveau cultivar n'est possible que si sa teneur en acides gras libres est inférieure à celle des cultivars existants.



Photo 6-7 – Graines de canola endommagées par la chaleur dont l'intérieur est brun lorsqu'on les écrase; ce phénomène est causé par de longues périodes de chaleur et de stress provoqué par la sécheresse pendant le remplissage des gousses

Stress dû à la chaleur (échaudage)

Quand le plant souffre de la chaleur (> 28 °C) pendant la floraison et la formation des gousses, il arrive souvent que des fleurs ou des gousses avortent. Ce phénomène, appelé « échaudage », peut nuire au rendement (voir photo 6-8). Le canola de printemps est plus souvent touché par ce problème en raison du moment de sa floraison.



Photo 6-8 – Échaudage : des températures élevées durant la floraison peuvent provoquer l'échaudage (surtout chez le canola de printemps) et réduire le rendement en graines

Graines vertes

La quantité de graines vertes (immatures) constitue un important critère de classification; le canola de catégorie Canada n° 1 peut en contenir seulement 2 % au maximum. On évalue ce critère en déterminant le pourcentage de graines qui sont clairement vertes lorsqu'on les écrase. La graine prend cette teinte quand la chlorophylle s'y incruste à la récolte. On en voit un exemple à la photo 6-7, où quelques graines vertes sont visibles. Les causes peuvent être les suivantes :

- Gelée précoce;
- Récolte par andainage ou par coupe directe effectuée trop tôt;
- Maturité inégale de la récolte;
- Cultivar;
- Chaleur et très faible taux d'humidité pendant le mûrissement.

Les enzymes naturelles de la plante décomposent la chlorophylle pendant la maturation des graines. La température de l'air et la teneur en eau des graines jouent un rôle important dans ce processus. Lorsque la teneur en eau de la graine tombe sous le seuil de 20 %, son activité enzymatique et sa respiration ralentissent, ce qui a pour effet de retarder la disparition de la couleur verte. Une gelée sublétales (d'environ 0 à -10 °C) peut ralentir, voire inverser la décomposition de la chlorophylle par les enzymes. La gelée provoque principalement un assèchement rapide des gousses et des graines avant que la chlorophylle puisse disparaître. Dans les peuplements clairsemés, les plants produisent davantage de ramifications et la maturation des graines

est moins uniforme. La quantité de graines vertes ne diminuera pas si la récolte est entreposée à un taux d'humidité correct et sans risque (< 10 %).

Destruction par l'hiver

En Ontario, le canola d'automne est moins résistant à l'hiver que le blé d'automne. La destruction par l'hiver se produit surtout en mars et en avril quand des froids extrêmes sévissent à nouveau après que le canola d'automne a perdu de sa résistance et repris sa croissance. Ce phénomène peut aussi être dû au manque de neige, à des longues périodes durant lesquelles la culture est recouverte de glace, et au dessèchement causé par les vents hivernaux; ces conditions météorologiques ont pour effet d'affaiblir les peuplements.

Un déchaussement peut se produire lorsqu'il n'y a pas assez de neige jusqu'à la fin mars ou jusqu'en avril. Ce problème, causé par les cycles de gel-dégel, se produit le plus souvent dans des sols mal drainés. Les petits plants mal établis n'ont pas les racines latérales qui leur permettraient de ne pas être déchaussées. Dans les sols saturés, les cycles de gel-dégel peuvent endommager la partie supérieure de la racine pivotante et ouvrir la voie à la pourriture des racines. Les plants soulevés de plus de 4 cm (1,5 po) ne survivent généralement pas.

Si les dommages sont assez graves (75 % de plants morts), il peut être impossible de sauver la culture. Cependant, si 30 % du peuplement reste intact et que les plants sains sont répartis uniformément dans le champ, la culture arrivera à compenser les pertes.

Pollinisation croisée

Si l'on permet la pollinisation croisée de cultivars résistants à des herbicides différents, les repousses de canola dans les cultures subséquentes pourraient présenter une résistance multiple. Il faut séparer d'au moins 175 m (575 pi) les champs ensemencés de cultivars résistants à des herbicides différents; cet isolement permet de réduire le nombre de cas de pollinisation croisée d'un champ à l'autre. Des recherches effectuées par Agriculture et Agroalimentaire Canada à Swift Current montrent que la contamination par pollinisation est de 2,1 % à 46 m (150 pi), 1,1 % à 137 m (450 pi) et 0,6 % à 366 m (1 200 pi). Dans le cadre d'une étude plus récente, on a découvert qu'environ 99 % du pollen indésirable se trouvait dans les 100 premiers mètres (330 pi) d'un champ adjacent.

7. Autres cultures

SARRASIN

Exigences de production

Types de sol : Préfère les sols à texture légère à moyenne, mais pousse dans tous les types de sol

pH du sol : 5,4 à 7,0

Cultures qui s'y associent le mieux en rotation :
Maïs, céréales

Cultures ne devant pas y être associées en rotation :
Soya, haricots comestibles, canola, tournesol

Température minimale du sol : 7 °C

Température optimale de l'air : 12 à 25 °C

Date de semis la plus précoce : Après le dernier gel

Saison de croissance requise : 70 à 90 jours du semis à la maturité

Le sarrasin est une annuelle d'été à croissance rapide arborant de larges feuilles en forme de cœur et des fleurs blanches. Après le semis, il a besoin d'environ 5 à 6 semaines pour former sa première fleur, et de 10 à 12 semaines pour être prêt pour la récolte. C'est une culture sensible au gel et généralement semée plus tard que les autres grandes cultures.

Le sarrasin est cultivé pour l'alimentation humaine, entre dans la composition de nourriture pour le bétail et sert à la fabrication du miel de sarrasin. C'est aussi une culture couvre-sol couramment utilisée pour lutter contre les mauvaises herbes et comme engrais vert; voir à ce sujet le chapitre 8, *Gestion assurant la santé du sol*. Comme la graine de sarrasin contient de la lysine – un acide aminé – ses protéines sont plus complètes que celles d'autres céréales.

L'exportation vers les pays en bordure du Pacifique, surtout le Japon, constitue le marché le plus lucratif pour le sarrasin à grosses graines de qualité.

Travail du sol et préparation du lit de semence

Le sarrasin est souvent utilisé au sein de rotations biologiques et dans des champs non ensemencés quand le semis de maïs ou de soya a été retardé au point qu'on ne peut plus espérer que ces cultures puissent parvenir à maturité d'ici la fin de la saison de croissance. Il est également couramment planté dans des champs abandonnés et de vieux pâturages en vue de les revigorer avant le semis d'autres cultures. Quand on prépare le lit de semence, il faut viser une lutte efficace contre les mauvaises herbes, une bonne conservation de l'humidité et un sol ferme. Comme il y a peu de moyens de lutter contre les mauvaises herbes dans une culture de sarrasin, il est important d'en éliminer le plus possible avant le semis. La préparation des champs, que ce soit à l'automne ou au printemps, peut comprendre l'application de glyphosate avant le travail du sol (qui favorise l'élimination des mauvaises herbes vivaces), ou un travail superficiel au printemps, qui pourrait éliminer les mauvaises herbes vivaces restantes et stimuler la croissance des mauvaises herbes annuelles. En retravaillant superficiellement le sol tous les 7 à 14 jours environ jusqu'au semis, on contribue à réduire la croissance de nouvelles mauvaises herbes et à préserver l'humidité.

Choix du champ

Le sarrasin s'adapte bien à toutes les conditions météorologiques de l'Ontario. Il est toutefois vulnérable au gel de fin de printemps et de début d'automne, ainsi qu'aux températures élevées et aux vents chauds et secs, en particulier pendant la floraison et la grenaison. Le sarrasin pousse dans une grande variété de sols et est susceptible de donner de meilleurs résultats que les autres céréales dans de mauvaises conditions de sol. Par contre, il préfère les sols bien drainés et ne tolère pas les sols très secs, saturés ou compactés.

Il faut éviter d'utiliser les champs contenant beaucoup d'azote résiduel, car il s'agit d'un facteur pouvant accentuer la verse de la culture. La croissance dense associée à ces champs s'accompagne souvent d'une plus grande incidence de la pourriture à sclérotés,

un problème qui affecte le soya, les haricots secs comestibles, le canola, le tournesol et le sarrasin. Dans la mesure du possible, il faut éviter les champs sujets à la pourriture à sclérotés et planifier la rotation de manière à ce que ces cultures ne se succèdent pas.

Afin de réduire la proportion de repousses de céréales quand on cultive le sarrasin pour la semence, il faut éviter les champs où l'on a précédemment cultivé d'autres céréales. On peut remédier à ce problème par un travail du sol à l'automne et par le semis d'une culture couvre-sol d'automne que l'on incorpore au printemps avant de semer le sarrasin.

Choix des cultivars

Si la culture est destinée à l'exportation, le choix du cultivar est important. Les marchés japonais, nord-américain et européen exigent des cultivars à grosses graines propices à la production de farine et de graines décortiquées.

Les nouveaux cultivars ont tendance à produire des graines plus grosses et ont un poids plus élevé au boisseau. Ces cultivars à grosses graines ont des feuilles plus larges, et par conséquent n'exigent pas un taux de semis plus élevé que ceux à plus petites graines.

Pour trouver des fournisseurs de semences, se référer à la liste *Fournisseurs de semence de plantes de couverture* affichée sur le site Web du MAAARO à l'adresse ontario.ca/cultures.

Semis

Le sarrasin germe à des températures allant de 7 à 40,5 °C et fleurit 5 à 6 semaines après le semis. C'est une plante à croissance indéterminée : sa maturation ne se fait donc pas de manière uniforme. On obtient un rendement maximal quand le semis a lieu immédiatement après le dernier gel. Un semis précoce fait dans des conditions propices à la levée contribue à réduire au minimum les problèmes de repousse l'année suivante. Traditionnellement, le sarrasin était semé au milieu de l'été et souvent récolté après le gel. Cette méthode permet certes d'éviter la floraison par temps chaud, mais les graines immatures tombent alors au sol et font réduire les rendements, sans compter qu'elles créent éventuellement un grave problème de repousse dans les cultures suivantes.

Les semis faits avec un semoir à céréales donnent un peuplement plus uniforme, mais on peut aussi obtenir des résultats satisfaisants avec des semis à la volée. Il faut semer à une profondeur de 4 à 6 cm (1,5 à 2,5 po) dans de la terre humide pour que la levée soit rapide et uniforme. Les plantules devraient lever en l'espace de deux à cinq jours.

Pour la production de céréales, on recommande un taux de semis de 50 à 65 kg/ha (45 à 60 lb/ac). On obtiendra ainsi un peuplement idéal de 140 à 183 plants/m² (13 à 17 plants/pi²).

Pour le sarrasin utilisé comme engrais vert ou culture couvre-sol, le taux de semis optimal est de 50 à 60 kg/ha (45 à 54 lb/ac). Des taux de semis plus élevés donnent un peuplement plus dense qui contribue à étouffer les mauvaises herbes. Cependant, même avec un peuplement plus clairsemé, la capacité du plant de se ramifier compense souvent les espaces vides, ce qui assure malgré tout une bonne lutte contre les mauvaises herbes.

Utilisation comme engrais vert

Le sarrasin est capable de prélever le phosphate non assimilable par les autres cultures, augmentant ainsi la quantité de phosphore biodisponible pour les cultures qui lui succèdent. Pour tirer avantage de son importante biomasse, on doit l'incorporer ou le détruire par des moyens chimiques de quatre à sept semaines après le semis, avant que la grenaison ne commence. Si on laisse la culture atteindre la pleine floraison, il y a de plus grands risques de problèmes de repousse l'année suivante.

Gestion de la fertilisation

Le sarrasin a des besoins de fertilisation similaires à ceux de l'avoine. Le tableau 7-1, *Besoins en azote du sarrasin*, le tableau 7-2, *Directives relatives au phosphate pour le sarrasin et le lin*, et le tableau 7-3, *Directives relatives à la potasse pour le sarrasin et le lin*, montrent les doses recommandées d'azote, de phosphate et de potasse selon les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO.

Tableau 7-1 – Besoins en azote du sarrasin

Région de croissance	Dose maximale d'azote pour le sarrasin
Sud de l'Ontario	35 kg/ha (30 lb/ac)
Nord de l'Ontario	55 kg/ha (50 lb/ac)

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on applique du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier. Voir à ce sujet le tableau 9-10, *Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques*, au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Tableau 7-2 – Directives relatives au phosphate (P₂O₅) pour le sarrasin et le lin

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

Légende : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium	Quantité de phosphate à appliquer
0 à 3 ppm	70 kg/ha (RÉ)
4 à 5 ppm	60 kg/ha (RÉ)
6 à 7 ppm	50 kg/ha (RÉ)
8 à 9 ppm	30 kg/ha (RÉ)
10 à 12 ppm	20 kg/ha (RM)
13 à 15 ppm	20 kg/ha (RM)
16 à 30 ppm	0 (RF)
31 à 60 ppm	0 (RTF)
61 ppm et plus	0 (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application du phosphore sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, des apports de phosphate peuvent entraîner des carences en zinc dans les sols pauvres en zinc et augmenter les risques de pollution de l'eau.

Tableau 7-3 – Directives relatives à la potasse (K₂O) pour le sarrasin et le lin

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

Légende : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle

Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium	Quantité de potasse à appliquer
0 à 15 ppm	70 kg/ha (RÉ)
16 à 30 ppm	50 kg/ha (RÉ)
31 à 45 ppm	40 kg/ha (RÉ)
46 à 60 ppm	30 kg/ha (RÉ)
61 à 80 ppm	20 kg/ha (RM)
81 à 100 ppm	20 kg/ha (RM)
101 à 120 ppm	0 kg/ha (RF)
121 à 250 ppm	0 kg/ha (RTF)
251 ppm et plus	0 kg/ha (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application de potasse sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, l'épandage de potasse dans des sols pauvres en magnésium peut provoquer une carence en magnésium.

Récolte et entreposage

Récolte

Le sarrasin est une plante indéterminée. Le plant porte des fleurs, des graines vertes et des graines matures en même temps. La floraison commence de cinq à six semaines après le semis et se poursuit pendant au moins un mois. Les insectes, les abeilles mellifères et les abeilles coupeuses de feuilles – les principaux agents de pollinisation – sont essentiels à une bonne grenaison. Une entente avec un apiculteur est mutuellement avantageuse. Il faut effectuer la récolte avant que les graines ne soient trop mûres, soit dans les quelque 10 semaines suivant le semis, quand la culture pousse et fleurit encore. À ce stade, il faut que de 70 à 75 % des graines soient brunes et parvenues à maturité mais ne pas avoir commencé à tomber de la base de l'épi. Si on attend que les graines les plus près du sol commencent à tomber pour récolter, on aura des rendements moindres à cause de la chute des graines, en plus de problèmes de repousse dans la culture suivante.

Les rendements varient selon la pollinisation et les conditions météorologiques. Des rendements de 2,2 t/ha (40 bo/ac) sont possibles, bien qu'ils se situent le plus souvent autour de 1,1 à 1,6 t/ha (20 à 30 bo/ac).

Andainage

Il faut effectuer l'andainage avant la récolte si la culture n'a pas été tuée par le gel. On ne doit pas employer de dessiccants avec le sarrasin, car ces produits affaiblissent la tige et, par le fait même, augmentent la verse. Pour réduire les pertes par égrenage, il faut andainer la culture le matin, lorsqu'il y a encore de la rosée, ou par temps humide. La coupe du sarrasin doit se faire à une bonne hauteur pour laisser un chaume qui facilite le séchage.

On peut procéder au moissonnage-battage quand la teneur en eau des graines atteint 16 %. Pour réduire l'égrenage à cette étape, il faut ralentir la vitesse de ramassage pour qu'elle corresponde à la vitesse d'avancement de la moissonneuse-batteuse. Le ramasseur d'andains à toile provoque moins d'égrenage que le ramasseur d'andains à tambour. Pour limiter les bris, il faut réduire la vitesse du cylindre à un tiers (600 à 800 tours/min) de celle utilisée pour les céréales et régler le contre-batteur à une ouverture d'environ 13 à 16 cm (5,25 à 6,5 po) à l'avant et de 9 mm (0,38 po) à l'arrière. Le tamis supérieur est réglé à 16 mm (0,63 po), et le tamis inférieur, à 8 mm (0,3 po). En cas de décorticage des graines, il faut ouvrir le contre-batteur plus grand ou réduire la vitesse du cylindre. On peut ensuite ouvrir graduellement le tamis inférieur jusqu'à un réglage ne laissant pas passer trop de corps étrangers. Il faut vérifier si le jet d'air est assez puissant pour éliminer le plus de déchets possible sans rejeter de graines propres.

Coupe directe par moissonneuse-batteuse

On peut employer la coupe directe avec les cultures semées à la fin de l'été qui ont été tuées par le gel. Il faut attendre de 7 à 10 jours après le gel, faire avancer la moissonneuse-batteuse à basse vitesse et couper le chaume à une bonne hauteur pour éviter de surcharger la moissonneuse-batteuse. Pour réduire les bris, on doit prendre garde aux quantités de matières grossières qu'on laisse passer afin de limiter le plus possible le nombre de graines qui pénètrent dans le retour.

Entreposage

On peut entreposer sans risque le sarrasin à un taux d'humidité inférieur à 16 %. Plus les graines sont entreposées longtemps, plus elles s'oxydent; c'est la raison pour laquelle la couche vert pâle sous la coquille passe progressivement au brun rougeâtre. Il est facile de détecter les graines oxydées, et leur nombre est un critère important pour les marchés qui préfèrent le sarrasin fraîchement récolté (c.-à-d. le marché japonais). Il ne faut pas entreposer le sarrasin ou le mélanger avec des graines de récoltes précédentes.

Alimentation animale

On peut utiliser les graines de sarrasin comme nourriture pour bétail, en l'incluant en petite quantité dans la ration. Elles peuvent composer jusqu'à un tiers de la ration de céréales des bovins de boucherie ou des bovins laitiers. La recherche sur de nouveaux cultivars de sarrasin destinés à l'alimentation du porc a démontré que le rendement global des porcs d'engraissement et de finition nourris avec du sarrasin était comparable à celui des porcs nourris aux céréales.

Précautions concernant l'alimentation animale

Le fourrage de sarrasin, qu'il soit frais ou sec, peut avoir des effets toxiques, le principal étant une photosensibilité chez les animaux à peau claire (notamment les bovins, les chèvres, les moutons, les porcs et les dindons) lorsqu'ils sont exposés au soleil. Par ailleurs, la jaunisse compte parmi les effets secondaires toxiques.

Lutte contre les mauvaises herbes

Il est parfois difficile de faire la lutte aux mauvaises herbes dans les cultures de sarrasin. Elle nécessite de la planification, puisque les herbicides sur lesquels on peut compter sont peu nombreux, particulièrement pour lutter contre les mauvaises herbes dicotylédones. Le sarrasin est sensible aux herbicides rémanents (p. ex. triazine, sulfonilurée et trifluraline). Comme il est souvent semé tardivement, on a amplement l'occasion de lutter contre les mauvaises herbes avant le semis en recourant à des herbicides ou en sarclant le champ.

Insectes et maladies

Le sarrasin présente rarement des problèmes liés aux insectes et aux maladies, mis à part la pourriture à sclérotés.

CAMÉLINE

Exigences de production

Types de sol : Sols bien drainés à texture légère à moyenne

pH du sol : Sols acides ou alcalins

Cultures qui s'y associent le mieux en rotation :
Céréales

Cultures ne devant pas y être associées en rotation :
Canola, haricots secs comestibles, soya, tournesol, sarrasin

Température minimale du sol : Application à la volée sur le sol gelé au début décembre dans des champs en semis direct

Température optimale de l'air : 20 à 25 °C

Date de semis la plus précoce : Tolérance au gel et à la chaleur

Saison de croissance requise : 80 à 100 jours
(11 à 14 semaines)

La caméline est une excellente source d'oméga-3 et 6, des acides gras essentiels. L'huile est utilisée dans la fabrication de cosmétiques, de crèmes pour la peau, de lotions, de biodiesel et de lubrifiants.

Semis

On peut semer la caméline à la fin de l'automne comme annuelle hivernale, ou au printemps. Le semis direct effectué à l'automne semble donner de meilleurs résultats que les méthodes traditionnelles de travail du sol et de semis. Il faut utiliser un taux de semis de 4 à 6 kg/ha (9 à 13 lb/ac) pour obtenir un peuplement de 400 à 600 plants/m² (37 à 56 plants/pi²). Le semis doit se faire à une profondeur de 6,5 mm (0,25 po). La taille des semences varie considérablement d'un cultivar à l'autre; par ailleurs, au même titre que le pourcentage de germination, la taille des semences sert à déterminer le taux de semis approprié.

Gestion de la fertilisation

Il existe peu de directives sur la fertilisation de cette culture en Ontario. Les doses d'engrais recommandées sont semblables à celles pour le canola, un proche parent de la caméline. Les teneurs en phosphore et en

potassium doivent correspondre à celles recommandées dans l'analyse de sol (12 à 18 ppm de phosphore et 100 à 130 ppm de potassium). Si les teneurs sont inférieures aux valeurs cibles, il faut incorporer ces éléments nutritifs dans le sol avant le semis en utilisant des doses qui combleront le vide laissé par ce que prélève la culture tout en améliorant les teneurs au fil du temps. Voir les *Directives relatives aux engrais* au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Récolte et entreposage

Récolte

Il faut procéder au moissonnage-battage 80 à 100 jours après le semis, quand les gousses sont brunes. Les graines sont extrêmement petites : leur taille correspond à environ le quart ou la moitié d'une graine de canola (poids de 1 000 graines = 1 à 2 g, soit environ 666 000 graines/kg ou 300 000 graines/lb).

On peut faire appel aux pratiques de récolte standard pour le canola, mais les producteurs doivent adapter la moissonneuse-batteuse en l'équipant de cribles de bonne dimension.

Entreposage

Il faut entreposer les graines dans un endroit sec (taux d'humidité de moins de 8 %) où l'humidité relative est faible.

Insectes et maladies

Les graines de caméline peuvent être des vecteurs du virus de la mosaïque jaune du navet. La caméline est résistante à la jambe noire (*Leptosphaeria maculans*) et à l'*Alternaria Brassicae*. À ce jour, le ravageur le plus important en Ontario est l'altise. Les ravageurs du canola et d'autres oléagineux dans la province peuvent aussi s'attaquer à la caméline. Pour savoir si un pesticide enregistré est adapté à cette culture, il faut toujours consulter l'étiquette du produit et suivre les consignes indiquées. Pour en savoir plus, visiter la page ontario.ca/cultures, chercher **Promo-Cultures – Industriel**, puis cliquer sur **Cultures d'oléagineux**.

LIN

Exigences de production

Types de sol : Loams bien drainés, loams limoneux ou loams argileux de préférence

pH du sol : > 5,6

Cultures qui s'y associent le mieux en rotation :
Maïs, céréales

Température minimale du sol : 3 °C

Température optimale de l'air : 10 à 27 °C

Date de semis la plus précoce : Début à la fin avril

Saison de croissance requise : 90 à 115 jours

Le lin est une plante polyvalente qui entre dans la fabrication de peintures à l'huile, de revêtements protecteurs, de linoléum, d'encre d'imprimerie, de savons, de lubrifiants industriels et de revêtements pour béton résistants au sel. Le lin textile et les bienfaits sur la santé de l'huile de lin ajoutée à divers aliments sont venus diversifier le marché. La graine de lin contient de 35 à 40 % d'huile. Après extraction de l'huile, le tourteau de lin sert de supplément protéinique pour le bétail (teneur moyenne en protéines d'environ 35 %).

Les directives présentées dans cette section s'appliquent au lin de type oléagineux; les exigences de production liées au lin textile peuvent différer. Pour plus de renseignements sur cette culture au Canada, visiter le site Web du Flax Council of Canada à l'adresse www.flaxcouncil.ca.

Travail du sol et préparation du lit de semence

Pour que la levée soit rapide et uniforme, l'idéal est un lit de semence ferme et nivelé qui assure un bon contact entre la semence et le sol. On conseille de tasser le sol avant ou après le semis, ou les deux. La culture donne de meilleurs résultats quand il y a peu de résidus. On aura recours à des rotations similaires à celles des céréales ou des légumineuses fourragères.

Choix des cultivars

On choisira un cultivar différent selon que l'on cultive du lin pour la production d'huile ou pour l'industrie textile. Jusqu'à maintenant, la seule production commerciale de lin au Canada visait la production d'huile. Les cultivars de lin de type oléagineux sont utilisés spécifiquement pour l'extraction de l'huile de la graine.

Semis

Le semis de lin se fait avec du matériel semblable à celui utilisé pour les céréales, en rangs serrés espacés de 15 à 20 cm (6 à 8 po). Le semoir à céréales donne une profondeur de semis et une levée plus uniformes que le semis à la volée. Il faut semer à une profondeur maximale de 2,5 cm (1 po), car il est probable qu'à cette profondeur, la terre ait un taux d'humidité adéquat pour favoriser la germination au printemps. Un semis plus profond risque de retarder grandement la levée, surtout au cours des printemps frais et humides. Les taux de semis optimaux sont de 35 à 50 kg/ha (31 à 45 lb/ac). Des taux de semis supérieurs à 50 kg/ha conjugués à des doses d'azote élevées peuvent entraîner une verse excessive, qui complique la récolte.

Un semis précoce donne de meilleurs résultats et facilite la récolte. De plus, les plantules peuvent résister à un gel modéré. Les loams bien drainés, les loams limoneux ou les loams argileux sont à privilégier. Les plants de lin ont une racine pivotante relativement courte qui les rend vulnérables à un stress hydrique dans les sols à texture légère.

Croissance de la culture

Le lin est une annuelle pourvue d'une courte racine pivotante à partir de laquelle des racines fasciculées croissent à une profondeur d'environ 1,2 m (4 pi) dans un sol à texture légère. La hauteur du plant varie de 45 à 91 cm (1,5 à 3 pi) en fonction des conditions de croissance. Dans les peuplements denses, seule une tige principale se forme, mais dans les peuplements clairsemés, on peut trouver quatre talles et plus. Les fleurs, qui sont blanches, bleues, roses ou violettes selon le cultivar, s'ouvrent tard le matin et tombent tôt l'après-midi. Le lin fleurit pendant trois semaines quand le sol est suffisamment fertile. Ses fleurs peuvent s'auto-polliniser, mais une pollinisation croisée peut survenir grâce aux insectes. Une capsule de graine donne au maximum 10 graines. Lorsqu'elles sont exposées à l'eau, les graines de lin s'entourent d'un gel qui leur donne une texture gluante pouvant compliquer la manipulation.

Gestion de la fertilisation

Les besoins en azote du lin sont les mêmes que pour les céréales mélangées (45 kg/ha ou 40 lb/ac dans le Sud de l'Ontario, et 70 kg/ha ou 62 lb/ac dans le Nord de la province). Une dose d'azote trop élevée fait verser la culture. L'analyse de sol demeure le meilleur moyen de déterminer les besoins en phosphore et en potassium. Voir les tableaux 7-2, *Directives relatives au phosphate pour le sarrasin et le lin*, et 7-3, *Directives relatives à la potasse pour le sarrasin et le lin*. Comme la graine de lin est susceptible d'être brûlée par l'engrais, tous les fertilisants doivent être épandus à la volée.

Récolte et entreposage

Récolte

Le lin donne habituellement des rendements de 1 200 à 2 000 kg/ha (1 100 à 1 800 lb/ac). On peut le récolter en coupe directe par moissonnage-battage ou après un andainage préalable.

Coupe directe par moissonneuse-batteuse

Comme le lin continue de produire de nouvelles repousses tout au long de la saison, il faut recourir à un dessiccant en pré-récolte si la culture est récoltée en coupe directe par moissonnage-battage. Lorsqu'on procède à une coupe directe, on doit utiliser des rabatteurs à battes pour éviter que les plants s'enroulent autour des rabatteurs-ramasseurs. Il faut se référer à l'étiquette du produit pour savoir comment l'utiliser en pré-récolte.

Andainage

L'andainage effectué avant le moissonnage-battage donne des graines plus sèches que la récolte en coupe directe. Il doit être effectué lorsqu'environ 90 % des feuilles sont tombées, et que les graines sont devenues brun foncé. Le lin ne s'égrène pas aussi facilement que les autres céréales. En présence de mauvaises herbes dans la culture, il faut faire un andainage afin que les mauvaises herbes et la paille puissent sécher avant la récolte. On doit laisser 15 cm (6 po) de chaume de paille pour que les andains groupés ne reposent pas au sol. Dans de bonnes conditions de séchage, on peut procéder au moissonnage-battage trois ou quatre jours après l'andainage.

On doit garder bien affûtés les barres de coupe et les doigts de la moissonneuse-batteuse et de la faucheuse-andaineuse pour réduire l'accumulation de paille de lin non mature sur le couteau. On effectue le

moissonnage-battage du lin lorsque la paille est sèche et que l'on entend les graines cliqueter dans la capsule. Le lin semé tôt est plus facile à battre que le lin semé tardivement parce que sa maturation se produit dans des conditions plus sèches, à la fin de l'été.

On doit ajuster la moissonneuse-batteuse en réduisant l'espace entre les cylindres et le contre-batteur à la moitié de l'espace utilisé pour les céréales, et ralentir la rotation du cylindre. Il faut régler le ventilateur à une vitesse assez faible, puisque les graines s'envolent facilement derrière la moissonneuse-batteuse. Un échantillon d'apparence « propre » dans la trémie indique qu'une trop grande quantité de graines est relâchée derrière l'appareil. Il n'est pas rare que le niveau d'impuretés atteigne 5 à 10 %. Il faut s'assurer de bien boucher les trous dans la trémie à grains, les vis sans fin et les élévateurs, car la graine de lin est très glissante et peut s'échapper par de petits trous.

Entreposage

Le lin doit être entreposé lorsqu'il a une teneur en eau inférieure à 10,5 %. Une teneur en eau plus grande entraîne des coûts supplémentaires de séchage et une perte de masse. Comme le lin peut se détériorer rapidement, il est essentiel de bien l'entreposer. Un séchage et un nettoyage des graines avant l'entreposage peuvent contribuer à réduire la quantité d'impuretés.

Enlèvement de la paille

La paille des cultivars de lin de type oléagineux ne convient pas à l'industrie textile à cause des courtes fibres de la tige. La paille de lin se décompose lentement dans le sol et nuit habituellement au travail du sol qui suit la récolte ou pendant la saison de culture suivante. Il faut s'efforcer de trouver une utilité à la paille de lin afin de l'enlever du champ. La paille est parfois utilisée comme litière dans les parcs d'engraissement, et on l'emploie aussi comme combustible dans de gros appareils de chauffage.

Lutte contre les mauvaises herbes

Le lin combat mal les mauvaises herbes : il ne forme pas de couvert dense pouvant ombrager le sol, ce qui permet aux mauvaises herbes de s'établir. Les mauvaises herbes vivaces et difficiles à maîtriser sont particulièrement problématiques, car peu d'herbicides peuvent être utilisés. Dans la mesure du possible, le lin devrait être semé dans des champs où il y a relativement peu de mauvaises herbes.

Pour savoir quels herbicides conviennent au lin, voir la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Insectes et maladies

Habituellement, les insectes et les maladies ne posent pas de problèmes dans la production du lin.

CHANVRE

Exigences de production

Types de sol : Préfère les sols bien drainés; rendements moindres dans des sols à texture très lourde ou légère

pH du sol : 6,0 à 7,5

Cultures recommandées pour association en rotation :

Rotation de quatre ans comprenant des céréales ou le maïs

Ne pas semer après les cultures suivantes : Canola, haricots comestibles, soya, sarrasin, tournesol

Température minimale du sol : 4 à 6 °C (les plantules sont vulnérables au gel)

Température optimale de l'air : 25 à 28 °C

Date de semis la plus précoce : Début à la fin mai

Saison de croissance requise : 70 à 90 jours (production textile), ou 100 à 200 jours (production céréalière)

Le chanvre (*Cannabis sativa*) est une annuelle cultivée pour la production de grains de spécialité, d'huiles et de produits de soins personnels. Il sert aussi de fibres à usage industriel dans les marchés du textile, du papier et des biocarburants. À l'heure actuelle, la production céréalière constitue le principal marché du chanvre en Ontario.

Le chanvre industriel est une substance réglementée; sa culture nécessite une licence de Santé Canada, lequel régit l'importation, la production, le traitement, la possession, la vente, le transport, la livraison et la mise en vente de chanvre industriel. Seuls les cultivars figurant dans la liste approuvée par Santé Canada

peuvent être semés. Le chanvre industriel cultivé, traité et vendu au Canada doit contenir au maximum 0,3 % de tétrahydrocannabinol (THC) dans ses feuilles et ses fleurs. De plus, la réglementation établit un plafond de 10 parties par million (ppm) de résidus de THC dans les produits dérivés des graines de chanvre, comme la farine et l'huile. Pour obtenir de l'information sur les cultivars ainsi que sur les licences et règlements connexes, communiquer avec le Bureau des substances contrôlées de Santé Canada, ou écrire à hemp@hc-sc.gc.ca.

Description

Différents cultivars sont utilisés pour la production textile et céréalière. Le chanvre cultivé pour la production textile atteint une hauteur de 1,5 à 3 m (5 à 10 pi), sans ramification. Quand le peuplement est dense, les feuilles du bas s'atrophient parce qu'elles sont privées de lumière. C'est le rhytidome de la tige qui contient les longues et solides fibres libériennes pour lesquelles le chanvre est réputé. Le centre de la tige contient des fibres courtes qui ont de nombreuses autres utilités (p. ex. litière).

État du sol

Le chanvre pousse bien dans un loam sableux bien drainé ayant un pH de 6,0 à 7,5.

Plus le sol est argileux, plus la quantité de fibres produites sera faible. Les sols argileux se compactent facilement, et le chanvre est très vulnérable à la compaction du sol. Dans des sols bien drainés ayant une bonne structure, la racine pivotante peut s'enfoncer de 15 à 30 cm (6 à 12 po) dans la terre, alors que dans les sols compactés, elle demeure courte et le plant forme davantage de racines fasciculées latérales.

Travail du sol et préparation du lit de semence

Dans le cas du chanvre, il faut assurer un bon contact entre la semence et le sol. Le lit de semence doit être ferme et nivelé et avoir une texture relativement fine; il est similaire à celui préparé pour les cultures fourragères en semis direct. On peut travailler et ensemer le sol dès qu'il est suffisamment sec pour ne pas se compacter.

Semis

Il faut planter les semences dans des rangs espacés de 15 à 18 cm (6 à 7 po), à une profondeur de 3 cm (1,25 po). La température du sol idéale pour une germination rapide est de 8 à 10 °C, mais le chanvre peut aussi germer de 4 à 6 °C. Un semis précoce donne des plants plus hauts qui produisent davantage de fibres. Pour la production textile, un peuplement final optimal est de 200 à 250 plants/m² (19 à 23 plants/pi² ou 810 000 à 1 000 000 plants/ac), et pour la production de semences ou de céréales, de 100 à 150 plants/m² (9 à 14 plants/pi² ou 400 000 à 610 000 plants/ac).

Le chanvre absorbe beaucoup d'humidité; il est donc important d'exploiter l'humidité du sol en début de saison et d'avoir un bon couvre-sol rapidement pour réduire l'évaporation à la surface. Pour la production céréalière, il faut environ deux fois moins d'humidité pendant la floraison et la grenaison.

Les plantules peuvent tolérer une gelée légère et continuent de croître même à 2 °C. Après la formation de sa troisième paire de feuilles, le chanvre est reconnu pour pouvoir supporter des températures aussi basses que -5 °C pendant quatre ou cinq jours. Au cours des stades végétatifs, le chanvre pousse bien quand la température maximale durant la journée se situe entre 25 et 28 °C.

Gestion de la fertilisation

Il existe peu de directives sur la fertilisation de cette culture en Ontario, mais le chanvre a besoin grosso modo de la même fertilisation qu'une culture de blé à rendement élevé. Les recherches visant à préciser les besoins de cette culture en éléments nutritifs se poursuivent. On peut épandre un maximum de 110 kg/ha (98 lb/ac) d'azote selon la fertilité du sol et les cultures antérieures. Les teneurs en phosphore et en potassium doivent correspondre à celles recommandées dans l'analyse de sol (12 à 18 ppm de phosphore et 100 à 130 ppm de potassium). Si les teneurs sont inférieures aux valeurs cibles, il faut incorporer ces éléments nutritifs dans le sol avant le semis en utilisant des doses qui comblent le vide laissé par ce que prélève la culture tout en améliorant les teneurs au fil du temps. Voir les *Directives relatives aux engrais* au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Lutte contre les mauvaises herbes

Quand le chanvre est semé dans un sol fertile et bien drainé à une température et à un taux d'humidité quasi idéaux, il germe rapidement et atteint une hauteur de 30 cm (1 pi) dans les 28 à 35 jours suivant le semis. À ce stade, il ombrage 90 % du sol et entrave ainsi la croissance des mauvaises herbes en les privant de lumière. Quand le chanvre croît rapidement, un peuplement final de 200 à 250 plants/m² empêchera presque complètement les mauvaises herbes de pousser pendant la saison. Pour plus d'information, voir la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*.

Récolte et entreposage

Récolte

Les conditions de récolte varieront en fonction de l'utilisation finale :

- **Fibre textile** : Récolter à la floraison, après la dissémination du pollen mais avant la grenaison, soit environ 70 à 90 jours après le semis.
- **Fibre industrielle** : Récolter à n'importe quel moment après la floraison. Les fibres de chanvre coupées après la récolte des graines sont considérablement lignifiées et ne peuvent être employées que comme fibres industrielles grossières.
- **Production textile** : Quand on récolte la culture au moyen de matériel standard pour grandes cultures (p. ex. faucheuse à barre de coupe, faucheuse-conditionneuse et ramasseuse-presse), il faut s'attendre à des problèmes d'obstruction fréquents.
- **Production céréalière** : On doit récolter la culture lorsqu'environ 70 % des graines sont à point et que l'égrenage commence (teneur en eau de 22 à 30 %), soit environ 100 à 120 jours après le semis. Il faudra apporter des modifications à la majorité des vieux modèles de moissonneuse-batteuse pour éviter que les fibres des plants s'enroulent autour des axes, des chaînes, etc. Ces modifications peuvent notamment consister à recouvrir de courroies de caoutchouc les chaînes du compartiment d'alimentation et à couvrir tous les autres axes (voir photo 7-1).



Photo 7-1 – Utiliser des courroies en caoutchouc pour éviter que les fibres des plants s’enroulent autour des axes, des chaînes, etc.
Gracieuseté du gouvernement du Manitoba

En Ontario, les rendements en tiges sèches rouies sont de 6,4 à 19,8 t/ha (2,9 à 8,8 t. c./ac), avec une moyenne de 7,4 t/ha (3,3 t. c./ac).

Rouissage et retournement des andains

Le rouissage est le processus qui consiste à commencer à séparer les fibres libériennes des fibres courtes et des autres tissus de la plante. Ce traitement est effectué depuis le champ, en tirant profit de la rosée, de la pluie et du soleil, ou dans des conditions contrôlées, à l’aide d’eau ou de produits chimiques. La méthode employée est choisie en fonction de l’utilisation finale de la fibre.

Le rouissage en champ nécessite un équilibre délicat entre la rosée nocturne et de bonnes conditions de séchage durant le jour. Dans le Sud de l’Ontario, le climat local fait parfois en sorte que le rouissage en champ ne débute qu’à la fin du mois de juillet pour que la rosée soit adéquate. La durée du rouissage (habituellement de 12 à 18 jours) est un élément essentiel dans l’optimisation du rendement en fibres et de la qualité de celles-ci. Les andains groupés sont retournés vivement, une ou deux fois, avec une faneuse ou une machine à renverser les andains pour favoriser un rouissage uniforme et faire tomber les feuilles des tiges. La présence d’une trop grosse quantité de feuilles nuira au séchage, et la paille pourrait alors ne pas être conforme aux exigences de la *Loi réglementant certaines drogues et autres substances* (1996).

Mise en balles et entreposage

Pour la production textile, les tiges du chanvre doivent avoir une teneur en eau de moins de 15 % au moment de la mise en balles, et continuer de sécher pour atteindre une teneur d’environ 10 %.

On peut procéder à la mise en balles au moyen de n’importe quel type de ramasseuse-presse. Il peut être plus avantageux de faire de grosses balles rondes au centre moins dense pour qu’elles puissent sécher plus rapidement pendant leur entreposage. Les balles doivent être entreposées à l’intérieur, au sec, pour arrêter le processus de rouissage avant que les fibres pourrissent. D’après des expériences menées sur l’entreposage du foin, les balles entreposées sous plastique emprisonnent l’humidité du sol et s’altèrent. Les balles placées sur des palettes s’altèrent moins.

Avant d’entreposer les graines de chanvre, on doit d’abord les faire sécher pour que leur teneur en eau descende à 12 %. Il faut les entreposer dans un endroit frais et sec.

Insectes et maladies

Plus de 50 différents virus, bactéries, champignons et insectes nuisibles sont réputés dangereux pour le chanvre. Cependant, sa croissance rapide et sa vigueur lui permettent de résister à l’attaque de la plupart des maladies et ravageurs.

À mesure que la concentration de cultures de chanvre et d’autres hôtes de maladies augmente dans un secteur donné, le nombre et les populations d’organismes nuisibles auront tendance à augmenter. Certains ravageurs ont été observés dans les champs de chanvre de l’Ontario, comme les moisissures communes du chanvre, la *Botrytis cinerea* (pourriture grise) et la *Sclerotinia sclerotiorum* (pourriture à sclérotés), qui touche aussi le soja, les haricots comestibles, le canola, le sarrasin et le tournesol. Il arrive que l’effet de ces maladies sur le chanvre (en tant qu’hôte et hôte intermédiaire) ne se fasse sentir que lorsque cette culture est cultivée plus intensivement dans des zones où on fait pousser des haricots et du canola. Des dommages laissés par le *Fusarium* ont été observés sur les racines de plants de chanvre. De plus, la pyrale du maïs s’attaque à certains peuplements dans le Sud de l’Ontario.

Quelques pesticides sont approuvés pour le chanvre en Ontario. La rotation des cultures semble la meilleure pratique culturale pour éviter le développement de maladies d’ici à ce qu’on en sache plus sur la vulnérabilité de cette plante à diverses maladies. On recommande une rotation de quatre ans, où le chanvre ne doit pas succéder à une culture de soja, de haricots secs comestibles, de canola ou de tournesol.

Le vent et la grêle peuvent causer des dommages importants dans les cultures de chanvre : les plants hauts arborant beaucoup de feuilles en hauteur peuvent facilement fléchir sous la force des orages se produisant du milieu à la fin de l'été. Les plants brisés s'en remettent en partie si la tige n'est pas cassée trop bas.

Pour en savoir plus, visiter la page ontario.ca/cultures (chercher **Promo-Cultures**, et cliquer sur **Industriel**, puis sur **Fibres**).

MISCANTHUS COMMUN

Exigences de production

Types de sol : Adapté à la plupart des types de sol; rendements moindres dans les sols à texture très lourde ou légère

pH du sol : 5,4 à 6,8

Cultures recommandées pour association en rotation :

Le miscanthus commun est une vivace à long terme; elle ne peut pas être utilisée en rotation. Le blé ou d'autres céréales peuvent servir de cultures-abris pendant son établissement.

Température minimale du sol : 4 °C pour le semis de rhizomes, et 10 °C pour le semis de plants ou de mottes

Température optimale de l'air : 24 à 29 °C

Date de semis la plus précoce : Début à la fin mai

Saison de croissance requise : Culture vivace (10 ans et plus)

Le miscanthus commun est une vivace cultivée depuis relativement récemment en Ontario. Elle a des utilités industrielles et agricoles : textile, biocomposites, papier, bioénergie (liquide et solide), bétail, litière de volailles et paillis pour la culture du ginseng.

Choix des cultivars

Le miscanthus commun est une graminée C4 rhizomateuse vivace originaire d'Asie. Comme la tolérance au gel et la résistance à l'hiver varient d'un cultivar à l'autre, il est important de bien choisir le cultivar en fonction de la région de croissance. Il y a peu d'activités d'amélioration génétique réalisées pour créer de nouveaux cultivars. Le site Web de l'Ontario Biomass Producers Cooperative

(www.ontariobiomass.com) présente une liste des cultivars ainsi que des renseignements sur chacun d'eux.

Étant une plante vivace, le miscanthus commun a tendance à être plus tolérant à la sécheresse que les cultures annuelles. Il entre en mode survie en période de sécheresse, mais est capable de poursuivre sa croissance rapidement une fois ce stress passé. Les baisses de rendement dues à la sécheresse ont tendance à être beaucoup moins importantes que pour les plantes annuelles.

Semis

Le miscanthus commun s'établit grâce à des rhizomes transplantés ou à des mottes de rhizomes ou de plantules généralement espacés de 1 m (3 pi) entre les rangs et au sein de ceux-ci. Le peuplement final doit être d'environ 12 000 plants/ha (4 850 plants/ac). Il faut planter des rhizomes de qualité quand la terre est suffisamment humide pour assurer un bon établissement du peuplement.

On peut commencer le semis en serre ou la multiplication quatre à huit semaines avant le semis en champ. Il vaut mieux procéder à la transplantation en champ de la mi-avril à mai, après le dernier gel. Il faut prendre des mesures pour lutter contre les mauvaises herbes au cours de l'année d'établissement, car les nouveaux plants qui lèvent les combattent mal et poussent lentement après le semis.

On met actuellement au point des techniques pour récolter les rhizomes hors du champ, ajuster leur taille et les replanter dans de nouveaux champs dans les jours suivant la récolte. Il faut empêcher les rhizomes de se dessécher entre la récolte des pieds et le repiquage.

Gestion de la fertilisation

Il existe peu de directives sur la fertilisation de cette culture en Ontario. Les études et les recommandations venant de l'extérieur de la province ne s'appliquent pas nécessairement aux conditions de croissance présentes en Ontario. Les besoins en azote varieront en fonction du lieu, du type de sol et des conditions du marché. Des études ontariennes indiquent que la culture a un rendement optimal à une dose de 80 à 115 kg/ha d'azote (70 à 100 lb/ac). Une dose d'azote trop élevée peut causer la verse chez certains cultivars, ce qui nuira à la qualité de la culture et compliquera la récolte. On ne doit pas épandre d'engrais azotés l'année du semis, car cela favorise la concurrence exercée par les mauvaises herbes. Le tableau 7-4, *Taux de prélèvement*

des éléments nutritifs chez les cultivars de miscanthus commun récoltés à l'automne et hivernant cultivés en Ontario (Engbers 2012) et comparaison avec les données d'études, montre le taux de prélèvement des éléments nutritifs associé à divers moments et méthodes de récolte.

La dose de phosphore et de potassium requise dépend de la méthode de récolte employée. Le miscanthus commun récolté à la fin de l'automne ou mis en balles au printemps à partir d'andains groupés a besoin de moins de phosphore et de potassium, puisque ces éléments nutritifs seront lessivés et sortiront de la biomasse. Si la culture est récoltée l'été ou au début de l'automne, une plus grande quantité de ces éléments nutritifs seront retirés avec la biomasse récoltée. Les teneurs en phosphore et en potassium doivent correspondre à celles recommandées dans l'analyse de sol (12 à 18 ppm de phosphore et 100 à 130 ppm de potassium). Si les teneurs sont inférieures aux valeurs cibles, il faut incorporer ces éléments nutritifs dans le sol avant le semis en utilisant des doses qui comblent le vide laissé par ce que prélève la culture tout en améliorant les teneurs au fil du temps. Voir les *Directives relatives aux engrais* au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Récolte et entreposage

Récolte

Généralement, le miscanthus commun est récolté d'une seule coupe chaque année; la méthode de récolte varie en fonction de l'utilisation finale de la culture. Le miscanthus commun est habituellement récolté à la fin de l'hiver, ou laissé sur pied pendant l'hiver avant d'être récolté au début du printemps. Le fait de laisser la culture sur pied au cours de l'hiver permet d'améliorer le séchage des tiges, la chute des feuilles et le déplacement des éléments nutritifs vers les racines et le sol par transfert et lessivage. Le miscanthus commun récolté au printemps a une teneur en eau d'environ 10 % et est de meilleure qualité, sa combustion produisant moins de mâchefers. Les récoltes automnales peuvent avoir un rendement supérieur de 25 %, mais ont une teneur en eau plus élevée au moment de la coupe. Une récolte en été ou au début de l'automne (avant la sénescence naturelle) peut réduire la résistance à l'hiver et la longévité des peuplements. On peut s'occuper de cette culture volumineuse à l'aide de matériel standard pour grandes cultures (p. ex. faucheuse à disques ou à barre de coupe, faucheuse-conditionneuse, presse à balles

Tableau 7-4 – Taux de prélèvement des éléments nutritifs chez les cultivars de miscanthus commun récoltés à l'automne et hivernant cultivés en Ontario (Engbers 2012) et comparaison avec les données d'études

Légende : – = aucune donnée disponible				
Élément nutritif	Période de récolte	Taux de prélèvement des éléments nutritifs ¹		Valeurs venant d'études ²
		Elora	Ridgetown	
Azote	Automne	40 à 80 kg/ha d'azote	20 à 25 kg/ha d'azote	20 à 60 kg/ha d'azote
	Printemps (plants ayant hiverné)	18 à 43 kg/ha d'azote	20 à 25 kg/ha d'azote	–
Phosphore	Automne	6 kg/ha de phosphore	4 kg/ha de phosphore	3 à 5 kg/ha de phosphore
	Printemps (plants ayant hiverné)	3 kg/ha de phosphore	3 kg/ha de phosphore	–
Potassium	Automne	30 à 55 kg/ha de potassium	13 kg/ha de potassium	24 à 83 kg/ha de potassium
	Printemps (plants ayant hiverné)	16 kg/ha de potassium	7 kg/ha de potassium	–
100 kg/ha = 90 lb/ac				

Source : B. Deen, Université de Guelph, 2015 (préparé par K. Withers).

¹ Les taux de prélèvement des éléments nutritifs sont présentés sous la forme d'une fourchette de valeurs qui englobe les résultats d'un essai regroupant quatre doses d'engrais azotés (0, 40, 80 et 160 kg/ha d'azote).

² Kering, et coll., 2011. Oklahoma; Prophet et Staggenborg, 2010. Kansas.

rondes ou à grandes balles rectangulaires, ensileuse). À l'heure actuelle, aucune classification n'est établie; c'est le marché qui fixe les normes de qualité.

Entreposage

Les conditions d'entreposage varient en fonction de l'utilisation finale. Le miscanthus commun est entreposé dans des silos presses, à couvert dans un bâtiment ou à l'extérieur, avec ou sans bâches. La paille de cette culture se détériore moins vite que la paille de céréales. Il faut parfois faire subir d'autres traitements à la récolte, par exemple un hachage, une agglomération ou d'autres procédés qui augmentent sa densité et améliorent son aptitude au stockage.

Lutte contre les mauvaises herbes

Comme il y a peu de moyens de lutter contre les mauvaises herbes, il faut choisir des champs où elles posent peu problème. Une destruction chimique au moyen d'un herbicide non sélectif, comme le glyphosate, au cours de l'automne précédent peut contribuer à réduire la pression exercée par les annuelles et bisannuelles d'hiver. Il est utile de recourir à la technique du faux semis sur planches d'ensemencement avant le semis quand il y a peu de moyens de lutter contre les mauvaises herbes une fois que la culture de miscanthus commun est semée et levée. Cette technique exige de travailler le sol longtemps avant le semis; on laisse alors les mauvaises herbes lever pendant quelques semaines, puis on applique un herbicide non sélectif, comme le glyphosate, pour les tuer. En semant directement dans les mauvaises herbes tuées, tout en perturbant le sol le moins possible, on permet à la culture de s'établir avant la prochaine vague de levée des mauvaises herbes. En général, il est plus difficile de contrôler les graminées adventices parce que les herbicides efficaces contre celles-ci causent des dommages inacceptables au miscanthus commun. L'ampleur des dommages varie selon le type de diaspora (semences, mottes, plants repiqués, rhizomes), ainsi que le cultivar ou le génotype.

Insectes et maladies

En Ontario, on ne connaît à l'heure actuelle aucun insecte ni aucune maladie qui occasionnent des pertes économiques dans les cultures de miscanthus commun. Il arrive toutefois que les nématodes et les lapins posent problème. Dans d'autres régions, la pyrale du maïs et le ver-gris occidental du haricot sont signalés comme insectes nuisibles. Il existe peu de produits de lutte contre les ravageurs enregistrés pour cette culture.

Pour plus d'information sur cette production culturale, visiter la page ontario.ca/cultures.

QUINOA

Exigences de production

Types de sol : Sols sableux et loams; les sols sujets à l'encroûtement peuvent considérablement réduire la germination

pH du sol : 4,8 à 8,5

Cultures recommandées pour association en rotation : Maïs, céréales

Température minimale du sol : 5 à 10 °C

Température optimale de l'air : Préfère un climat tempéré à semi-aride. Une température supérieure à 35 °C peut causer l'entrée en dormance des plants ou la stérilité du pollen

Date de semis la plus précoce : Semis précoce, comme pour les céréales de printemps

Saison de croissance requise : 90 à 120 jours

Le quinoa est un grain entier habituellement utilisé dans l'alimentation humaine (traditionnellement dans la cuisine sud-américaine) et moins couramment pour la fabrication de farine.

Semis

Le quinoa est une plante annuelle. Elle est généralement plantée en semis direct à une profondeur de 1,5 à 2,5 cm (0,5 à 1 po), dans des rangs de 38 à 76 cm (15 à 30 po) de largeur. Le taux de semis cible est de 325 000 graines/ha (131 500 graines/ac). La disponibilité des semences de certains cultivars courants est parfois limitée. Il faut choisir minutieusement le taux de semis pour tenir compte des grandes différences sur les plans de la taille des semences et du pourcentage de germination.

Gestion de la fertilisation

Il existe peu de directives sur la fertilisation de cette culture en Ontario. Selon l'expérience d'autres territoires, une dose d'azote de 100 à 120 kg/ha (90 à 105 lb/ac) suffit à assurer la croissance des plants et un rendement optimal. Les teneurs en phosphore et en potassium doivent correspondre à celles

recommandées dans l'analyse de sol (12 à 18 ppm de phosphore et 100 à 130 ppm de potassium). Si les teneurs sont inférieures aux valeurs cibles, il faut incorporer ces éléments nutritifs dans le sol avant le semis en utilisant des doses qui comblent le vide laissé par ce que prélève la culture tout en améliorant les teneurs au fil du temps. Voir les *Directives relatives aux engrais* au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Récolte et entreposage

Récolte

La récolte doit avoir lieu de 90 à 120 jours après le semis, selon le cultivar. On peut récolter le quinoa au moyen d'une moissonneuse-batteuse à bec cueilleur standard ou à sorgho. Comme les semences sont en forme de disque et font de 1,5 à 2 mm de diamètre, il faut utiliser des cribles ou des contre-batteurs de la bonne taille. Une humidité élevée ou des pluies fréquentes peuvent causer la formation de repousses ou de moisissure sur les tiges porte-graines. Faits à noter, le quinoa peut tolérer des gelées légères, et les plants s'assèchent rapidement, ce qui peut engendrer des pertes de graines. De plus, dans les essais en champ en Ontario, le rendement se situe de 134 à 240 kg/ha (120 à 215 lb/ac).

Entreposage

Peu d'études ont été menées en Ontario sur l'entreposage des récoltes de quinoa. Comme les graines ont des teneurs en huile et en protéines semblables à celles des graines de tournesol, les conditions d'entreposage de cette culture peuvent servir de ligne directrice générale pour le quinoa.

Lutte contre les ravageurs

Il n'y a aucun pesticide enregistré pour cette culture en Ontario. Pour en savoir plus sur les produits enregistrés à usage limité potentiellement utilisables, on peut obtenir un résumé de tous les produits à usage limité actifs, traditionnels et enregistrés auprès du **coordonnateur du programme des pesticides à usage limité du MAAARO**.

Mauvaises herbes

Le quinoa est fortement apparenté au chénopode blanc, une espèce de mauvaise herbe courante. Pendant leurs stades végétatifs, ces deux espèces ont une apparence très similaire; il faut donc gérer les mauvaises herbes en début de saison. Comme il y a

peu de moyens de lutter contre les mauvaises herbes, on doit utiliser des champs où elles posent peu problème. Une destruction chimique au moyen d'un herbicide non sélectif, comme le glyphosate, au cours de l'automne précédent peut contribuer à réduire la pression exercée par les annuelles et bisannuelles d'hiver.

Insectes et maladies

La punaise terne, le perce-tige tacheté (nouvelle espèce), l'altise, les pucerons (p. ex. le puceron de la betterave à sucre [*Pemphigus populivenerae*]), la cicadelle et le légionnaire de la betterave sont des ravageurs connus du quinoa.

De plus, on sait que le quinoa est touché par la pourriture de la tige (espèces de *phomas*), les taches foliaires fongiques, la fonte des semis, le mildiou (*Peronospora farinosa*), les taches foliaires (*Ascochyta hyalospora*), la pourriture grise (*Botrytis cinerea*) et la brûlure bactérienne (espèces de *Pseudomonas*).

À ce jour, la punaise terne et la pourriture de la tige causée par les phomas sont les plus importants ravageurs du quinoa en Ontario. On a pu observer un grand nombre de punaises ternes se nourrir de quinoa dans le cadre d'essais en champs réalisés dans la province; cependant, on ne connaît pas l'incidence de ces dommages sur le rendement. On sait aussi que les oiseaux se nourrissent de quinoa.

Commentaires

Pour plus d'information sur cette production culturale, visiter la page ontario.ca/cultures et chercher **Promo-Cultures**.

TOURNESOL

Exigences de production

Types de sol : Adapté à la plupart des types de sol; rendements moindres dans des sols mal drainés ou très légers

pH du sol : 6,0 à 7,5

Cultures recommandées pour association en rotation : Maïs, céréales

Cultures ne devant pas y être associées en rotation : Soya, haricots secs comestibles, canola, caméline, sarrasin

Température minimale du sol : 6 °C

Température optimale de l'air : 25 à 28 °C

Date de semis la plus précoce : Début mai

Saison de croissance requise : 100 à 120 jours

Le tournesol est une plante haute à larges feuilles ne comportant habituellement qu'une tige, avec un seul capitule par plant. Il s'agit d'une plante sujette à l'héliotropisme, c'est-à-dire que ses fleurs suivent le soleil au courant de la journée. Elle est dotée d'une racine pivotante profonde qui lui donne accès à des réserves d'éléments nutritifs et d'eau en profondeur généralement inaccessibles à de nombreuses autres cultures annuelles. Par conséquent, le tournesol s'adapte mieux à des conditions sèches que la plupart des cultures.

Le tournesol est cultivé en Ontario depuis plusieurs dizaines d'années. Dans la province, les marchés de l'alimentation pour les oiseaux et de la confiserie constituent les principaux débouchés. Autant les graines de tournesol noires que striées servent à l'alimentation des oiseaux. Actuellement, il n'existe pas de marché d'extraction de l'huile de tournesol dans la province. La superficie consacrée à cette culture en Ontario s'est maintenue à entre 500 et 1 000 ha (1 250 à 2 500 ac) au cours des 10 dernières années.

Choix des cultivars

On distingue le tournesol de type oléagineux et le tournesol de confiserie. Le type oléagineux présente une écale noire; il peut s'agir d'hybrides traditionnels, d'hybrides nains, de cultivars à teneur modérée en acide oléique ou de cultivars à pollinisation libre. Les hybrides nains parviennent à maturité 6 à 13 jours plus tôt que les hybrides traditionnels. Les cultivars de tournesol à pollinisation libre (Sunola) sont plus petits (60 à 90 cm, ou 2 à 3 pi), contiennent beaucoup d'huile et ont besoin de moins de chaleur pour arriver à maturité que les tournesols ordinaires. Cependant, ils résistent mal à la maladie.

Le tournesol de confiserie, destiné à l'alimentation humaine, a des graines aux écailles striées. Seuls les cultivars produisant les plus grosses graines sont destinés à la consommation humaine; ils sont néanmoins vulnérables aux dommages causés par les oiseaux et les insectes.

Les hybrides présentent de nombreux avantages par rapport aux cultivars à pollinisation libre, notamment les suivants :

- Hausse du rendement avoisinant les 20 %;
- Meilleure résistance aux maladies (p. ex. mildiou, rouille et verticilliose);
- Forte auto-compatibilité, ce qui réduit le besoin de pollinisateurs;
- Hauteur et teneur en eau plus uniformes à la récolte.

Des essais sur les cultivars sont effectués par l'intermédiaire de la National Sunflower Association of Canada; des renseignements à ce sujet se trouvent d'ailleurs à l'adresse www.canadasunflower.com.

Rotation

Pour éviter le développement de maladies, on ne doit pas cultiver le tournesol dans un même champ plus d'une fois tous les quatre ou cinq ans. Comme le canola, les haricots secs comestibles, le soya, le sarrasin et le chanvre sont tous des hôtes de la pourriture à sclérotés (*Sclerotinia*), il faut bien surveiller les rotations comprenant ces cultures ou les éviter carrément.

Dans certaines rotations des cultures, les repousses de tournesol peuvent poser problème. Le tournesol est vulnérable à la rémanence d'herbicides comme l'atrazine et aux sulfonyles (inhibiteurs de l'acétolactate synthase).

Travail du sol et préparation du lit de semence

Le tournesol a besoin d'un lit de semence humide et ferme, sans mauvaises herbes. On utilise généralement la méthode traditionnelle de travail du sol au lieu du semis direct, principalement à des fins de lutte contre les mauvaises herbes.

On obtient un rendement optimal dans des sols bien drainés à texture moyenne. Le tournesol pousse également bien dans un sol sableux, quoique le rendement soit moindre en cas de sécheresse. Les sols mal drainés retarderont le semis et la croissance et augmenteront la pression exercée par les maladies.

Semis

Le tournesol est semé début mai, comme le maïs, et fleurit habituellement à la fin juillet. Il a besoin d'environ 100 à 120 jours pour arriver à maturité. Les

plantules tolèrent relativement bien le gel jusqu'au stade de 4 feuilles. Le report du semis après le 15 mai peut augmenter le risque de dommages par le gel avant que le tournesol n'arrive à maturité à l'automne. Quand on ne peut éviter un semis tardif, il faut utiliser des hybrides ou cultivars hâtifs.

La profondeur de semis optimale est de 3 à 5 cm (1,25 à 2 po), et d'au plus 8 cm (3,25 po), dans la terre humide. Dans un sol lourd, ou en cas de précipitations abondantes et de grand vent, le tournesol a tendance à verser.

L'écartement des rangs idéal est de 60 à 90 cm (24 à 36 po). Il faut utiliser un semoir à maïs avec les réglages appropriés ou un semoir à céréales dont une partie des buses à semence sont obstruées. Les semoirs de précision sont à privilégier, car les semoirs à céréales donnent en général une moins bonne levée. On recommande un taux de semis de 40 000 à 60 000 plants/ha (16 000 à 24 000 plants/ac). Le peuplement final visé pour le tournesol de confiserie ne devrait pas dépasser 45 000 plants/ha (18 000 plants/ac) pour encourager la formation de grosses graines. Les rangs rapprochés (de 18 à 25 cm ou 7 à 10 po) augmentent les risques de pourriture à sclérotés. Un semis fait en direction est ou ouest peut réduire la verse, car les plants faisant face à l'est s'inclinent dans cette direction.

Gestion de la fertilisation

Pour le tournesol, la dose recommandée d'azote est de 90 kg/ha (80 lb/ac). L'engrais azoté est le plus efficace lorsqu'il est épandu en bandes latérales avant que les plants atteignent 30 cm (12 po) de hauteur. Les teneurs en phosphore et en potassium doivent correspondre à celles recommandées dans l'analyse de sol (12 à 18 ppm de phosphore et 100 à 130 ppm de potassium). Si les teneurs sont inférieures aux valeurs cibles, il faut incorporer ces éléments nutritifs dans le sol avant le semis en utilisant des doses qui comblent le vide laissé par ce que prélève la culture tout en améliorant les teneurs au fil du temps. Voir les tableaux 7-5, *Directives relatives au phosphate pour le tournesol*, et 7-6, *Directives relatives à la potasse pour le tournesol*.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir tableau 9-10, *Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques*, au chapitre 9).

Tableau 7-5 – Directives relatives au phosphate (P_2O_5) pour le tournesol

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

**Légende : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne
RF = réaction faible RTF = réaction très faible
RN = réaction nulle**

Teneur en phosphore évaluée au bicarbonate de sodium	Quantité de phosphate à appliquer
0 à 3 ppm	110 kg/ha (RÉ)
4 à 5 ppm	100 kg/ha (RÉ)
6 à 7 ppm	90 kg/ha (RÉ)
8 à 9 ppm	70 kg/ha (RÉ)
10 à 12 ppm	50 kg/ha (RM)
13 à 15 ppm	20 kg/ha (RM)
16 à 30 ppm	20 kg/ha (RF)
31 à 60 ppm	0 kg/ha (RTF)
61 ppm et plus	0 kg/ha (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application du phosphore sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, des apports de phosphate peuvent entraîner des carences en zinc dans les sols pauvres en zinc et augmenter les risques de pollution de l'eau.

Récolte et entreposage

Récolte

Habituellement, les rendements de tournesol en Ontario varient de 1 500 à 2 000 kg/ha (1 300 à 1 800 lb/ac). Les plants sont prêts lorsque l'arrière du capitule vire au jaune, et que les bractées sont brunes, dures et sèches. À ce stade, les graines ont une teneur en eau d'environ 50 %. La récolte se fait habituellement entre septembre et la mi-octobre. En récoltant rapidement la culture à maturité, on prévient les dommages causés par les oiseaux et la pourriture du capitule.

Le meilleur moyen de récolter le tournesol est d'utiliser une moissonneuse-batteuse munie d'un bec cueilleur de style occidental ou modifié. Certains producteurs obtiennent de bons résultats avec un bec cueilleur à céréales à paille, mais les pertes de graines sont alors généralement plus élevées. La plupart des moissonneuses-batteuses sont munies de longs

Tableau 7-6 – Directives relatives à la potasse (K_2O) pour le tournesol

D'après les analyses de sol reconnues par le MAAARO.

L'épandage d'éléments nutritifs est rentable lorsque l'accroissement de la valeur de la récolte créé par le gain de rendement ou de qualité dépasse le coût d'application de l'élément nutritif en question.

Si on utilise du fumier, il faut réduire les épandages d'engrais en fonction de la quantité et de la qualité du fumier (voir la section sur le fumier du chapitre 9).

**Légende : RÉ = réaction élevée RM = réaction moyenne
RF = réaction faible RTF = réaction très faible RN = réaction nulle**

Teneur en potassium évaluée à l'acétate d'ammonium	Quantité de potasse à appliquer
0 à 15 ppm	170 kg/ha (RÉ)
16 à 30 ppm	160 kg/ha (RÉ)
31 à 45 ppm	140 kg/ha (RÉ)
46 à 60 ppm	110 kg/ha (RÉ)
61 à 80 ppm	80 kg/ha (RM)
81 à 100 ppm	50 kg/ha (RM)
101 à 120 ppm	30 kg/ha (RF)
121 à 250 ppm	0 kg/ha (RTF)
251 ppm et plus	0 kg/ha (RN) ¹
100 kg/ha = 90 lb/ac	

¹ Quand la cote est « RN », l'application de potasse sous forme d'engrais ou de fumier risque de réduire le rendement ou la qualité des cultures. Par exemple, l'épandage de potasse dans des sols pauvres en magnésium peut provoquer une carence en magnésium.

plateaux s'étendant à l'avant de la barre de coupe destinés à récupérer les graines issues de l'égrenage. Pour la récolte du tournesol, on enlève généralement le rabatteur ou on le dispose plus haut. Afin de ne pas endommager les graines, on doit utiliser la plus basse vitesse de rotation du cylindre et les plus grandes ouvertures. Il faut réduire le débit d'air afin d'éviter de souffler les graines vers l'arrière.

Une gelée meurtrière facilitera le séchage d'une culture qui tarde à parvenir à maturité, mais une gelée précoce peut nuire au rendement et réduire la teneur en huile. Pour éviter les pertes occasionnées par l'égrenage et les oiseaux, il faut récolter à un moment où les graines ont une teneur en eau plus élevée pour ensuite les faire sécher.

Entreposage

Après la récolte, on doit nettoyer les graines pour enlever les impuretés. Pour un bon entreposage, les graines doivent avoir une teneur en eau de 9,5 % et moins. Au-delà de ce chiffre, il faut faire sécher les

graines immédiatement après la récolte. Le tournesol s'assèche facilement dans des séchoirs à céréales traditionnels. Fait à noter, le tournesol de confiserie peut ratatiner ou brûler. On doit donc faire sécher les graines à basse température pour éviter qu'elles soient endommagées par la chaleur ou brûlées. Les graines endommagées par la chaleur présentent une odeur et une apparence caractéristiques que les oiseaux et les consommateurs n'aiment pas, et sont par conséquent difficiles à mettre en marché. Une température de séchage élevée représente en outre un risque d'incendie; il faut laisser refroidir la récolte avant de l'entreposer. Habituellement, une cellule de stockage remplie de graines de tournesol aura un poids équivalent à 70 % de celui de la même cellule remplie de maïs.

Mise en garde

Il faut faire sécher les graines de tournesol à basse température, car les fibres et les poils fins du tégument pourraient s'enflammer en passant dans le ventilateur.

Lutte contre les mauvaises herbes

Comme les plantules de tournesol souffrent de la concurrence exercée par les mauvaises herbes, il est important de prendre des mesures au début de la saison pour maximiser le rendement de la culture. À mesure qu'il gagne en maturité, le tournesol rivalise de mieux en mieux avec les mauvaises herbes.

On peut herser les champs avant la levée des plantules pour éliminer les mauvaises herbes avant qu'elles s'établissent. Un hersage léger, à l'aide d'une herse à dents flexibles, peut éliminer les mauvaises herbes à levée tardive quand les plantules de tournesol se trouvent entre les stades de 4 à 6 feuilles. Pour éviter d'endommager la culture, il vaut mieux herser les champs par temps chaud et sec. Le sarclage des entre-rangs est aussi recommandé.

Pour obtenir de l'information sur les herbicides offerts, voir la publication 75F du MAAARO, *Guide de lutte contre les mauvaises herbes*. Les cultivars de tournesol tolérants aux herbicides permettent de détruire efficacement les mauvaises herbes par des moyens chimiques. Consulter les fournisseurs de semences pour en savoir plus.

Insectes et maladies

Les insectes ne posent généralement pas problème lorsqu'on commence la culture du tournesol dans une région donnée. Toutefois, après quelques années, des populations de ravageurs apparaissent. Il faut donc adapter les mesures de dépistage et de lutte pour maintenir la productivité de la culture.

La cochyliis rayée du tournesol est un ravageur majeur qui se nourrit des fleurons et des graines de tournesol. Ce petit insecte de couleur paille fait environ 7 mm (0,3 po) de long et arbore un triangle brun au milieu de ses ailes avant. Lorsqu'elles émergent, les larves font 1,5 mm (0,6 po) de long; elles sont pâles mais ont une tête brun foncé. Elles passent ensuite au rouge-pourpre, et finalement au vert une fois mures. À maturité, elles font environ 10 mm (0,4 po).

Les graines passent normalement dans la moissonneuse-batteuse lorsqu'elles sont endommagées par une infestation de faible intensité. Toutefois, une grave infestation peut compliquer la récolte en raison de la maturation non uniforme des capitules couplée d'une maladie secondaire.

Les graines récoltées dans des champs infectés peuvent aussi être des vecteurs de la cochyliis rayée du tournesol. Les graines de tournesol doivent être entreposées au frais et au sec. Si l'entreposage se fait sur une longue période, les larves éclosent et dévorent les graines entreposées. Il devient alors difficile de contrôler les insectes adultes qui s'échappent, qui peuvent par ailleurs contaminer les cellules de stockage, les entrepôts et les espaces de vente au détail.

La *Sclerotinia*, ou pourriture à sclérotés, est la principale maladie touchant les cultures de tournesol. On trouvera des descriptions des insectes, des animaux nuisibles, des maladies et des stratégies de dépistage et de lutte aux chapitres 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, et 16, *Maladies des grandes cultures*.

Des traitements recommandés contre les insectes, les animaux nuisibles et les maladies sont présentés dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Pour des renseignements plus détaillés sur la culture du tournesol, voir le document *The Sunflower Production Guide* de la National Sunflower Association of Canada à l'adresse www.canadasunflower.com.

PANIC ÉRIGÉ

Exigences de production

Types de sol : Adapté à la plupart des types de sol; rendements moindres dans les sols à texture très lourde ou légère

pH du sol : 6,0 à 6,8

Cultures recommandées pour association en rotation :

Le panic érigé est une vivace à long terme; il ne peut pas être utilisé en rotation. Les céréales peuvent servir de cultures-abris pendant son établissement.

Température minimale du sol : 10 °C

Température optimale de l'air : 24 à 29 °C

Date de semis la plus précoce : Fin avril à mai

Saison de croissance requise : Culture vivace (10 ans et plus)

Le panic érigé est une plante vivace cultivée depuis relativement récemment en Ontario. Elle a des utilités industrielles et agricoles : textile, biocomposites, papier, bioénergie (liquide et solide), bétail, litière de volailles et paillis pour la culture du ginseng. On l'appelle aussi panic raide, panic dressé ou panic effilé.

Rotation

Le panic érigé est une vivace à long terme utilisée dans les domaines du textile, des biocomposites, du papier, de la bioénergie et de l'alimentation animale et comme litière. Elle possède un réseau de racines étendu grâce auquel elle tolère relativement bien la sécheresse. Une fois établie, on ne peut pas effectuer de rotation des cultures pendant de nombreuses années. On obtient un rendement optimal dans les sols fertiles, mais la plante s'adapte également bien aux terres marginales où les annuelles sont moins productives.

Travail du sol et préparation du lit de semence

Les graines de panic érigé étant très petites, il faut préparer un lit de semence qui assure un bon contact entre la semence et le sol. La plante s'établit mieux dans des sols à texture moyenne bien drainés qui se réchauffent rapidement et où il y a peu de concurrence

exercée par les mauvaises herbes. Un tassage léger avant le semis permet d'en uniformiser la profondeur, et un autre après le semis permet d'améliorer le contact entre la semence et le sol.

Une culture de panic érigé qui suit le soya dans une rotation fournit un lit de semence ferme et contenant peu de résidus qui est propice au semis direct.

Semis

Le semis a généralement lieu au milieu du printemps, mais peut aussi se faire à l'automne. Le taux de semis optimal est de 9 kg/ha (8 lb/ac) ou moins de valeur culturale, où le poids des semences est de 570 000 graines/kg (260 000 graines/lb). Les semences de panic érigé ont une dormance profonde. La valeur culturale est une mesure de la quantité de graines vivantes se trouvant dans un lot de semences en vrac. La graine, très petite, nécessite un bon lit de semence pour qu'il y ait un bon contact entre la semence et le sol. Elle est habituellement plantée dans des rangs espacés de 18 cm (7 à 7,5 po), à une profondeur de 1 à 1,5 cm (0,25 à 0,5 po). La terre doit être humide pour assurer une bonne levée. Il est absolument indispensable de prendre des mesures pour lutter contre les mauvaises herbes afin d'assurer la réussite de l'établissement et de la production; c'est pourquoi une culture-abri de blé de printemps peut favoriser un meilleur établissement du peuplement, réduire la pression exercée par les mauvaises herbes et procurer un revenu au cours de la première année de culture. Le blé de printemps est préférable à l'avoine ou à l'orge, car il talle moins et ombrage moins les plantules de panic érigé. Il faut le semer au taux de semis associé à un peuplement complet. Une culture-abri peut favoriser l'établissement, mais elle risque de limiter les moyens chimiques de lutter contre les mauvaises herbes.

Gestion de la fertilisation

Il existe peu de directives sur la fertilisation de cette culture. D'après les études ontariennes existantes, une dose d'azote de 50 à 80 kg/ha (45 à 70 lb/ac) améliore le rendement économique, selon le prix du panic érigé et le potentiel de rendement prévu. On ne doit pas épandre d'engrais azotés l'année du semis, car cela favorise la concurrence exercée par les mauvaises herbes.

Dans la plupart des cas, la seule mesure requise après la récolte est l'épandage d'un engrais azoté. Si la récolte se fait au printemps, une dose d'azote de

60 à 70 kg/ha (50 à 60 lb/ac) est suffisante pour obtenir un rendement de 8 à 10 t/ha. Règle générale, il faut épandre 6 kg d'azote par tonne (12 lb d'azote par t. c.) de biomasse retirée du champ. Un apport excessif d'azote cause généralement la verse, une diminution du rendement et des problèmes au moment de la récolte. Habituellement, l'épandage est effectué entre le milieu et la fin mai, lorsque la culture est de 15 à 25 cm (6 à 10 po) de haut et qu'elle a repris sa croissance. Cette pratique contribue à réduire les pertes de cet élément nutritif quand on utilise de l'urée. Les épandages précoces ont tendance à favoriser la croissance des graminées adventices, tout particulièrement les graminées adventices annuelles et le chiendent. Les besoins en azote du panic érigé sont généralement à leur plus haut à la troisième année de la culture, car celle-ci nécessite une quantité considérable d'azote pour former l'ensemble de son large réseau de racines.

La dose de phosphore et de potassium requise dépend de la méthode de récolte employée. Le panic érigé récolté à la fin de l'automne ou mis en balles au printemps à partir d'andains groupés a besoin de moins de phosphore et de potassium, parce que ces éléments nutritifs se font lessiver et sortent de la biomasse, et les plants perdent leurs feuilles, qui contiennent souvent une grande quantité de ces éléments. Si la culture est récoltée l'été ou au début de l'automne, une plus grande quantité de ces éléments nutritifs seront retirés avec la biomasse récoltée.

La plupart des producteurs de l'Ontario coupent la culture à la fin de l'automne – la laissant passer l'hiver dans le champ sous forme d'andains étalés – et la mettent en balles au début du printemps suivant. Les producteurs de la province ont en effet découvert qu'avec cette méthode, la plante se décomposait peu pendant l'hiver : elle demeure en majeure partie gelée et reste sur le chaume, d'une hauteur de 10 cm (4 po), ce qui empêche les andains étalés d'entrer en contact avec le sol. Si on récolte la biomasse au printemps, il n'y a habituellement pas lieu d'employer des engrais de phosphore et de potassium dans des sols ayant une fertilité moyenne à élevée. De 90 à 95 % du potassium que contient le panic érigé se fait lessiver et se retrouve dans le sol quand on laisse la culture dans le champ l'hiver. La culture a besoin de très peu de potassium chaque année lorsqu'on la fait hiverner, puisque le panic érigé sec contient à peine 0,1 % de potassium environ. Une biomasse de 10 t/ha (4 t. c./ac) de panic érigé prélève seulement 10 kg/ha (9 lb/ac) de

potassium dans le champ. Les producteurs peuvent prendre régulièrement des échantillons de sol pour faire analyser les teneurs en phosphore et en potassium.

Les teneurs en phosphore et en potassium doivent correspondre à celles recommandées dans l'analyse de sol (12 à 18 de phosphore et 100 à 130 de potassium). Si les teneurs sont inférieures aux valeurs cibles, il faut incorporer ces éléments nutritifs dans le sol avant le semis en utilisant des doses qui combleront le vide laissé par ce que prélève la culture tout en améliorant les teneurs au fil du temps. Voir les *Directives relatives aux engrais* au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Récolte et entreposage

Récolte

La gestion de la récolte varie en fonction de l'utilisation finale prévue. Si on récolte le panic érigé deux fois dans une même année, ou avant la sénescence naturelle, le peuplement risque de se dégrader. On peut récolter la culture l'été si les conditions du marché le justifient, mais il ne faut pas le faire à la première année de croissance, ni chaque année.

On peut utiliser du matériel standard pour grandes cultures, comme des faucheuses à barre de coupe ou à disques, des faucheuses-conditionneuses, des presses à balles rondes ou à grandes balles rectangulaires ou des ensileuses.

Si la culture de panic érigé sert de litière, de pâture ou de fourrage grossier pour le bétail, on peut la faire paître pendant la saison de croissance, ou la couper pour la production de foin en juillet ou août et faire éventuellement deux récoltes. Quand on l'utilise pour la production d'éthanol cellulosique, le panic érigé est souvent récolté à l'automne vu que les rendements sont optimaux à cette période, mais sa teneur en eau peut alors être trop élevée et ne pas convenir à un entreposage à long terme. Quand il est employé comme biocarburant, une coupe et un andainage à la fin de l'automne ainsi qu'une récolte au printemps permettent d'obtenir un produit de qualité optimale pour ce marché. Une récolte au printemps sera assortie d'une diminution des rendements de l'ordre de 15 à 25 %, mais la culture aura une meilleure qualité de combustion.

Le panic érigé n'est habituellement pas récolté durant l'année de son établissement; on attend au printemps suivant pour que la plante soit plus résistante à l'hiver. Le rendement prévu durant l'année d'établissement correspond à environ le tiers du potentiel d'un peuplement complet, et l'année suivante, à environ les deux tiers. Une fois établi et bien entretenu, un peuplement de panic érigé demeure productif indéfiniment et peut donner une récolte de 8 à 12 t/ha de matière sèche à l'automne.

Entreposage

Ce sont les besoins du marché qui déterminent le type d'entreposage nécessaire. Des essais sont réalisés sur l'entreposage du panic érigé dans des silos presses, à couvert dans un bâtiment ou à l'extérieur, avec ou sans bâches. Les résultats ne sont pas concluants, mais il est important de souligner que cette culture résiste mieux aux intempéries que la paille des céréales.

Il peut être nécessaire de moudre le panic érigé et de le comprimer ou de le transformer en granules pour faciliter son transport ou selon son utilisation finale. Par ailleurs, on poursuit actuellement les recherches sur d'autres méthodes de traitement (p. ex. torréfaction) visant à augmenter la densité et l'aptitude au stockage de cette culture.

Insectes et maladies

L'observation des ravageurs de cette culture en Ontario se fonde sur une expérience limitée. À ce jour, c'est la rouille (espèces de *Puccinia*) qui cause le plus de problèmes dans la province. Le panic érigé est aussi touché notamment par les maladies et insectes nuisibles suivants : charbon des inflorescences (*Tilletia maclagani*), virus (virus de la jaunisse nanisante de l'orge, virus de la mosaïque du panic), sauterelles, cicadelles, pucerons, perce-tiges tachetés et vers fil-de-fer.

Lutte contre les mauvaises herbes

Il est primordial de prendre des mesures pour lutter contre les mauvaises herbes avant l'établissement et durant les deux premières années afin d'obtenir un peuplement adéquat, puisque les mauvaises herbes rivaliseront avec les plants en cours d'établissement. Il n'y a pas d'herbicides enregistrés pour cette culture, d'où l'importance d'identifier les mauvaises herbes, d'appliquer un herbicide en pré-semis et de recourir aux méthodes de travail du sol.

Pour en savoir plus sur cette production culturale, consulter les ressources suivantes :

- Ontario Biomass Producers Cooperative (www.ontariobiomass.com);
- *Switchgrass Production in Ontario: A Management Guide* (www.reap-canada.com);
- ontario.ca/cultures.

Autres cultures sources de biomasse

Parmi les autres potentielles cultures sources de biomasse en Ontario, citons les graminées vivaces (Barbon de Gérard, spartine pectinée, hierochloé odorante) et les graminées annuelles (millet perlé, sorgho, sorgho herbacé). Voir la section *Fourrages annuels* au chapitre 3, *Cultures fourragères*.

8. Gestion assurant la santé du sol

La gestion des sols fait partie intégrante de tout système de production culturale. Même en ayant recours aux meilleures pratiques culturales, il n'est pas certain qu'on obtiendra toujours une récolte satisfaisante dans un champ où la gestion des sols laisse à désirer. Gérer en assurant la santé du sol est le seul moyen de veiller à ce que les champs aient un rendement économique maximal en continu, en particulier les années où les conditions météorologiques sont difficiles. Comme pour le matériel acheté qui nécessite un entretien régulier, il faut protéger le sol de l'érosion et y ajouter de la matière organique pour alimenter les organismes présents dans le sol et favoriser le recyclage des éléments nutritifs.

Ce chapitre indique comment :

- assurer et préserver la santé du sol;
- prévenir la dégradation du sol;
- évaluer les composantes d'un sol sain.

Les concepts et les exemples qui permettront d'améliorer la connaissance de la santé du sol, d'évaluer la santé actuelle du sol et d'exposer les principes fondamentaux du maintien de la productivité économique des cultures seront illustrés en fonction du contexte en Ontario.

Les sols sains sont productifs

La santé du sol est souvent décrite comme la capacité du sol à assurer la croissance des cultures sans se dégrader ou nuire à l'environnement. Elle est évaluée au moyen d'indicateurs physiques (stabilité des agrégats, capacité de rétention de l'eau disponible, structure du sol, compactage du sol), chimiques (teneurs en éléments nutritifs, pH du sol) et biologiques (matière organique du sol, respiration microbienne, présence d'organismes vivants dans le sol). En bref, un sol sain :

- présente une bonne structure, est peu compacté et résiste à l'encroûtement;
- se draine bien, favorise la circulation de l'eau, et retient bien l'eau;
- présente un pH ainsi qu'une teneur en éléments nutritifs et en matière organique optimaux;
- résiste à l'érosion éolienne et hydrique ainsi qu'à l'érosion causée par le travail du sol;

- contient des vers de terre en abondance;
- dégage une bonne odeur;
- décompose rapidement les résidus;
- favorise la levée de jeunes pousses et la croissance des racines;
- produit une culture dont la couleur et la croissance sont uniformes;

La plupart des caractéristiques d'un sol sain sont associées directement ou indirectement à la matière organique du sol.

Bonne gestion des sols

Le bon moyen de préserver la santé et la productivité du sol varie d'une exploitation agricole à l'autre, tout comme les combinaisons de cultures et les types de sol. Certains producteurs travaillent peu le sol, beaucoup font une bonne rotation, et d'autres épandent du fumier et d'autres matières organiques pour améliorer le sol. Un sol bien géré est un sol fertile, non compacté et dont la bonne structure l'empêche de s'encroûter. C'est un sol où l'air peut s'infiltrer et l'eau peut s'introduire et circuler. Son rendement économique est meilleur, car les rendements sont systématiquement plus élevés même si les intrants sont réduits.

Une gestion globale

La cinquième génération à s'occuper de l'exploitation familiale s'efforce de garder le sol en excellent état pour la génération suivante.

Stratégie

- Rotation de sept cultures (grandes cultures, horticulture et cultures couvre-sol comme le trèfle rouge).
- Épandage de fumier et de compost en vue d'augmenter la teneur en matière organique.
- Travail réduit du sol pour épandre du fumier et gérer des cultures laissant beaucoup de résidus.

Résultat

- Grâce à la gestion minutieuse de tous les aspects liés au sol, les champs sont productifs et ont des rendements de 12 t/ha (190 bo/ac) pour le maïs, et ce, sans utilisation d'engrais azotés commerciaux.

Éloigner la machinerie des racines

Ce gagnant d'un défi lié au rendement du maïs attribue sa victoire à son système de gestion du sol.

Stratégie

- Culture en semis direct conjuguée à un nombre limité de passages de la machinerie.
 - La machinerie ne passe pas dans les rangs, ce qui limite le compactage.
 - Les cultures en semis direct réduisent la perturbation et la perte d'humidité des loams sableux.
 - Les grands volumes de résidus de culture alimentent les vers de terre et les organismes présents dans le sol.
 - La prolifération des mycorhizes dans les sols non perturbés améliore l'absorption du phosphore et de l'eau.

Résultat

- Grâce à un meilleur recyclage des éléments nutritifs, à une capacité accrue de rétention de l'eau et au dégagement de la zone des racines, les champs ont un rendement élevé, et ce, malgré une réduction des intrants.

Les animaux : un plus pour la santé du sol

Cette ferme laitière est une championne de la diversité.

Stratégie

- Le fumier des vaches laitières procure des éléments nutritifs et de la matière organique.
- On prolonge et diversifie la rotation en y intégrant des cultures fourragères.
- Les cultures fourragères contribuent à maintenir ou à améliorer la teneur en matière organique.
- Toutes les cultures se font en semis direct pour préserver la santé du sol et la diversité des organismes qui y vivent.

Résultat

- Les pratiques de gestion du sol rapportent en améliorant les rendements et la capacité d'adaptation lorsque les conditions météorologiques sont difficiles.

Comment créer un sol sain

Une gestion efficace de la matière organique du sol est fondamentale pour la santé du sol. On distingue trois types de matière organique : la matière organique

active, la matière modérément stable et la matière très stable. Consulter à ce sujet la section *Importance de la matière organique*. C'est sur la matière organique active que la gestion a le plus d'effet. Les réserves de matière organique dans le sol fluctuent sans cesse. Si l'apport de matière organique dans le sol est supérieur aux pertes, la teneur en matière organique du sol augmente. Lorsque les pertes excèdent les gains, les quantités de matière organique diminuent.

Le sol et sa gestion font partie du système global de production culturale. Le sol constitue aussi un pilier de l'écosystème agricole. Tout changement apporté au fil des ans au système de production culturale a des effets à long terme sur tous les autres systèmes. Si l'on prend des mesures pour améliorer la qualité du sol, il faut tenir compte de ces changements et de la façon dont ils pourraient influencer d'autres composantes du système de production culturale.

Rotation des cultures

La rotation des cultures fait partie intégrante de toute production culturale. Son principal avantage est de faire augmenter les rendements. Une rotation des cultures bien planifiée :

- contribue à maintenir ou à améliorer la structure du sol et la teneur en matière organique;
- protège le sol contre l'érosion;
- améliore la capacité du sol à s'adapter à des conditions météorologiques extrêmes;
- permet de récupérer l'azote résiduel provenant des légumineuses;
- facilite la lutte contre les insectes et les maladies;
- réduit la pression exercée par les mauvaises herbes;
- étale la charge de travail.

Toute rotation des cultures repose sur la règle de base suivante : la même culture ne devrait jamais se succéder à elle-même. La monoculture mènera au développement de maladies et à la prolifération des insectes nuisibles à cette culture, et fera réduire les rendements. Plus la même culture est semée souvent dans un champ, plus les répercussions seront importantes. Par exemple, il est de plus en plus courant de cultiver le soja deux années de suite et plus. Il se peut que la plus grande conséquence de plusieurs années successives de cultures de soja ait été d'accélérer la propagation du nématode à kyste du soja (NKS). Pour en savoir plus et obtenir de l'information sur les baisses de rendement potentielles, voir la section *Nématode à kyste du soja* du chapitre 16, *Maladies*

des grandes cultures. Le nombre croissant d'années de culture du soya dans la rotation augmente également la sensibilité à l'érosion des sols de l'Ontario. Le tableau 8-1, *Effets du travail du sol et de la rotation sur le rendement du soya*, indique le rendement moyen du soya lorsqu'on utilise le semis direct à long terme et la méthode traditionnelle de travail du sol. Le tableau 8-2, *Effet de la rotation des cultures et du travail du sol sur le rendement du maïs*, montre quant à lui le rendement moyen du maïs lorsqu'on utilise le semis direct à long terme (établi en 1995) et la méthode traditionnelle de travail du sol.

Dans les rotations de maïs et de soya, la structure des sols peut se révéler pire que celle des sols de monoculture de maïs. Par exemple, l'érosion qui suit un orage intense en juin à la première année de la culture de maïs suivant deux années de soya est souvent deux fois plus importante qu'après la culture de maïs, ou de blé contre-ensemencé de trèfle rouge ou de la luzerne. Une structure du sol relativement médiocre après deux ans de culture de soya augmente non seulement la sensibilité à l'érosion, mais réduit aussi la porosité du sol (la capacité du sol à laisser l'eau de pluie s'infiltrer). Cette infiltration réduite augmente à son tour le risque d'érosion, de formation de flaques d'eau et de manque d'humidité dans le sol, autant de problèmes pouvant nuire au rendement, surtout les années où les conditions météorologiques sont difficiles.

La rotation des cultures atteint son efficacité maximale lorsque les producteurs font succéder des cultures de familles différentes. Les deux familles principales sont les graminées (monocotylédones) – qui comprennent les graminées fourragères, les céréales et le maïs – et les latifoliées (dicotylédones), comme le soya, le haricot blanc, la luzerne et le canola.

La rotation des cultures permet de stabiliser le rendement pendant les années difficiles

Quand elle est diversifiée, la rotation des cultures augmente les rendements, de même que les effets de la rotation. Selon une étude sur des essais à long terme de méthodes de travail du sol et de rotations menés à Elora, en Ontario, une bonne rotation améliore considérablement les rendements pendant les périodes de croissance sèches et humides. La figure 8-1, *Effets sur le rendement de la rotation des cultures et de la monoculture de maïs au cours des années où les précipitations sont supérieures ou inférieures à la moyenne*, montre le rendement supérieur que procurent trois rotations comparativement à la monoculture de maïs de 1984 à 2012. Les barres ombragées indiquent l'écart de rendement, et la ligne, la variation des précipitations. Les années où les précipitations étaient faibles, les rendements des rotations étaient souvent supérieurs de plus de 700 kg/ha (630 lb/ac) à ceux de la monoculture, et lorsque les précipitations étaient élevées, les gains dépassaient souvent les 400 kg/ha (360 lb/ac).

Tableau 8-1 – Effets du travail du sol et de la rotation sur le rendement du soya

Rendement moyen du soya cultivé en semis direct à long terme (établi en 1995) dans des sols travaillés traditionnellement dans le cadre d'une rotation des cultures sur un loam argileux Brookston à Ridgetown, en Ontario, de 2009 à 2014.

Un écart de moins de 0,27 t/ha (4 bo/ac) entre deux méthodes de travail du sol est sans importance sur le plan statistique.

LÉGENDE : tr = contre-ensemencé de trèfle rouge

Rotation des cultures	Méthode de travail du sol		Moyenne entre les deux méthodes
	Traditionnelle	Semis direct	
Monoculture de soya	3,74 t/ha (55,6 bo/ac)	4,06 t/ha (60,3 bo/ac)	3,90 t/ha (58,0 bo/ac)
Maïs et soya	3,87 t/ha (57,6 bo/ac)	4,14 t/ha (61,5 bo/ac)	4,01 t/ha (59,6 bo/ac)
Blé d'automne et soya	4,35 t/ha (64,7 bo/ac)	4,55 t/ha (67,6 bo/ac)	4,45 t/ha (66,2 bo/ac)
Blé d'automne (tr) et soya	4,49 t/ha (66,8 bo/ac)	4,34 t/ha (64,6 bo/ac)	4,42 t/ha (65,7 bo/ac)
Blé d'automne, soya et maïs	4,37 t/ha (65,0 bo/ac)	4,42 t/ha (65,7 bo/ac)	4,40 t/ha (65,4 bo/ac)
Blé d'automne (tr), soya et maïs	4,51 t/ha (67,0 bo/ac)	4,31 t/ha (64,1 bo/ac)	4,41 t/ha (65,6 bo/ac)
Moyenne des différentes rotations des cultures	4,22 t/ha (62,8 bo/ac)	4,30 t/ha (64,0 bo/ac)	4,26 t/ha (63,4 bo/ac)

Tableau 8-2 – Effet de la rotation des cultures et du travail du sol sur le rendement du maïs

Rendement moyen du maïs cultivé en semis direct à long terme (établi en 1995) dans des sols travaillés traditionnellement et ayant une teneur en azote de 120 et 180 kg/ha dans le cadre d'une rotation des cultures sur un loam argileux Brookston à Ridgeway, en Ontario, de 2010 à 2014.

Un écart de moins de 0,38 t/ha (6 bo/ac) entre deux méthodes de travail du sol est sans importance sur le plan statistique.

LÉGENDE : tr = contre-ensemencé de trèfle rouge

Rotation des cultures	Méthode de travail du sol		Moyenne entre les deux méthodes
	Traditionnelle	Semis direct	
Monoculture de maïs	9,48 t/ha (151 bo/ac)	8,35 t/ha (133 bo/ac)	8,91 t/ha (142 bo/ac)
Maïs et soya	9,10 t/ha (145 bo/ac)	10,17 t/ha (162 bo/ac)	9,63 t/ha (153 bo/ac)
Blé d'automne, soya et maïs	10,61 t/ha (169 bo/ac)	10,86 t/ha (173 bo/ac)	10,73 t/ha (171 bo/ac)
Blé d'automne (tr), soya et maïs	11,67 t/ha (186 bo/ac)	11,30 t/ha (180 bo/ac)	11,49 t/ha (183 bo/ac)
Moyenne des différentes rotations des cultures	10,22 t/ha (162,8 bo/ac)	10,17 t/ha (162,0 bo/ac)	11,65 t/ha (185,6 bo/ac)

Source : D. Hooker, Université de Guelph, campus de Ridgeway.

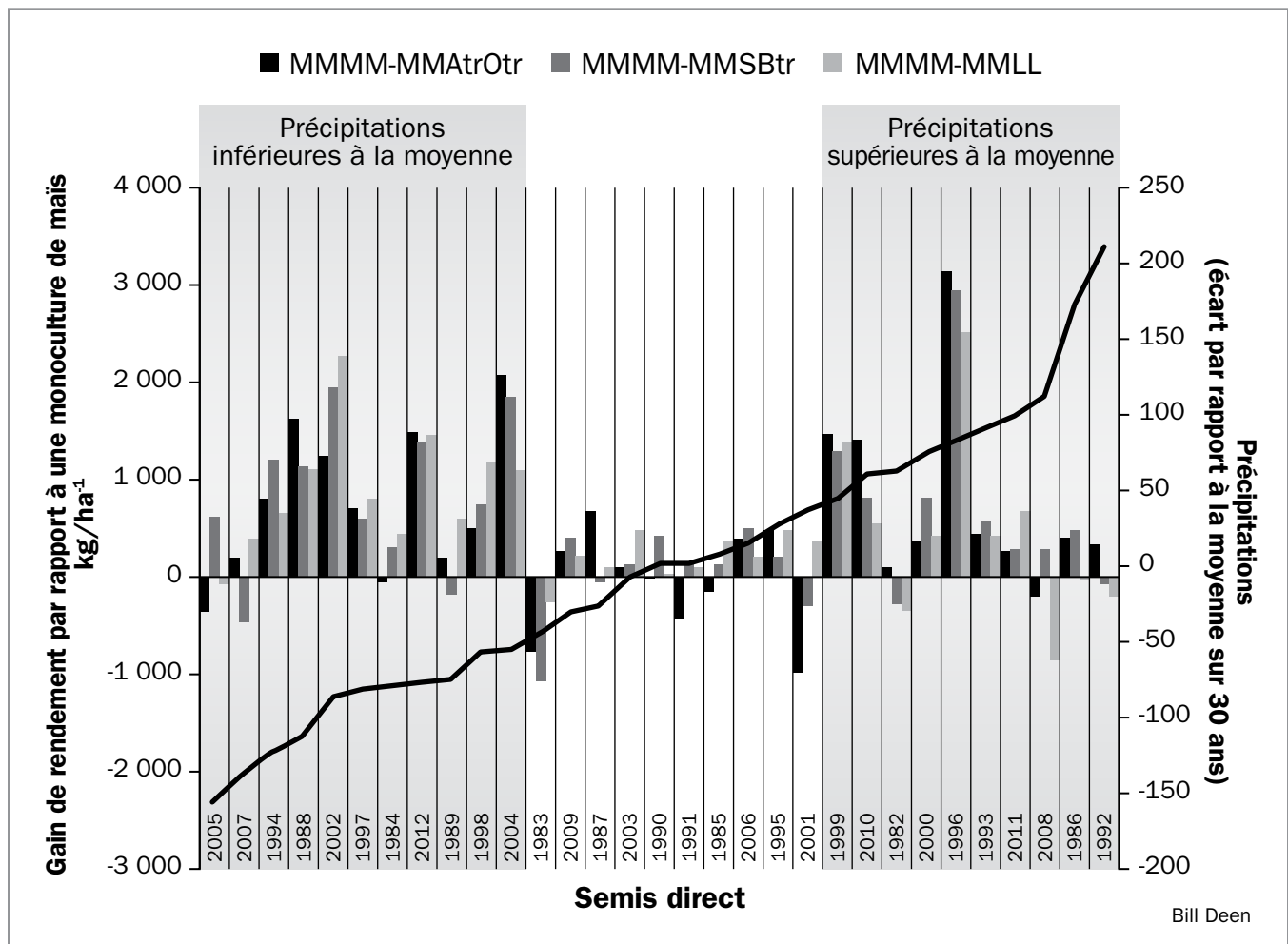


Figure 8-1 – Effets sur le rendement de la rotation des cultures et de la monoculture de maïs au cours des années où les précipitations sont supérieures ou inférieures à la moyenne

Avantages d'une rotation diversifiée (blé ou cultures couvre-sol)

- Qualité et stabilité des rendements, en particulier en cas d'humidité extrême.
- Augmentation de la séquestration de carbone et réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- Le blé d'automne est une culture couvre-sol et un créneau potentiel.
- Possibilité accrue d'éliminer la biomasse de manière viable.
- Utilisation plus efficace des ressources (p. ex. azote).
- Augmentation de la rentabilité.

La rotation des cultures augmente la teneur en matière organique du sol

Une rotation des cultures diversifiée augmente la quantité de carbone (matière organique) présente dans le sol. Dans les parcelles cultivées en rotation à long terme au Centre de recherches d'Elora de l'Université de Guelph, il y avait beaucoup plus de carbone dans le sol lorsque les rotations étaient plus complexes, en particulier quand des cultures couvre-sol comme le trèfle rouge et des plantes vivaces étaient intégrées. Voir à ce sujet la figure 8-2, *Effet d'une rotation à long terme sur la teneur en carbone du sol*.

Les systèmes racinaires fasciculés des céréales et des plantes fourragères (y compris le trèfle rouge) sont excellents pour la structure du sol. Des études ont démontré que les avantages d'inclure du blé, surtout du blé avec du trèfle rouge, peuvent se poursuivre au-delà de l'année suivante. Le blé contre-ensemencé de trèfle rouge a généré un gain moyen du rendement du maïs de 0,54 t/ha (8 bo/ac) comparativement à des rotations triennales sans trèfle rouge.

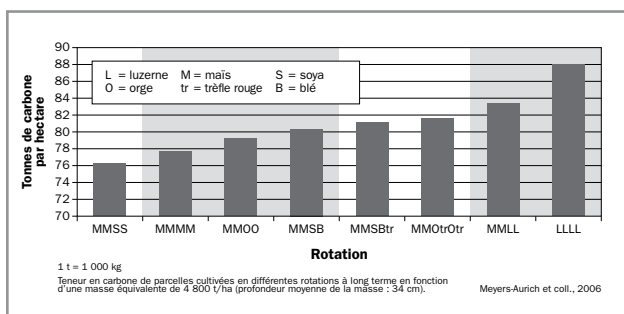


Figure 8-2 – Effet d'une rotation à long terme sur la teneur en carbone du sol

La rotation des cultures augmente la productivité et le recyclage des éléments nutritifs

Selon une étude de près de 20 ans sur la rotation des cultures et le travail du sol, la rotation des cultures augmente substantiellement la productivité et le recyclage des éléments nutritifs, comme il est indiqué à la figure 8-3, *Effet de l'azote et de la santé du sol sur le rendement du maïs*. La présence d'azote pouvant être minéralisé est un indicateur de la capacité de la flore microbienne du sol à transformer (minéraliser) l'azote provenant de résidus organiques complexes en ammonium biodisponible.

Les cultures couvre-sol jouent un rôle important dans les rotations des cultures et peuvent s'y intégrer de différentes manières. Le moyen le plus facile de les inclure est de les faire succéder à des cultures de blé d'automne ou d'autres céréales, de haricots secs comestibles, de maïs à ensilage et d'autres plantes à récolte hâtive. On étudie actuellement la possibilité d'intégrer des cultures couvre-sol aux cultures de maïs.

L'application mobile *Cash Cropper*, disponible à l'adresse gfo.ca/apps, permet aux producteurs de comparer la rentabilité nette et les besoins en engrais de différentes rotations des cultures. Cette application est alimentée par plus de 30 années de données tirées d'études menées par l'Université de Guelph touchant à l'effet de différentes rotations sur le rendement des cultures. Elle se fonde sur les valeurs de rendement par défaut des registres d'assurance-récolte de l'Ontario et sur les coûts de production par défaut du MAAARO.

Au moment de choisir des cultures, il faut tenir compte de toutes les facettes économiques de la rotation plutôt que d'une seule culture. Consulter la publication 60F du MAAARO, *Budgets de grandes*

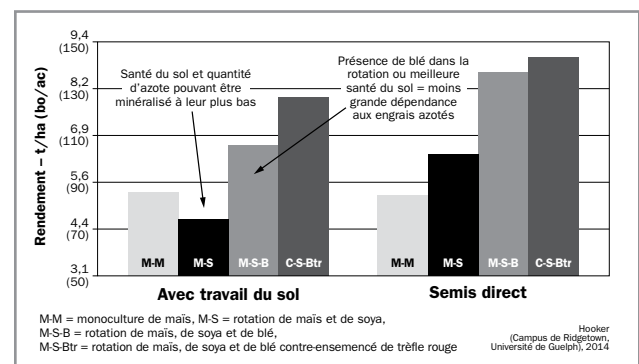


Figure 8-3 – Effet de l'azote et de la santé du sol sur le rendement du maïs

cultures, pour obtenir des estimations des coûts, ou visiter le site Web du MAAARO à l'adresse omafra.gov.on.ca/french/busdev/agbusdev.html.

Il faut être conscient de tout problème potentiel d'insectes ou de maladies qui pourrait toucher les cultures plus tard dans la rotation. Les cultures couvre-sol intégrées à la rotation peuvent aussi avoir une incidence positive ou négative sur les maladies et les ravageurs. Pour de plus amples renseignements, consulter les sections sur les différentes cultures couvre-sol, ou les chapitres 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*, ou 16, *Maladies des grandes cultures*.

Cultures couvre-sol

L'utilisation de cultures couvre-sol améliore la santé du sol. Des adeptes de longue date du semis direct ont constaté que l'ajout de cultures couvre-sol dans leur rotation permettait d'introduire beaucoup plus de carbone dans le sol.

Il faudrait envisager l'utilisation de cultures couvre-sol dans le cadre d'une rotation globale. Ces cultures jouent un rôle dans l'entretien régulier du sol, en particulier dans les sols légers à faible teneur en matière organique, ou dans les champs où l'intervalle entre les rotations est court et où l'apport de résidus de culture ou de fumier est faible. Les cultures couvre-sol peuvent contribuer à protéger adéquatement le sol hors de la saison de croissance et après les semis, ce qui aide à éviter que le sol se retrouve dans les cours d'eau. Pour sélectionner la culture couvre-sol qui convient le mieux, il faut déterminer à l'avance son utilité et ses avantages potentiels. Le tableau 8-3 *Cultures couvre-sol recommandées selon leur fonction* montre diverses raisons d'inclure des cultures couvre-sol dans une rotation et dresse la liste de cultures potentielles en fonction de leur utilité.

Tableau 8-3 – Cultures couvre-sol recommandées selon leur fonction

Fonction de la culture couvre-sol	Cultures couvre-sol recommandées
Production d'azote	Légumineuses : trèfle rouge et autres sortes de trèfle, luzerne, pois, vesce.
Récupération d'azote	Prélèvement à l'automne : radis oléagineux et autres brassicacées, avoine, orge. Prélèvement en hiver et au printemps : seigle, blé d'automne.
Élimination des mauvaises herbes	Plantes à croissance rapide qui donnent de l'ombrage : radis oléagineux et autres brassicacées, seigle d'automne, sarrasin.
Amélioration de la structure du sol	Plantes au système racinaire fasciculé : avoine, orge, seigle, blé, triticales, ray-grass ou trèfle.
Réduction de la compaction	Les racines de la plupart des cultures couvre-sol contribueront à réduire la compaction. Compaction modérée : radis. Si le sol est très compacté, il faut des plantes aux racines pivotantes vigoureuses et denses qui croissent avec le temps : luzerne, mélilot.
Apport de biomasse dans le sol	Semis d'automne : céréales de printemps, radis oléagineux. Semis d'été : millet, sorgho, sorgho herbacé, sorgho-Soudan.
Protection contre l'érosion (éolienne et hydrique)	La plupart des cultures couvre-sol, une fois bien établies : seigle d'automne, blé d'automne, ray-grass, céréales de printemps semées tôt.
Culture fourragère d'urgence	Automne : avoine, orge, blé, seigle, brassicacées fourragères. Été : millet, sorgho, sorgho herbacé, sorgho-Soudan. Voir le tableau 3-2 pour davantage de plantes fourragères annuelles.
Élimination des nématodes	Moutarde Cutlass, sorgho-Soudan (Sordan 79, Trudan 8,) millet perlé (CFPM 101), souci (Crackerjack, Creole), radis oléagineux (Adagio, Colonel). Ce ne sont pas toutes les cultures couvre-sol qui peuvent éliminer les populations de nématodes; certaines sont des plantes-hôtes. Il existe des interactions précises entre le type de couvre-sol et l'espèce de nématode. Pour être plus efficaces, les cultures couvre-sol doivent être exemptes de mauvaises herbes et peuvent exiger certaines méthodes d'entretien.

Choix d'une culture couvre-sol

Il existe souvent plusieurs choix de cultures couvre-sol pour un objectif donné. Il faut choisir la ou les cultures les mieux adaptées aux besoins de l'exploitation et au style de gestion utilisé. Le tableau 8-4, *Choix d'une culture couvre-sol*, présente les facteurs dont il faut tenir compte quand on sélectionne une culture couvre-sol. Consulter aussi l'outil de sélection de la division ontarienne du Midwest Cover Crop Council à l'adresse <http://mccc.msu.edu/selector-tool/>.

Caractéristiques des cultures couvre-sol

On trouvera au tableau 8-5, *Caractéristiques des cultures couvre-sol cultivées en Ontario*, des renseignements sur les cultures couvre-sol les plus cultivées. Pour plus de renseignements sur certaines graminées ou légumineuses utilisées comme couvre-sol, voir le chapitre 3, *Cultures fourragères*. Beaucoup de cultures couvre-sol peuvent aussi être utilisées dans les pâturages, souvent pour prolonger leur utilisation pendant l'hiver ou pour servir de fourrages d'urgence en cas de sécheresse. Voir la publication 19F, *La culture des pâturages*, pour connaître les possibilités d'utilisation dans les pâturages, les précautions à prendre et des renseignements précis concernant chaque culture couvre-sol.

Tableau 8-4 – Choix d'une culture couvre-sol

Points à considérer	Remarques
Caractéristiques de croissance	Quelle est la croissance requise? • Croissance vigoureuse à la fin de l'automne • Croissance rapide au début du printemps Faut-il un système racinaire profond?
Survie hivernale	La culture couvre-sol doit-elle survivre à l'hiver? La culture couvre-sol convient-elle au type de sol et au calendrier de production si elle est détruite par le gel et asséchée à l'arrivée du printemps?
Mesures de contrôle possibles	La culture couvre-sol peut-elle se transformer en mauvaise herbe? Comment la maîtriser? Quels choix s'offrent pour la maîtriser?
Sensibilité aux herbicides	Dans quelle mesure la culture couvre-sol est-elle sensible aux résidus d'herbicides appliqués sur les autres cultures de la rotation?
Coût et disponibilité de la semence	Quel est le coût de la semence? Cette dernière est-elle disponible?
Établissement	Quelle est la meilleure façon d'effectuer les semis? Faut-il du matériel différent pour planter la culture couvre-sol? La culture est-elle facile à implanter? Peut-elle couvrir densément le sol?
Gestion des éléments nutritifs	La culture couvre-sol produit-elle de l'azote, ou a-t-elle besoin d'azote pour bien croître? Quand la culture couvre-sol libérera-t-elle de l'azote? Ce moment concorde-t-il avec les besoins de la culture suivante? La culture couvre-sol est-elle efficace pour capter l'azote dans le sol?
Lutte contre les ravageurs	À quelle famille appartient la culture couvre-sol? Appartient-elle à la même famille que d'autres cultures de la rotation? Peut-elle amener des problèmes de ravageurs?

Tableau 8-5 – Caractéristiques des cultures couvre-sol cultivées en Ontario

LÉGENDE : F = fixation P = prélèvement									
Espèce	Taux de semis³	Moment habituel des semis	Température minimale de germination	Azote¹	Survie hivernale	Amélioration de la structure du sol	Élimination des mauvaises herbes	Croissance	Racines
Graminées									
Céréales de printemps	30 à 90 kg/ha	Mi-août à sept.	9 °C	P	Détruites par le gel intense	Bonne	Bonne	Très rapide	Fasciculées
Blé d'automne	60 à 120 kg/ha	Sept. et oct.	3 °C	P	Très bonne	Bonne	Bonne	Rapide	Fasciculées
Seigle d'automne	60 à 120 kg/ha	Sept. et oct.	1 °C	P	Très bonne	Très bonne	Très bonne	Très rapide	Fasciculées
Sorgho-Soudan	15 à 25 kg/ha	Juin à août	18 °C	P	Détruit par le gel	Bonne	Bonne/moyenne	Très rapide	Robustes Fasciculées
Millet perlé	9 à 20 kg/ha	Juin à août	18 °C	P	Détruit par le gel	Bonne	Bonne/moyenne	Rapide	Robustes Fasciculées
Ray-grass	12 à 25 kg/ha	Avril et mai ou août et début sept.	4,5 °C	P	L'annuel et l'Italien survivent en partie; le vivace survit.	Très bonne	Moyenne/faible	Lent à s'établir	Fasciculées
Dicotylédones légumineuses									
Vesce velue	20 à 30 kg/ha	Août	15,6 °C	F/P	Oui	Bonne	Moyenne/faible	Lent à s'établir	Pivotantes, et racines secondaires fasciculées
Trèfle rouge	8 à 10 kg/ha	Mars et avril	5 °C	F/P	Oui	Bonne	Moyenne	Lent à s'établir	Pivotantes faibles Fasciculées
Mélicot	8 à 10 kg/ha	Mars et avril	5,5 °C	F/P	Oui	Bonne	Moyenne	Lent à s'établir	Pivotantes robustes
Soya	40 à 50 kg/ha	Août	8 °C	F/P	Détruit par le gel	Faible	Bonne/moyenne	Rapide	Pivotantes
Trèfle incarnat	8 à 10 kg/ha	Mai à août	6 °C	F/P	Ne survit pas toujours à l'hiver	Bonne	Moyenne	Lent à s'établir	Fasciculées
Pois des champs	40 à 100 kg/ha	Août	5 °C	F/P	Détruits par le gel intense	Faible	Bonne/moyenne	Rapide	Pivotantes faibles Fasciculées
Dicotylédones non légumineuses									
Sarrasin	50 à 60 kg/ha	Juin à août	10 °C	P	Détruit par le premier gel	Faible	Très bonne	Rapide	Pivotantes faibles Fasciculées
Radis	3 à 10 kg/ha (selon le type et la méthode de semis)	Mi-août à début septembre	7 °C	P	Détruit par le gel intense	Moyenne	Très bonne	Rapide	Pivotantes moyennes ²

Suite à la page suivante

Suite de la page précédente

Tableau 8-5 – Caractéristiques des cultures couvre-sol cultivées en Ontario

LÉGENDE : F = fixation P = prélèvement									
Espèce	Taux de semis³	Moment habituel des semis	Température minimale de germination	Azote¹	Survie hivernale	Amélioration de la structure du sol	Élimination des mauvaises herbes	Croissance	Racines
Autres brassicacées, comme le radis fourrager	Selon les espèces	Mi-août à début sept.	5 à 7 °C	P	Selon les espèces; beaucoup sont détruites par le gel intense	Moyenne	Très bonne	Rapide	Pivotantes moyennes
100 kg/ha = 90 lb/ac									
¹ Le radis et autres brassicacées, le sarrasin et les graminées ne fixent pas l'azote atmosphérique, mais captent l'azote du sol et du fumier. Les cultures couvre-sol qui ne survivent pas à l'hiver libèrent souvent la majeure partie de l'azote qu'elles ont capté avant que le maïs puisse l'absorber. ² On a signalé que ses racines obstruaient les drains agricoles. ³ Il faut ajuster le taux de semis en fonction de l'utilité de la culture couvre-sol (p. ex. érosion, alimentation animale) et de la date des semis (c.-à-d. augmenter le taux de semis plus tardivement à l'automne pour assurer une protection adéquate du sol).									

Graminées

Les graminées ont des racines fines et fasciculées, bien adaptées pour retenir le sol en place et en améliorer la structure. Les espèces de graminées qui conviennent comme culture couvre-sol ont une croissance rapide et sont relativement faciles à détruire, que ce soit par des moyens chimiques ou mécaniques ou par le gel. Les graminées ne fixent pas l'azote atmosphérique, mais peuvent absorber d'importantes quantités d'azote tirées du sol.

Céréales de printemps

Les céréales de printemps conviennent bien aux semis effectués au milieu ou à la fin de l'été. Dans des conditions de croissance favorables, ce sont les céréales de printemps qui produisent la plus grande quantité de biomasse; elles sont donc des plantes de choix pour l'alimentation animale ou les cultures couvre-sol. Une fois bien établies, les céréales de printemps sont relativement tolérantes au gel. Elles peuvent avoir une croissance décevante si elles sont établies après la mi-septembre.

Céréales d'automne

Les céréales d'automne sont des cultures couvre-sol très polyvalentes. On peut les semer en été, et elles vont taller et demeurer végétatives, car elles ont besoin d'une vernalisation (période de froid) avant la reproduction; on peut aussi les semer à l'automne comme culture couvre-sol. Les céréales d'automne survivent généralement bien à l'hiver et offrent une protection contre l'érosion hivernale et printanière. Ces

graminées peuvent servir de brise-vent au printemps ou de paillis, ou être fauchées tôt en vue de réduire au minimum les résidus au moment de la plantation.

Graminées de saison chaude

Les graminées de saison chaude comme le sorgho et le millet conviennent mieux aux semis en sols plus chauds, effectués à la fin juin, en juillet et au début d'août. Elles sont très sensibles au gel. Les racines sont très ramifiées, et les parties aériennes, luxuriantes. Il faudra tondre ces graminées afin de garder les tiges souples et prévenir l'épiaison. Il faut éviter de les tondre plus court que 15 cm (6 po) afin de permettre la repousse. Il pourrait être nécessaire d'ajouter une certaine quantité d'azote pour optimiser la croissance.

Dicotylédones légumineuses

Les cultures couvre-sol de légumineuses peuvent fixer l'azote atmosphérique et fournir ainsi de l'azote à la culture suivante. Les légumineuses vont assimiler l'azote résiduel du sol ou l'azote du fumier. Leur efficacité à prélever l'azote du sol équivaut à 80 % de celle des dicotylédones non légumineuses. La quantité d'azote qu'elles fixent varie selon les espèces. En général, toutefois, plus les parties aériennes de la plante sont développées, plus elle fixe d'azote. Certaines espèces de légumineuses, comme la luzerne et le mélilot, ont des racines pivotantes vigoureuses qui peuvent réduire la compaction du sous-sol, mais uniquement après plus d'une année de croissance.

Le trèfle rouge est un bon exemple de culture couvre-sol peu coûteuse ayant de multiples utilités :

- Son apport en azote peut atteindre 82 kg/ha (75 lb/ac) pour la culture de maïs subséquente.
- 75 % des racines fasciculées se trouvent à une profondeur que la charrue peut atteindre.
- Le volume des racines est de quatre à six fois plus élevé quand l'enfouissement est reporté du 1^{er} septembre au 15 octobre.

Dicotylédones non légumineuses

Les dicotylédones non légumineuses ne peuvent pas fixer l'azote atmosphérique, mais elles peuvent en prélever de grandes quantités du sol. La plupart d'entre elles ne résistent pas à l'hiver; il n'est donc pas nécessaire normalement d'avoir recours à des méthodes de contrôle additionnelles. On ne doit pas les laisser monter en graines, puisque les repousses peuvent entraîner d'importants problèmes de mauvaises herbes.

Mélanges de cultures couvre-sol

Les mélanges de cultures couvre-sol gagnent en popularité, car ils permettent de diversifier les caractéristiques de croissance et les systèmes racinaires, et augmentent la probabilité que des cultures couvre-sol poussent dans l'ensemble du champ. Même s'il existe des mélanges commerciaux, il est facile de créer des mélanges de cultures couvre-sol soi-même. Pour ce faire, il faut :

- tenir compte des caractéristiques de croissance et de la vitesse d'établissement et de croissance des cultures couvre-sol (p. ex. le sarrasin pourrait ne pas convenir à un mélange de cultures qui se développeront sur plus de cinq ou six semaines en raison des caractéristiques de sa floraison et de sa germination);
- envisager au départ de créer des mélanges simples de deux, trois ou six espèces;
- fixer la proportion des différentes espèces dans le mélange (pour déterminer le taux de semis d'une culture couvre-sol, il faut diviser le taux de semis de cette culture par le nombre d'espèces dans le mélange. Il faut ensuite apporter des ajustements en fonction de la concurrence qu'exercent les espèces. Par exemple, comme le radis et l'avoine exercent une grande concurrence, des taux de 2,2 à 3,4 kg/ha (2 à 3 lb/ac) pour le radis, et de 22 à 45 kg/ha (20 à 40 lb/ac) pour l'avoine conviennent mieux dans les mélanges;

- connaître les différences dans la taille des semences pour savoir si celles-ci passeront dans le matériel de semis, ainsi que les probabilités de ségrégation des semences;
- tenir compte du prix des semences, qui peut augmenter rapidement pour des mélanges de cultures couvre-sol variées;
- gérer la rémanence des herbicides appliqués sur la culture précédente, et établir les mesures nécessaires pour contrôler la culture couvre-sol prévue.

Nouvelles cultures couvre-sol

Chaque année, de nouvelles cultures couvre-sol sont mises à l'essai. Ces espèces proviennent souvent de différentes régions du globe et ne sont pas nécessairement adaptées aux conditions de croissance de l'Ontario. Pour en savoir plus sur les nouvelles cultures couvre-sol et celles couramment utilisées, visiter le site Web du MAAARO à l'adresse ontario.ca/cultures, ou celui du Midwest Cover Crop Council au www.mccc.msu.edu.

Taux de semis

Il existe de nombreuses recommandations au sujet des taux de semis. Au moment de choisir un taux, on doit tenir compte des points suivants :

- Les taux de semis des cultures couvre-sol varient en fonction de la texture du sol et du système de gestion des cultures.
- Souvent, un taux de semis inférieur donne de meilleurs résultats.
- Il faut augmenter le taux de semis des cultures pour l'alimentation animale et la protection contre l'érosion et lorsque les semis sont faits après la mi-octobre.
- On doit ajuster le taux de semis en fonction des résultats des années précédentes.

Voir le tableau 8-5, *Caractéristiques des cultures couvre-sol cultivées en Ontario*, qui présente le taux de semis de nombreuses cultures couvre-sol couramment utilisées.

Plantation des cultures couvre-sol

Les cultures couvre-sol peuvent être semées de différentes manières. Attention toutefois : il faut prendre en compte la mise en place des semences, le moment de la plantation et l'état du sol pour réussir les semis. La création de biomasse, en particulier par la croissance des racines, est un objectif important des cultures couvre-sol. Les cultures à récolte hâtive,

comme le blé, les haricots secs comestibles et les légumes, se combinent très bien aux cultures couvre-sol. Le sol est souvent sec en début de saison, mais un semis hâtif permet aux cultures couvre-sol de croître au maximum. L'utilisation d'un semoir assure une bonne mise en place des semences et un bon contact entre la semence et le sol, ce qui favorise une levée et une croissance plus rapides. Le semis à la volée est une autre option qui fonctionne, mais son efficacité dépend davantage des conditions météorologiques. On met actuellement à l'essai le semis sous couvert avec certaines cultures couvre-sol mélangées au maïs et au soya, mais les conditions météorologiques influent grandement sur l'établissement et la croissance.

Incidence des herbicides sur les cultures couvre-sol

Certaines cultures couvre-sol sont sensibles aux résidus d'herbicides, lesquels peuvent nuire à leur croissance. Il faut vérifier les risques de rémanence des herbicides avant d'effectuer les semis, surtout lorsqu'on prévoit semer ce type de culture sous couvert avec une culture sur pied comme le maïs.

Gestion et élimination

La préparation d'un plan d'élimination est tout aussi importante que la sélection du bon type de culture couvre-sol. Bon nombre des cultures couvre-sol courantes, comme l'avoine et le radis, ne survivront pas à l'hiver. Dans le cas de cultures comme les céréales de printemps, il est possible de labourer ou de travailler légèrement le sol pour limiter leur croissance végétative et veiller à ce que les autres plantes demeurent végétatives. Il faudra prévoir un plan pour limiter rapidement au printemps la croissance des cultures couvre-sol rustiques, comme le seigle, le blé d'automne et dans la plupart des cas le ray-grass annuel.

Lorsqu'on sème une culture couvre-sol au printemps, il faut :

- tenir compte de la rapidité à laquelle la plante mourra une fois que des mesures de contrôle ont été appliquées;
- savoir qu'une culture couvre-sol puisera de l'humidité dans le sol jusqu'à sa mort, ce qui peut être bénéfique par temps humide, mais causer des problèmes en période sèche;

- évaluer le volume des résidus présents à la surface au printemps; une couche épaisse de résidus peut contribuer à préserver l'humidité d'un sol sableux tout au long de la saison, mais pourrait maintenir un loam argileux trop humide;
- semer quand l'état du sol s'y prête; si les semis sont faits dans un sol trop humide, le sillon pourrait se fissurer en période sèche;
- planter lorsque la température du sol est suffisamment chaude pour la germination, et éviter de semer trop profondément;
- modifier le semoir pour assurer un bon contact entre la semence et le sol et bien fermer la raie;
- travailler le sol par bandes superficiellement pour bien placer les semences tout en préservant une couche protectrice sur le sol.

Réduction du travail du sol

On travaille le sol pour diverses raisons, notamment pour lutter contre les mauvaises herbes, niveler le sol, enfouir les résidus des cultures, incorporer les engrais et le fumier et préparer les lits de semences. La découverte des herbicides a grandement réduit la nécessité de sarcler le sol (sauf en production biologique). Par ailleurs, l'invention de matériel permettant de semer dans les résidus fait en sorte qu'il est possible de planter des cultures en travaillant peu ou pas le sol. De manière générale, un sol travaillé en majeure partie au printemps sera moins vulnérable à l'érosion que s'il est travaillé à l'automne. Il vaut mieux travailler le sol juste assez pour atteindre ses objectifs, ce qui contribuera à maintenir le sol en place et à prévenir les déversements dans les cours d'eau et les rivières à proximité.

Si toutes les composantes de la production sont prises en compte, la méthode de travail du sol gagnera en efficacité. Un étalement uniforme des résidus et de la paille au moment de la récolte améliorera le travail du sol et les semis. Plus la rotation des cultures est bonne, plus le travail réduit du sol sera efficace. L'adaptation du semoir, autrement que par l'ajout de coutres ou de tasse-résidus, améliorera grandement la mise en place des semences.

Pour plus d'information à ce sujet, voir la rubrique sur le travail du sol correspondant à chacune des cultures décrites dans la présente publication.

Toujours couvrir au moins 30 % du sol

Il faut investir dans la productivité de l'exploitation. Pour protéger le sol de l'érosion, on doit couvrir au moins 30 % du sol au moyen de cultures, de résidus ou de cultures couvre-sol, et ce, tout au long de l'année. Si on couvre au moins 50 % du sol à l'aide de résidus à l'automne, il est plus probable qu'au moins 30 % du sol sera couvert après les semis. Les résidus doivent être suffisamment larges pour intercepter une goutte de pluie. Le couvre-sol ralentira aussi la circulation de l'eau, prévenant ainsi le détachement des particules du sol. Divers instruments et cultures permettent d'atteindre cet objectif.



Photo 8-1 – Un sol couvert à 30 % toute l'année est mieux protégé

Semis direct, travail par bandes en profondeur et travail par bandes superficiel

Le semis direct constitue la meilleure méthode pour laisser des résidus protecteurs à la surface. Cette technique présente aussi le plus grand potentiel de réduction des coûts de travail du sol, quoiqu'il faille lutter contre les mauvaises herbes dans presque tous les cas au moyen d'un herbicide appliqué en présemis. Il y a de nombreux moyens, à la fois dans la conception d'origine et dans les modifications possibles, d'adapter les semoirs de précision ou les semoirs à grains au semis direct.

En Ontario, l'expression « semis direct » signifie généralement que les semis sont effectués dans un champ non travaillé, à l'aide d'un ouvre-sillon ou d'un coutre aligné avec l'ouvre-sillon. Les semis effectués au printemps dans un sol qui a été travaillé à l'automne et qui est prêt à être ensemencé ne sont pas du semis direct.

Habituellement, le travail du sol par bandes en profondeur s'effectue avec deux ou trois coutres à l'avant de l'ouvre-sillon et de l'injecteur d'engrais; on peut aussi utiliser des tasse-résidus.

Pour le travail par bandes superficiel, on a recours à une barre porte-outil avec des coutres à l'avant, suivis de dents, de coutres ou de disques. Cette technique peut être utilisée à l'automne et au printemps pour préparer les lits de semences. La plupart du temps, le travail du sol par bandes superficiel se fait à une profondeur de 10 à 15 cm (4 à 6 po). Le travail par bandes superficiel est un autre moyen de gérer les résidus de culture, ce qui permet au sol de se réchauffer plus vite au printemps tout en laissant une couche de résidus protecteurs entre les rangs. On peut épandre des engrais tout en travaillant le sol de cette façon.

La réussite des semis directs dépend souvent d'une quantité de facteurs autres que la configuration des instruments. Le drainage du sol et la rotation des cultures, par exemple, influent grandement sur le rendement des cultures en semis direct. C'est avec la culture du maïs que le travail réduit présente le plus de défis. Les différentes méthodes de travail du sol sont décrites plus en détail au chapitre 1, *Maïs*. Pour en savoir plus sur ces systèmes, consulter la publication du MAAARO *Les pratiques de gestion optimales : Semis direct – les secrets de la réussite*.

Travail du sol vertical

Pour travailler le sol verticalement (peu en profondeur), on emploie des coutres de différentes formes et configurations. Ce travail est exécuté à l'automne et au printemps et consiste à hacher et tailler les résidus pour les incorporer légèrement au sol et ainsi favoriser leur décomposition. Cette pratique peut réduire la quantité de résidus dans laquelle un producteur doit semer, et aider le sol à se réchauffer plus rapidement au printemps. Idéalement, on limitera le nombre de passages pour que le sol soit couvert à plus de 30 % de résidus après les semis.

Disques

Les disques, comme le chisel, laissent plus de résidus à la surface que la charrue à socs. L'emploi de disques lorsque le sol est détrempé peut causer un effet de compactage. Des passages trop fréquents vont broyer les agrégats du sol et faire augmenter les pertes de matière organique et le risque d'encroûtement. Un semoir bien réglé pour semer dans un sol recouvert

d'une certaine quantité de résidus dans un lit de semence plus rugueux peut contribuer à réduire le nombre de passages requis pour le travail superficiel du sol, peu importe la méthode employée.

Chisel

Le chisel laisse plus de résidus à la surface que la charrue à socs, mais la quantité variera en fonction de sa configuration, du volume de résidus de culture à gérer et de l'ampleur du travail du sol superficiel à exécuter. Toutefois, il faut savoir que le labour effectué au moyen du chisel avec dents vrillées produit un sol billonné, ce qui permet de lutter contre l'érosion, mais il faudra peut-être plus de passages de la machinerie au printemps, et le degré d'humidité des lits de semence pourrait varier. Voici des moyens de remédier à ces problèmes :

- Utilisation de socs bineurs sur la totalité ou une partie du chisel.
- Ajout d'une lame niveleuse ou de herse à l'arrière du chisel.
- Travail superficiel du sol au printemps.

Le chisel peut aussi servir à intégrer du fumier uniformément dans le sol.

Il peut causer autant d'érosion (déplacement du sol vers le bas d'une pente) que la charrue à socs sur les terrains en pente.

Charrue à socs

Sur le plan de la qualité du sol, l'utilisation de la charrue à socs représente la méthode la moins souhaitable de travailler le sol, car peu de résidus sont laissés à la surface; de plus, le sol devant être retravaillé plusieurs fois, cette technique exige beaucoup d'énergie et beaucoup plus d'efforts que le semis direct et de nombreuses autres méthodes de travail réduit du sol. Le labour et le travail superficiel du sol broient les agrégats, ce qui rend le sol plus vulnérable à l'encroûtement et à l'érosion. La charrue déplace une grande quantité de sol, ce qui accentue l'érosion et diminue la couche arable sur les terrains en pente. Lorsqu'on a recours à la charrue à socs, il faut ajuster les socs de manière à ce que la terre soit déposée sur le côté et essayer de laisser des résidus à la surface. On doit en outre réduire le plus possible le nombre de passages additionnels afin de diminuer la fragmentation des agrégats.

Gestion de la fertilisation

Un sol sain aura des teneurs en éléments nutritifs et un pH propices à la croissance des cultures. Pour de l'information sur l'échantillonnage du sol et des tissus végétaux, ainsi que sur les moyens de suppléer les carences, voir le chapitre 9, Fertilité du sol et éléments nutritifs.

Épandage de matières organiques (résidus)

L'épandage de matières organiques a pour but d'accroître la teneur en matière organique du sol et d'y ajouter des éléments nutritifs. Les sols bien aérés, comme les sols sableux, décomposent rapidement les résidus, ce qui y rend plus difficile l'augmentation de la matière organique. Les sols riches en argile, quant à eux, décomposent plus lentement les résidus; il en faut donc moins pour maintenir ou augmenter la teneur en matière organique.

Pour optimiser les avantages et protéger l'environnement, il faut réfléchir à la méthode d'épandage de matières organiques.

L'apport de différents types de résidus, notamment sous forme de fumier, de résidus de culture, de composts, de cultures couvre-sol ou de biosolides, favorise la diversité des organismes présents dans le sol. Les sols ayant une teneur adéquate en matière organique sont plus productifs, ont des agrégats plus stables, et recyclent mieux les éléments nutritifs. Le tableau 8-6, *Teneur en matière organique de sols de différentes textures*, indique, comme son titre le dit, la teneur en matière organique de sols de différentes textures. Les producteurs doivent tenter d'atteindre au moins une « bonne » teneur en matière organique dans leurs champs.

Tableau 8-6 – Teneur en matière organique de sols de différentes textures

Texture	Très bonne	Bonne	Moyenne	Faible
Sable	3,1 % +	2,1 à 3,0 %	1,2 à 2,0 %	< 1,1 %
Loam sableux	3,6 % +	2,6 à 3,5 %	1,6 à 2,5 %	< 1,5 %
Loam	4,1 % +	3,1 à 4,0 %	2,1 à 3,0 %	< 2,0 %
Loam argileux	4,6 % +	3,6 à 4,5 %	2,6 à 3,5 %	< 2,5 %
Argile	4,6 % +	3,6 à 4,5 %	2,6 à 3,5 %	< 2,5 %

Il faut faire preuve de prudence lors de l'épandage de matières organiques pour éviter de contaminer les eaux de surface.

Fumier

Le fumier de bétail constitue une excellente source de matière organique pour le sol. L'épandage de fumier comporte aussi d'autres avantages, notamment la diversification des organismes dans le sol, une intensification de leur activité et une amélioration de la structure. Voir à ce sujet le tableau 8-7, *Effets de l'apport de fumier pendant 11 ans sur la teneur en matière organique*.

Voici certains points dont il faut tenir compte lorsqu'on ajoute de la matière organique sous forme de fumier :

- Le fumier apporte non seulement de la matière organique, mais aussi des éléments nutritifs. Se référer aux renseignements fournis au tableau 9-10, *Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques*, afin d'éviter d'épandre trop d'éléments nutritifs, qui pourraient se perdre dans l'environnement.
- La teneur en matière organique du fumier varie selon sa composition. Habituellement, l'apport de matières solides du fumier solide est supérieur à celui du fumier liquide. Le fumier solide de bovins (ruminants) contiendra davantage de litière que le fumier liquide. Voir la liste des types de fumier courants et leur teneur en matière sèche au tableau 9-10.
- La dose d'épandage a également un effet sur la quantité de matière organique ajoutée au sol.
- Les fumiers solides contiennent normalement plus de lignine (fourrages et litière), ce qui aura un effet à plus long terme sur la matière organique que le fumier liquide ou exempt de litière. Le type de litière (paille ou copeaux de bois) influera lui aussi sur la teneur en matière organique.
- Il faut épandre le fumier en évitant de compacter le sol.

Tableau 8-7 – Effets de l'apport de fumier pendant 11 ans sur la teneur en matière organique

La teneur initiale en matière organique était de 5,2 %. L'étude a été réalisée dans une monoculture de maïs à ensilage, en sol argileux, et le fumier provenait de bovins laitiers. L'épandage a également amélioré le degré d'agrégation du sol et la quantité de pores.

	Dose d'épandage (par année)			
	Nulle	22 t/ha (10 t. c./ ac)	45 t/ha (20 t. c./ ac)	67 t/ha (30 t. c./ ac)
Matière organique	4,3 %	4,8 %	5,2 %	5,5 %

Source : *Building Soils for Better Crops*, 3^e version, 2009. (Magdoff) SARE Outreach (www.sare.org).

On traite de la teneur en éléments nutritifs du fumier à la section *Gestion des fumiers* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Compost

La matière organique peut aussi être ajoutée sous forme de compost. Le compost consiste en un mélange de déchets; ainsi, la quantité d'éléments nutritifs biodisponibles qu'il contient varie. Le compost de feuilles et de résidus de jardin sera relativement pauvre en éléments nutritifs biodisponibles, tandis que le compost de déchets alimentaires, tout comme le fumier de volailles composté, sera plus riche. Pour que les micro-organismes décomposent en partie la matière organique, il faut un taux d'humidité et un ratio carbone-azote précis; les composants de la matière organique intégrée au sol sont, par conséquent, plus résistants que ceux du fumier frais. Les micro-organismes présents dans le sol utilisent ces composants de manière à ce que le recyclage des éléments nutritifs dans le sol libère des éléments nutritifs pour les cultures pendant une longue période.

Le compost, combiné à l'épandage de résidus organiques frais (fumier ou cultures couvre-sol), stimulera la formation de composants (appelés glomaline) liant les agrégats. Le compost ne devrait pas être l'unique source de matière organique du sol, car les résidus frais sont eux aussi bénéfiques. Ces derniers stimulent davantage que le compost la formation des substances qui retiennent les agrégats ensemble. Tout comme dans le cas du fumier, il est important de réduire au minimum le compactage au moment de l'épandage et d'éviter les apports excessifs d'éléments nutritifs.

Le compostage du fumier et d'autres matières :

- aide à stabiliser les éléments nutritifs;
- réduit les quantités à épandre (diminution potentielle de 30 à 60 %);
- donne un produit final qui dégage une meilleure odeur.

Autres matières organiques

Biosolides d'épuration

Comme les fumiers, les biosolides constituent une source de matière organique et d'éléments nutritifs pour les exploitations agricoles. En tant que matière réglementée, les biosolides d'épuration doivent être conformes à certaines normes environnementales en matière de qualité, de salubrité alimentaire et de santé humaine. On peut se procurer des biosolides d'épuration pour épandage sur des terres agricoles dans bon nombre de régions de la province. Les doses d'épandage se fondent sur les résultats des analyses de sol pour le champ en question ainsi que sur les besoins de la culture en éléments nutritifs. La quantité de matière organique épandue dépend des doses utilisées et du type de biosolide.

Comme pour toute activité effectuée sur une terre agricole, il faut s'assurer avant d'épandre des biosolides d'épuration que le sol est en mesure de les recevoir afin d'éviter le compactage. Il faut travailler de concert avec la personne chargée de l'épandage pour que celui-ci soit réalisé à un moment qui cadre avec les pratiques de production culturale.

Autres matières de source agricole et non agricole

Plusieurs autres sortes de matières organiques peuvent être épandues sur les sols en vue d'accroître leur teneur en matière organique. Il est utile de connaître la teneur en matière sèche et en éléments nutritifs (p. ex. oligo-éléments et sel) des produits à épandre pour déterminer les doses d'épandage et avoir une idée de la quantité de matière organique qui est ajoutée. Il est également important de connaître le ratio carbone-azote de la matière afin d'évaluer les effets potentiels de cet apport sur la disponibilité de l'azote. Lorsqu'on calcule la dose d'épandage, on doit tenir compte de la quantité réelle de matière ajoutée et des répercussions de cet apport sur le reste du système cultural.

Ratio carbone-azote

En épandant un amendement organique, on ajoute au sol des éléments nutritifs et de la matière organique, laquelle est composée à environ 60 % de carbone

organique. Le ratio carbone-azote est la proportion de carbone organique par rapport à l'azote qui se trouve dans du fumier ou une matière organique.

L'azote sert de nourriture aux micro-organismes présents dans le sol quand ils décomposent le carbone. Une fois leur travail accompli, ils meurent et se décomposent. L'azote qu'ils avaient absorbé retourne alors dans le sol et devient disponible pour les plantes. C'est ce qu'on appelle l'« azote organique » du fumier et d'autres matières organiques. La durée de ce processus dépend du ratio carbone-azote dans la matière. Le reste de l'azote que contient l'amendement est de l'« azote ammoniacal », soit l'azote biodisponible pour les plantes quand on épand du fumier ou d'autres matières organiques dans un champ.

Une matière organique ayant un ratio carbone-azote inférieur à 20:1 est considérée comme idéale pour une production culturale. Lorsqu'il n'y a pas assez d'azote dans une matière organique pour décomposer le carbone, les micro-organismes en retirent du sol. Quand le ratio carbone-azote est supérieur à 25:1, une culture qui dépend de l'azote du sol, comme le maïs, peut en manquer. Le tableau 8-8, *Ratio carbone-azote de différentes matières organiques*, indique le ratio carbone-azote de différentes matières courantes.

Tableau 8-8 – Ratio carbone-azote de différentes matières organiques

Matière	Fourchette du ratio
Micro-organismes du sol	4:1 à 9:1
Matière organique du sol	10:1 à 12:1
Fumier solide de bovins	20:1 (un peu de litière) à 40:1 (beaucoup de litière)
Fumier de chevaux	27:1 (litière de paille) 60:1 (litière de bran de scie)
Fumier solide de volailles	5:1 (pondeuses) 10:1 (poulets à griller et dindes)
Fumier liquide de porcs	< 8:1
Fumier liquide de bovins laitiers	15:1
Résidus de légumineuses	20:1 à 30:1
Tiges de maïs	80:1
Paille de blé	80:1
Bran de scie	500:1
Biosolides de pâtes et papiers	25:1 (azote ajouté pendant la fabrication) à 200:1 (peu ou pas d'azote ajouté)

Source : MAAARO et Organic Field Crop Handbook, 2^e édition, 2001.

Combien de matière organique un épandage de matière organique apporte-t-il?

On peut épandre des matières organiques pour maintenir ou augmenter la teneur en matière organique du sol. La rotation de cultures de maïs, de soya et de blé d'automne, ou une rotation de cultures fourragères vivaces, permettra d'améliorer la teneur en matière organique, sauf si les résidus d'au moins deux des cultures (maïs, soya ou blé) sont enlevés, ou si le sol est trop travaillé. Les cultures laissant peu de résidus, comme le soya, les haricots secs comestibles et le canola, n'apportent pas assez de matière organique au sol pour en maintenir la teneur en matière organique.

Alors, quelle quantité de matière organique un épandage de compost apporte-t-il? Voici un exemple de calcul :

L'ajout de 15 t. c./ac de compost
(ratio carbone-azote = 15:1; azote = 35 lb/t. c.)

Azote x ratio carbone-azote x dose x pourcentage de matière organique stable
 = 35 lb d'azote par t. c. x (15 lb de carbone pour chaque livre d'azote)
 x 15 x 20 % de matière organique stable
 = 35 x 15 x 15 x 0,20
 = Apport de 1 575 lb/ac de carbone stable
 = Hausse de 0,08 % de la teneur en matière organique du sol.

Il faudrait un épandage annuel pendant 13 ans pour augmenter la teneur en matière organique du sol de 1 %. Si l'épandage se faisait une fois aux trois ans dans le cadre d'une rotation de cultures de maïs, de soya et de blé, où la rotation apporterait environ 1 000 lb/acre de matière organique, il faudrait environ 24 ans pour obtenir une hausse de 1 %.

Points à considérer avant d'incorporer des matières organiques

Faut-il incorporer les matières?

- Incorporer les matières qui dégagent une odeur sans délai ou le plus tôt possible.
- Incorporer les matières qui contiennent de l'azote ammoniacal dès que possible, afin de réduire les pertes d'azote.
- La réglementation sur la gestion des éléments nutritifs peut exiger l'incorporation des matières.
- Incorporer les matières riches en éléments nutritifs qui sont épandues sur les terrains en pente ou sur les plaines inondables, afin de prévenir les pertes.
- Laisser à la surface du sol les matières qui ne répondent pas aux critères décrits plus haut, afin de protéger le sol. Les vers de terre et les autres organismes du sol vont contribuer à décomposer et à incorporer ces matières.

À quel point doit-on incorporer la matière organique dans le sol?

- L'incorporation de matières organiques accompagnée d'un travail excessif du sol expose ce dernier à l'érosion et réduit ou élimine les avantages associés à l'amendement.
- Un travail minimal du sol suffit pour incorporer la plupart des matières organiques. Il est habituellement préférable d'incorporer une partie des matières et de laisser le reste à la surface.
- L'incorporation par retournement du sol au moyen d'une charrue à socs laisse une couche de matière organique à la profondeur du labour qui ne se décomposera pas rapidement et peut nuire à la circulation de l'eau dans le sol.

Prévention de la dégradation du sol

Avec la mécanisation grandissante de l'agriculture, la réduction des intervalles entre les rotations et l'intensification de ces dernières, la santé de bon nombre de sols en Ontario s'est détériorée depuis quatre ou cinq décennies. Le sol est vulnérable à la dégradation, laquelle consiste habituellement en de l'érosion conjuguée à une baisse de la teneur en matière organique. Les sols dégradés entrent souvent

Les gaz à effet de serre et l'agriculture

Les gaz à effet de serre sont des gaz atmosphériques qui réfléchissent l'énergie thermique dégagée par la Terre. Le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde de diazote (N_2O) sont les trois gaz à effet de serre associés à l'agriculture. Diverses pratiques peuvent libérer ces gaz dans l'atmosphère.

On entend par séquestration de carbone le stockage de carbone dans le sol.

- Les pratiques comme de bonnes rotations des cultures, le semis direct, le travail réduit du sol, la plantation d'arbres et l'ajout de matière organique permettent d'augmenter la teneur en carbone du sol.
- Le travail intensif du sol accélère la perte de carbone.
- En réduisant l'utilisation d'énergie, on diminue la quantité de CO_2 libéré dans l'atmosphère.

Le méthane libéré dans l'atmosphère provient des ruminants, du fumier, des installations d'entreposage de fumier et du sol.

L'oxyde de diazote, quant à lui, provient des installations d'entreposage de fumier et de la dénitrification du sol.

- L'amélioration du drainage et la réduction de la quantité d'azote dans le sol après la récolte permettent de diminuer les émissions de N_2O .

dans un cercle vicieux, comme il est indiqué à la figure 8-4, *Cercle vicieux de la dégradation du sol*. L'érosion accentue la perte de la couche arable, ce qui diminue par ricochet la quantité d'éléments nutritifs dans le sol. Le sol perdu entraîne avec lui des éléments nutritifs, et la fertilité de la couche arable s'en trouve réduite. Du sol moins fertile provenant des couches inférieures est amené graduellement à la surface par les labours. Au fur et à mesure que la teneur en matière organique du sol diminue, ce dernier devient moins résistant à l'érosion. Le sol devient également plus vulnérable au compactage. Et plus le sol devient compact, plus il perd de sa porosité, c'est-à-dire que l'air et l'eau ne peuvent plus y circuler autant. Il s'ensuit un accroissement du ruissellement qui aggrave l'érosion. La teneur en matière organique continue de diminuer, et le sol est de moins en moins en mesure de retenir l'eau. Le cycle se poursuit, intensifiant le cercle vicieux de la dégradation du sol.

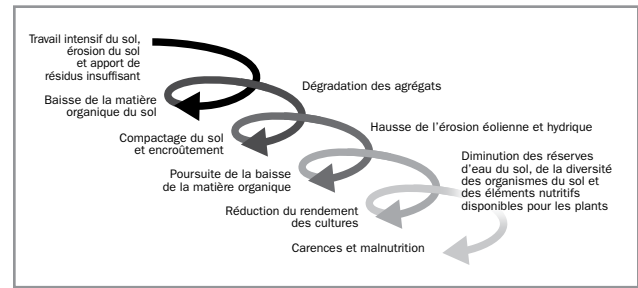


Figure 8-4 – Cercle vicieux de la dégradation du sol

Érosion du sol

L'érosion du sol constitue une grave menace pour la productivité des sols. Il est vrai que l'érosion des sols est un phénomène naturel, mais les pratiques culturales en ont tout de même accéléré le rythme. Dans les champs cultivés, l'érosion se manifeste par le détachement et le déplacement des particules de sol à l'intérieur du champ ainsi que vers l'extérieur de ce dernier. Elle a diverses conséquences, notamment :

- une perte de la couche arable;
- une baisse des rendements (pouvant atteindre 50 %);
- une hausse des coûts de production;
- une augmentation du ruissellement et une réduction des réserves d'eau dans le sol.

Le saviez-vous? Une t. c./ac de couche arable perdue sous l'action de l'érosion – l'épaisseur d'une feuille de papier – contient environ 1,8 kg (4 lb) d'azote biodisponible, 0,7 kg (1,5 lb) de phosphore et 2,3 kg (5 lb) de potasse.

Les changements climatiques risquent d'accroître l'érosion éolienne et hydrique. Des hivers chauds, où la température oscille fréquemment, pourraient réduire le couvert de neige, laissant les sols à découvert plus longtemps entre les cultures. Les sols secs et dénudés sont plus vulnérables à l'érosion éolienne. Comme on prévoit que les orages seront plus fréquents et intenses, l'érosion hydrique risque d'être plus importante.

Types d'érosion du sol

On distingue trois types d'érosion du sol : l'érosion hydrique, l'érosion éolienne et l'érosion causée par le travail du sol.

1. L'érosion hydrique est le résultat de particules de sol non protégées qui se détachent et se déplacent sous l'action de l'eau. En voici quelques formes courantes : érosion en nappe, sédimentation, érosion en rigoles, ravinement et érosion des berges. On peut utiliser la version 2 de l'équation universelle révisée des pertes en terre (RUSLE2) pour estimer le rythme à long terme auquel le sol est érodé par la pluie et la fonte des neiges sur les terrains en pente de l'exploitation agricole. Pour en savoir plus, visiter le site ontario.ca/omafra et chercher *RUSLE2 pour application en Ontario*.
2. L'érosion éolienne est occasionnée par le détachement et le déplacement de particules provoqués par les courants aériens ou le vent.
3. L'érosion causée par le travail du sol se produit lorsque le matériel utilisé soulève les particules et que ces dernières sont entraînées par gravité vers le bas des pentes. **Elle compte pour environ 80 % de l'érosion dans un champ cultivé.** En utilisant des instruments aratoires qui déplacent une grande quantité de sol, comme la charrue à socs ou le chisel, dans des champs en pente, un producteur peut enlever une grande partie de la couche arable du haut des pentes pendant sa vie.

Pratiques de prévention ou de réduction de l'érosion du sol

Il existe plusieurs moyens de prévenir ou de réduire l'érosion du sol, notamment les suivants.

- Travailler moins le sol et laisser les résidus de culture à la surface.
- Semer des cultures couvre-sol pour protéger le sol.
- Améliorer les rotations des cultures en y intégrant des plantes vivaces si possible.
- Augmenter la teneur en matière organique en épandant du fumier ou d'autres amendements organiques.
- Utiliser le semis direct dans les pentes.

Pratiques réduisant l'érosion hydrique

- Installer des structures de lutte contre l'érosion : bassins de sédimentation et de rétention des eaux, zones tampons, entrées de surface, voies d'eau gazonnées, terrasses de déviation, consolidation des berges, etc.
- Limiter l'érosion des berges au moyen de zones tampons et de diverses structures de lutte contre l'érosion.

Pratiques réduisant l'érosion éolienne

- Brise-vent végétaux.
- Bandes coupe-vent.
- Couche de résidus (surtout l'hiver).

Pratiques réduisant l'érosion causée par le travail du sol dans les terrains en pente

- Éviter d'utiliser des instruments qui déplacent une grande quantité de sol, comme la charrue à socs ou le chisel.
- Travailler le sol moins rapidement si possible.
- Configurer le matériel de manière à déplacer une moins grande quantité de sol.
- Travailler le sol moins profondément.

Pour de plus amples renseignements, consulter les publications du MAAARO *Les pratiques de gestion optimales : Gestion du sol*, *Les pratiques de gestion optimales : Grandes cultures* et *Les pratiques de gestion optimales : Lutte contre l'érosion du sol à la ferme*.

Compactage du sol

Le compactage du sol est défini comme l'augmentation de la densité apparente du sol et la réduction de son espace poral. Ce phénomène résulte de l'écrasement des particules du sol sous l'impact des gouttes de pluie ou sous le poids de la machinerie ou des animaux. L'emploi de matériel lourd, tel que des tracteurs, des moissonneuses-batteuses et d'autres instruments, en particulier pendant le travail du sol au printemps, peut compacter le sol quelle que soit la méthode de travail du sol utilisée. Le compactage du sol peut réduire les rendements de 40 %, selon la gravité du problème et les conditions présentes au cours des périodes de croissance suivantes.

Une mauvaise gestion des sols (travail excessif du sol et teneur en matière organique réduite) entraîne la détérioration de leur structure et l'instabilité des agrégats. Ces effets se traduisent par une augmentation du compactage et une réduction de l'aération du sol et de la rétention de l'eau, ce qui peut nuire à la biologie du sol. Une quantité moindre de pores de taille moyenne à grosse réduit l'espace dans le sol disponible pour l'air et l'eau ainsi que pour les organismes qui ont besoin de pores plus gros. On distingue trois types de compactage du sol : l'encroûtement (en surface), le compactage des semelles de labour et le compactage du sous-sol (en profondeur). Voir le tableau 8-9, *Types de compactage du sol*, pour en avoir la description.

Pratiques de prévention ou de réduction de la compaction du sol

Le recours à une ou plusieurs pratiques suivantes contribuera à réduire ou à prévenir la compaction du sol.

- Planifier en vue de travailler le sol et de faire les travaux dans les champs au bon moment : éviter les champs humides, car le sol doit présenter un taux d'humidité adéquat à la profondeur où il est travaillé.
- Bien drainer les champs : installer des drains agricoles offrant des niveaux de drainage variés.
- Effectuer une rotation des cultures plus longue, et y inclure des cultures céréalières ou fourragères.
- Intégrer des cultures fourragères et les laisser dans la rotation plus d'un an.
- Utiliser le matériel de travail du sol approprié : s'assurer qu'il soulève et morcèle le sol (chisel à coutres, cultivateur) au lieu de l'écraser et de le broyer (disque).
- Travailler le sol à différentes profondeurs pour éviter la formation de semelles de labour.
- Limiter la circulation de la machinerie dans le champ, y compris pour le travail du sol, et la contrôler si possible (p. ex. voies permanentes).
- Limiter le compactage : créer une empreinte longue et étroite en configurant les pneus à cette fin (p. ex. pneus radiaux, pneus larges, roues doubles, chenilles, pression des pneus plus faible).
- Réduire la charge par essieu à moins de cinq tonnes.

Les sols riches en matière organique qui ont un bon drainage interne et une bonne structure sont moins vulnérables au compactage. Pour en savoir plus, visiter le site Web du MAAARO à l'adresse ontario.ca/cultures.

Tableau 8-9 – Types de compactage du sol

Cause	Effet
Encroûtement	
Les particules de sol non protégées se dispersent sous l'action des gouttes de pluie et forment une fine couche dense à la surface.	Ce type de compactage favorise grandement le ruissellement et l'érosion hydrique. La surface devient étanche, ce qui réduit l'infiltration d'eau. Lorsque le sol est sec, une croûte dure se forme, ce qui risque de retarder ou d'empêcher la germination.
Compactage de la semelle de labour	
Le sol est érodé. Il est pauvre en matière organique. Le passage de machinerie lourde compacte le sol.	La couche est très dense, ce qui réduit l'infiltration de l'eau et la porosité du sol. La croissance racinaire peut être limitée.
Compactage du sous-sol	
La pression exercée par les disques ou la charrue sur le sol, sous la semelle de labour, entraîne le compactage du sous-sol. La pression exercée par la machinerie lourde dont le poids est mal réparti provoque aussi le compactage du sol.	L'écoulement de l'eau à travers la couche compactée est restreint. Il y aura peu de croissance racinaire dans la couche compactée, voire aucune.

Santé du sol : évaluer pour gérer

Au fil du temps, la méthode de gestion a une incidence sur la santé du sol. L'évaluation de la santé du sol dans chacun des champs et l'adoption de mesures pour la maintenir ou l'améliorer sont un gage de productivité. La préservation de la santé du sol est un processus de longue haleine. Certaines pratiques de gestion seront bénéfiques, et d'autres, nuisibles. Les changements peuvent s'opérer relativement lentement, ou rapidement. Comment peut-on évaluer l'influence des pratiques de gestion passées et actuelles sur le sol? Certaines pratiques sont faciles et relativement peu coûteuses à mettre en place, alors que d'autres exigent plus d'efforts et de détermination. Voici des caractéristiques des sols ainsi que des moyens simples de les évaluer.

Évaluation de la santé du sol

Structure du sol Importance

L'eau circule facilement à travers un sol qui présente une bonne structure, car il est très poreux (les espaces d'air sont abondants). Les racines peuvent facilement

y pénétrer. Les sols dont la couche arable possède une mauvaise structure vont s'encroûter, ce qui réduit la levée et la circulation de l'eau dans le sol.

Évaluation

On peut évaluer la structure du sol en la comparant aux profils décrits à la section *Structure du sol*, ou en employant la méthode présentée ci-dessous.

- À l'aide d'une pelle, bêcher une motte de terre de la largeur de la pelle à environ 15 cm (6 po) de profondeur (voir photo 8-2a).
- Soulever la motte avec la pelle.
- Lever la pelle jusqu'à hauteur de taille et laisser tomber la motte.
- Comparer la fragmentation du sol aux agrégats de loam argileux montré sur les photos plus bas : bonne condition (photo 8-2b), condition moyenne (photo 8-2c) et mauvaise condition (photo 8-2d).



Photo 8-2a – Motte de terre soulevée



Photo 8-2b – Bonne condition



Photo 8-2c – Condition moyenne



Photo 8-2d – Mauvaise condition

Compaction du sol

Importance

La compaction diminue la taille des pores du sol, limitant ainsi la circulation de l'air et de l'eau. Elle restreint aussi la croissance des racines, ce qui réduit la capacité des plantes à absorber l'eau et les éléments nutritifs.

Évaluation

- Repérer les zones d'un champ susceptibles de présenter des problèmes de compaction.
- Attendre un moment où le sol est humide (quelques jours après une bonne averse).

- Enfoncer une sonde à tuyau ou une tige flexible dans la zone affectée, à une profondeur de 50 cm (20 po). Refaire l'exercice en bordure du champ ou dans une zone non affectée et comparer les résultats.
- Introduire lentement la tige dans le sol à un rythme constant.
- Évaluer la force nécessaire pour pousser la tige dans le sol les bras légèrement pliés (voir photo 8-3a).
- Noter à quelle profondeur il devient nécessaire d'intensifier la pression pour enfoncer davantage l'extrémité de la tige dans le sol. Ce sont peut-être des zones que les racines ne peuvent pas pénétrer.
- Avec une pelle, déterrer des plantes dans la zone affectée et en examiner les racines.
- Comparer les racines à celles de plants sains d'une zone non affectée. Dans la zone compactée, les plants auront des racines difformes ou frêles (voir photo 8-3b). Le système racinaire peut être concentré dans les 10 à 20 premiers centimètres (4 à 8 po) du sol.

Note : Il faut que les taux d'humidité soient similaires dans les zones où l'on mesure la compaction pour que l'on puisse comparer les résultats.



Photo 8-3a – Repérer les zones d'un champ susceptibles de présenter des problèmes de compaction au moyen d'une sonde à tuyau ou d'une tige flexible



Photo 8-3b – Effets de la compaction sur la croissance des racines

Matière organique du sol

Importance

La matière organique joue un rôle majeur dans la structure, le recyclage des éléments nutritifs et la capacité de rétention de l'eau du sol, et peut donc avoir des répercussions importantes sur le développement des cultures.

Évaluation

- Les échantillons de sol prélevés pour analyser les éléments nutritifs à une profondeur de 15 cm (6 po) peuvent aussi servir pour l'analyse de la matière organique.
- Prélever des échantillons conformément aux instructions données à la section *Analyse de sol* du chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*, ou dans des zones problématiques du champ.
- On peut aussi faire analyser des échantillons de sol prélevés en bordure de champ ou dans les boisés à des fins de comparaison.

Couleur du sol

Importance

La couleur de la surface du sol (pour un même taux d'humidité) est un indicateur visuel de la teneur en matière organique du sol. La présence de terre plus pâle sur les côtés d'une butte dans un champ peut signaler une diminution de la couche arable en raison de l'érosion causée par le travail du sol. La photo 8-4 montre des buttes de couleur plus pâle en raison de l'érosion causée par le travail du sol, un problème qui se traduit souvent par une faible croissance des cultures. Le sol travaillé sous la couche arable se mélange au sous-sol contenant moins de matière organique, d'où la couleur plus pâle de la terre à ces endroits.



Photo 8-4 – L'érosion causée par le travail du sol apparaît sous forme de buttes de couleur pâle et se traduit souvent par une faible croissance des cultures

Évaluation

- Vérifier si la couleur du sol dans le champ est relativement uniforme.
- En général, plus le sol est foncé, plus sa teneur en matière organique est élevée (au même taux d'humidité).

- Les secteurs d'un champ qui étaient anciennement des zones humides seront habituellement plus foncés, car la matière organique y était plus abondante avant qu'ils soient drainés.

Biologie du sol

Importance

Les organismes présents dans le sol alimentent la décomposition des résidus et le recyclage des éléments nutritifs et stabilisent la matière organique (par la formation d'agrégats). Les gros pores créés par de grands organismes favorisent la circulation de l'eau dans le sol, et la matière organique joue un rôle déterminant dans la formation de la structure du sol. Un sol dépourvu d'organismes vivants ne sera pas productif.

Évaluation

- Compter le nombre de gros orifices créés par les vers de terre (voir les amoncellements sur la photo 8-5a) dans un mètre carré. On peut conclure que le sol contient une bonne population de vers de terre lorsqu'on dénombre 10 orifices ou plus par mètre carré.
- On peut estimer la population de petits vers de terre en défaisant une pelletée de terre. Les vers de terre contribuent à structurer le sol et influencent la circulation de l'eau (voir photos 8-5a et 8-5b). L'odeur du sol peut également être un indicateur d'une saine biologie du sol : une douce odeur d'humus est un bon signe, ce qui n'est pas le cas d'une odeur de marécage.



Photo 8-5a – Amoncellement créé par un ver de terre



Photo 8-5b – Les vers de terre contribuent à structurer le sol et influencent la circulation de l'eau dans le sol

Drainage

Importance

La capacité du sol à se drainer peut influencer sur le calendrier de travail au champ, l'érosion hydrique, la croissance des racines, le risque de compactage du sol et la quantité d'air présente dans le sol.

Évaluation

- Au printemps, examiner le champ afin de savoir s'il se draine rapidement et si le sol est réchauffé et prêt à être travaillé.
- Observer la culture pour déterminer si un excès d'humidité réduit les rendements, sauf durant les années humides.

Capacité de rétention de l'eau**Importance**

La capacité de rétention de l'eau correspond à la capacité du sol à fournir l'humidité nécessaire à la croissance des cultures. Les plantes cultivées dans des sols retenant bien l'eau supporteront mieux un stress hydrique en période sèche.

Évaluation

- Vérifier si le sol garde bien son humidité.
- Observer les cultures pour voir si les plantes perdent de leur vigueur durant les épisodes de sécheresse modérée.

Développement de la culture**Importance**

Si le manque de vigueur de la culture n'est pas attribuable aux insectes nuisibles, aux maladies, aux mauvaises herbes, aux conditions météorologiques ou à d'autres circonstances, il peut alors s'agir d'un problème lié au sol.

Évaluation

- Examiner la culture au champ, surtout avant le stade de reproduction. Tenter de repérer les différences dans les stades de croissance et les couleurs.
- La culture devrait être vert foncé, et la croissance, rapide et relativement uniforme.
- Des cartes de rendement sont également des indicateurs valables des différences dans le rythme de développement des plantes à l'intérieur d'un champ.

Croissance des racines**Importance**

Une faible croissance racinaire qui n'est pas causée par des insectes ou des maladies est probablement attribuable à un problème de sol. Les racines se ramifient largement dans le sol, à la recherche d'eau et d'éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes.

Évaluation

- Bêcher soigneusement pour extirper les racines de plantes.
- Vérifier si les racines sont réparties de manière uniforme.
- Les racines blanches sont vivantes.
- Les racines vont croître vers le bas et à un angle de la base de la plante, plus ou moins en droite ligne.
- Les racines qui bifurquent soudainement se sont probablement heurtées à une zone compactée.
- Le compactage du sol freine aussi la croissance des racines; le système racinaire s'en trouve restreint ou alors il se développe plus près de la surface (voir photos 8-6a et 8-6b).



Photo 8-6a et 8-6b – Les racines se ramifient largement dans le sol, à la recherche d'eau et d'éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes

Teneur en éléments nutritifs**Importance**

Une teneur satisfaisante en éléments nutritifs ainsi qu'un pH adéquat sont essentiels à la bonne croissance des cultures. Il est très important de faire analyser le sol pour vérifier ces caractéristiques et pouvoir prendre les mesures qui s'imposent.

Évaluation

Pour de l'information sur l'échantillonnage du sol et des tissus végétaux, ainsi que sur les moyens de suppléer les carences, voir le chapitre 9, *Fertilité du sol et éléments nutritifs*.

Fondements de la gestion du sol**Importance de la matière organique**

La matière organique du sol ne représente qu'une très petite partie du sol, mais elle y joue un rôle déterminant. L'obtention et le maintien d'une teneur adéquate en matière organique comportent plusieurs avantages, notamment :

- un gain de rendement et une meilleure santé des cultures;
- une tolérance accrue des cultures à la sécheresse et à d'autres stress, comme les insectes et les maladies;
- une réduction des besoins d'engrais commerciaux et de chaux.

On distingue trois types de réservoirs de matière organique dans le sol, comme l'illustre la figure 8-5, *Réservoirs de matière organique du sol.*

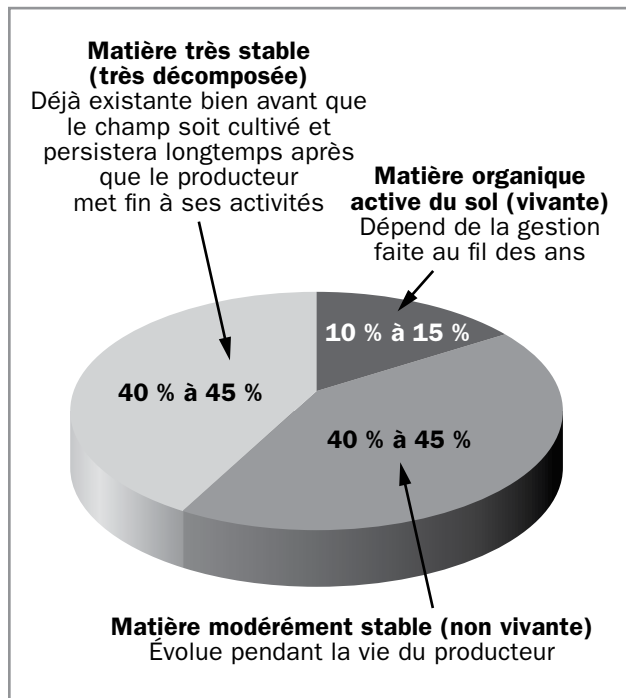


Figure 8-5 – Réservoirs de matière organique du sol

Matière organique active du sol (vivante ou non vivante depuis peu)

- Exemples de matières vivantes : bactéries, champignons, algues, racines de plantes, insectes, vers de terre. Elles favorisent la décomposition des résidus et du fumier.
- Elle fournit des éléments nutritifs ainsi que des composés qui facilitent la formation des agrégats.
- Les matières non vivantes depuis peu comprennent les organismes morts, les fumiers qui viennent d'être épandus, les vieilles racines de plantes et les résidus de culture.
- Elle alimente les organismes du sol.

Matière organique modérément stable (non vivante)

- Matières organiques récemment décomposées.

Matière organique très stable (très décomposée)

- Matières parfois désignées sous le nom d'humus.
- Activité pratiquement figée; elle fait partie intégrante du sol.
- Ces matières s'accrochent à certains éléments nutritifs et se libèrent graduellement.
- Elles peuvent diminuer les problèmes de drainage ou de compaction.
- Elles peuvent améliorer la capacité de rétention de l'eau dans les sols sableux.

Rôle de la matière organique

La matière organique joue un rôle déterminant pour un grand nombre de propriétés du sol ainsi que dans la croissance des cultures. Ses fonctions sont toutes aussi importantes les unes que les autres. La matière organique :

- influe directement ou indirectement sur la disponibilité des éléments nutritifs puisés dans le sol et joue un rôle important dans le recyclage de beaucoup d'éléments nutritifs;
- améliore la capacité d'échange cationique (CEC) du sol qui adhère alors davantage aux ions positifs comme le calcium, le potassium et le magnésium, ce qui les rend assimilables par la culture (cette propriété est particulièrement importante dans les loams et les sols sableux qui contiennent peu d'argile pour fournir les charges négatives capables de fixer les cations);
- forme des acides organiques complexes au cours de la décomposition des matières organiques; ces acides se fixent aussi aux éléments nutritifs et contribuent à garder le fer, le zinc et le manganèse sous forme chélatée ou assimilable;
- peut exercer un effet tampon sur le pH du sol en modérant les variations rapides de pH;
- assombrit la couleur du sol, ce qui accélère son réchauffement au printemps;
- contribue à stocker le carbone (le sol contient quatre fois plus de carbone que les plantes);
- accumule l'azote (presque tout l'azote du sol est sous forme organique; les bactéries et les champignons transforment l'azote organique en nitrate et en ammonium, et ces formes d'azote peuvent être utilisées par les plantes);
- contribue au cycle de l'eau en gardant le sol meuble et poreux, ce qui assure une meilleure pénétration de l'eau dans le sol (l'infiltration contribue davantage que le ruissellement à restaurer l'humidité du sol par temps sec, et à réapprovisionner la nappe phréatique. Le processus accroît en retour la quantité

d'eau accessible aux cultures par le sol, puisque ce dernier est en mesure d'en stocker davantage et que le volume du système racinaire augmente. Parallèlement, le drainage de l'excès d'eau dans le sol est amélioré);

- rehausse la porosité en améliorant la structure du sol, qui laisse ainsi l'air passer plus facilement.

Des données indiquent aussi que la matière organique contribue à empêcher le phosphore de se transformer en éléments non assimilables par les plantes.

Biologie du sol

Un sol sain est un milieu bien vivant. Les organismes qui s'y trouvent contribuent de très près à la santé du sol et des plantes. Le sol contient notamment des bactéries, des champignons, des algues, des protozoaires, des nématodes, des vers de terre et des insectes (fourmis, coléoptères, mille-pattes, etc.). Il abrite aussi des animaux de plus grande taille (taupes, lapins, serpents, etc.) et contient des racines.

Les organismes du sol jouent plusieurs rôles d'importance :

- Ils participent à la décomposition des résidus organiques et à leur incorporation dans le sol : à mesure que les matières organiques se décomposent, les éléments nutritifs deviennent disponibles aux plantes, et de l'humus et les agrégats du sol se forment.
- Ils créent des passages qui facilitent l'infiltration de l'eau et améliorent l'aération du sol.
- Ils contribuent à enfouir les résidus de surface plus profondément dans le sol.
- Ils participent à la fixation de l'azote.
- Ils contribuent à lutter contre les ennemis des cultures, comme les mauvaises herbes, les insectes nuisibles, les nématodes et les maladies.
- Ils stimulent la croissance racinaire grâce à des substances qu'ils sécrètent.

Structure du sol

Un sol bien structuré est propice à la croissance des cultures. Il est poreux et l'eau peut y pénétrer facilement au lieu de ruisseler à la surface. L'eau est alors plus disponible pour les plantes et cause moins d'érosion. Un sol poreux permet à l'oxygène de circuler entre le sol et les racines et facilite l'élimination du dioxyde de carbone, ce qui améliore la croissance des racines.

La formation des sols et de leur structure est étroitement liée à l'action des cycles de gel-dégel et des cycles sec/humide, à la croissance des racines, au travail du sol et à l'activité des animaux et des micro-organismes qui s'y trouvent.

La matière organique active du sol, les résidus en décomposition et la biologie du sol jouent tous un rôle majeur dans la formation et le maintien de la structure du sol. La structure représente le mode d'assemblage des particules du sol avec l'argile, l'humus et les substances agglutinantes sécrétées par les organismes vivants et en décomposition. Pour qu'un sol conserve une bonne structure, c'est-à-dire qu'il présente un bon degré d'agrégation, il faut un approvisionnement continu de matière organique, de racines de plantes vivantes et d'organismes du sol.

Les photos ci-dessous montrent les types de structure du sol que l'on trouve habituellement en Ontario.

Structure granulaire

- Le sol se fragmente en petits agrégats ou grumeaux (voir photo 8-7).
- On trouve habituellement ce type de structure en surface.
- Il s'agit de la structure idéale pour la couche arable.
- Cette structure est associée à une très bonne capacité de rétention de l'eau et à une abondance de pores; elle favorise également la circulation de l'eau et la croissance des racines.



Photo 8-7 – Structure granulaire

Structure lamellaire

- Les particules de sol s'agrègent en lamelles horizontales relativement fines (voir photo 8-8).
- Ce type de structure s'observe souvent dans les premiers 8 cm (3 po) des sols travaillés en semis direct depuis longtemps.
- Le passage des coutres dans le champ broie les lamelles, et la structure va devenir granulaire avec le temps.
- On peut observer ce type de structure dans les couches de sol compactées.



Photo 8-8 – Structure lamellaire

Structure anguleuse

- Les agrégats du sol sont de forme cubique ou irrégulière (voir photo 8-9).
- On trouve couramment ce type de structure dans la couche B du sol.
- Cette structure est propice à la croissance des racines et à une bonne aération.



Photo 8-9 – Structure anguleuse

Structure colonnaire ou prismatique

- Les particules de sol sont reliées entre elles de manière à former des prismes ou des piliers verticaux (voir photo 8-10).
- On trouve généralement cette structure dans la couche C des sols riches en argile.
- Les sections verticales entre les agrégats permettent la croissance des racines et la circulation de l'eau.



Photo 8-10 – Structure colonnaire ou prismatique

Absence de structure

Structure particulière : le sol se fragmente en particules individuelles (p. ex. sols sableux contenant peu de matière organique).

- Les sols sans structure ou ayant une mauvaise structure ont tendance à former une croûte, surtout s'ils contiennent beaucoup d'argile.
- Cette structure offre peu de résistance à l'érosion éolienne et hydrique.
- Structure compacte : le sol se fragmente en grosses mottes (voir photo 8-11).
- Les sols qui présentent cette structure sont compactés, les pores y sont peu nombreux, et la croissance des racines y est restreinte tout comme la circulation de l'eau.



Photo 8-11 – Absence de structure

Différentes pratiques de gestion du sol nuisent à la structure du sol :

- Un travail du sol excessif détruit la structure du sol.
- Le travail du sol, conjugué à de mauvaises rotations et à un faible apport en matière organique, fait diminuer la teneur en matière organique, qui joue un rôle déterminant dans la formation de la structure du sol.
- Les pratiques compactant le sol, comme la circulation de lourdes charges, peuvent aussi nuire à la structure du sol.
- Les sols ayant une mauvaise structure s'agrégent en grosses mottes qui contiennent peu des pores nécessaires à la croissance des racines, à l'infiltration de l'eau et à la circulation de l'air.
- Les sols ayant une mauvaise structure s'encroûtent facilement, ce qui peut gêner la levée des plants, réduire considérablement l'infiltration de l'eau et accentuer le ruissellement.

Stabilité des agrégats

La stabilité des agrégats est la mesure dans laquelle les agrégats du sol restent ensemble lorsqu'ils sont humides et frappés par la pluie. Voir à ce sujet la photo 8-12, *Démonstration de la stabilité des agrégats dans une bonne et une mauvaise rotation des cultures*. Les sols dont les agrégats sont stables :

- ont une meilleure structure;
- résistent à l'érosion éolienne et hydrique;
- ne se compactent pas;
- ne devraient pas s'encroûter après une forte averse.



Photo 8-12 – Démonstration de la stabilité des agrégats dans une bonne et une mauvaise rotation des cultures

Qualité et genèse du sol

Qualité du sol

La qualité du sol est la capacité inhérente du sol à faire pousser des cultures. Elle dépend de plusieurs facteurs, comme la profondeur du sol au-dessus du substratum rocheux, la texture, la présence de pierres, et la profondeur de la couche arable. Par exemple, sans irrigation, un sol très sableux ne sera peut-être pas très productif. De même, un champ où il n'y a que 30 cm (1 pi) de terre au-dessus du substratum rocheux aura une capacité limitée à retenir l'humidité et à fournir des éléments nutritifs à une culture. Dans ces deux cas, il n'y a pas grand-chose à faire pour améliorer la productivité. Par contre, un loam qui a une couche arable profonde exempte de pierres peut être très productif et considéré comme un sol de grande qualité. Les cartes de l'Inventaire des terres du Canada montrent la productivité et les restrictions associées aux sols (p. ex. topographie, présence de pierres). Consulter à ce sujet ontario.ca/agricartes.

Formation du sol

En Ontario, les propriétés des sols sont étroitement associées aux reliefs formés par la glace des glaciers, les eaux de fonte, les lacs glaciaires et le vent. Les glaciers se sont déplacés à travers toute la province, broyant le roc en fines particules, puis mélangeant et déplaçant le sol qui s'y trouvait. En se retirant, ils ont laissé sur

place des composants du sol qui se trouvaient dans la glace. Le sable et le gravier contenus dans l'eau de fonte se sont empilés en couches minces, et des lits plats de sable, de limon et d'argile se sont déposés dans les lacs formés par l'accumulation de l'eau de fonte. Des vents forts soufflant sur les terres dénudées et plates ont par ailleurs transporté au loin les particules de sol. Tous ces dépôts sont à l'origine de nos sols actuels.

À certains endroits, la couche arable est très rapprochée du substratum rocheux; on trouve aussi de la tourbe ou des terres noires, des plaines de till, des moraines terminales, des plaines de sable et des plaines d'argile. Pour obtenir des renseignements supplémentaires et des photos de ces reliefs, voir la publication du MAAARO *Les pratiques de gestion optimales : Gestion du sol*. Visiter aussi la page sur la gestion du sol sur le site Web du MAAARO à l'adresse ontario.ca/cultures.

Champs de l'exploitation agricole

Le sol peut être pareil dans tous les champs de l'exploitation, ou se composer de différentes unités cartographiques de sol. Il peut être utile de savoir quel type de sol se trouve dans un champ en particulier. Le moyen le plus facile de le savoir est de faire une recherche sur une carte des sols, comme celles qu'offre Service Ontario. Beaucoup de cartes des sols sont accompagnées d'un rapport qui fournit de plus amples renseignements sur lesdits sols. Il est aussi possible de déterminer le type de sol en consultant le site ontario.ca/agricartes.

Les capteurs de rendement ont permis aux producteurs de voir à quel point la variabilité des caractéristiques du sol pouvait influencer sur les rendements. Consulter à ce sujet le chapitre 11, *Agriculture de précision*.

Variabilité des sols

En Ontario, la composition du sol varie grandement à cause de l'effet de raclement et de mélange attribuable au mouvement des glaciers. Pendant la fonte des glaciers, le vent et l'eau ont contribué avec le temps à une plus grande différenciation des sols. À certains endroits, la couche arable est très rapprochée du substratum rocheux, alors qu'ailleurs, elle compte plus de 100 m (328 pi) de profondeur. La profondeur de la couche arable varie en raison de la diversité des conditions de la formation des sols. Ces derniers diffèrent d'une région et d'une exploitation à l'autre, et même à l'intérieur d'un même champ. Voir la coupe transversale et les variations dans la profondeur des couches du sol présentées à la figure 8-6, *Variabilité des*

couches dans le sol. Cette variabilité naturelle s'observe souvent sur de très courtes distances.

Les producteurs agricoles sont conscients depuis des années de cette variabilité des couches du sol et tentent d'améliorer les parcelles moins productives.

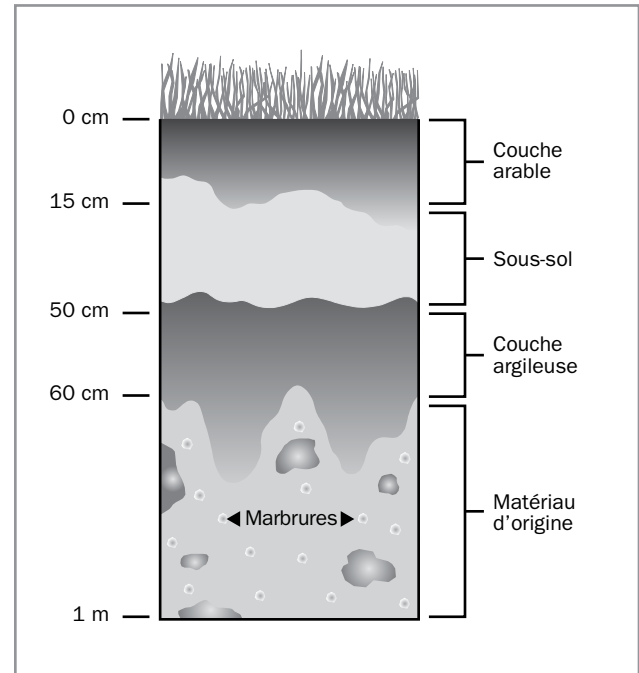


Figure 8-6 – Variabilité des couches dans le sol

9. Fertilité et éléments nutritifs

Principes de gestion optimale des éléments nutritifs

L'utilisation d'engrais donne seulement de bons résultats quand on prend en compte les données sur la fertilité du sol et l'apport en éléments nutritifs du fumier, des résidus de culture et d'autres sources de matière organique. D'une part, dans les champs très pauvres, on a parfois avantage à remettre dans le sol autant, voire plus d'azote, de phosphore et de potassium que ce qui est prélevé par la culture. D'autre part, toute fertilisation de sols déjà très fertiles ou venant de bénéficier d'un apport important en fumier pourrait ne pas être profitable et même nuire aux rendements.

Une bonne gestion de la nutrition des cultures implique non seulement de choisir les bonnes sources d'éléments nutritifs, mais aussi de les épandre au bon dosage, au bon moment et au bon endroit pour optimiser la production culturale et réduire au minimum les répercussions sur l'environnement.

Pour plus d'information sur la gestion des engrais et des éléments nutritifs, voir la publication 611F du MAAARO, *Manuel sur la fertilité du sol*.

Analyse de sol

L'analyse de sol est la méthode la plus précise qui soit pour déterminer les besoins d'une culture en apports supplémentaires d'éléments nutritifs. Elle comporte trois étapes :

1. Le prélèvement d'un échantillon représentatif du champ.
2. L'analyse de l'échantillon de sol à l'aide des méthodes reconnues par le MAAARO.
3. L'établissement des besoins de la culture en apports supplémentaires en fonction des résultats des analyses, dans un souci d'optimisation des rendements.

Autres méthodes d'évaluation des besoins en éléments nutritifs

L'analyse de tissus végétaux est la méthode la plus utilisée en arboriculture fruitière. Dans le cas des grandes cultures et des productions légumières, elle complète l'information fournie par l'analyse de sol. Des signes de carence nutritionnelle sur les feuilles peuvent être de bonnes indications dans certains cas; par contre, en particulier pour le phosphore et le potassium, ils ne sont pas si utiles puisque des pertes de rendement considérables peuvent se produire même avant l'apparition des signes.

On recommande parfois au producteur de remettre dans le sol la quantité d'éléments nutritifs qui a été prélevée par la culture. Cette approche se compare à celle reposant sur la suffisance, où l'on évalue la fertilité du sol et la rentabilité des cultures afin que les champs contiennent assez d'éléments nutritifs pour assurer un rendement économique maximal. Les directives relatives à la fertilité se fondent d'ailleurs sur cette approche. Certains sols renferment suffisamment de phosphore ou de potassium pour tenir de nombreuses années, et un épandage annuel n'est alors pas rentable et peut causer des problèmes environnementaux.

Les analyses de sol faites dans les laboratoires accrédités par le MAAARO constituent, avec les analyses de tissus végétaux et les signes de carence nutritionnelle, le meilleur moyen de déterminer les besoins en engrais d'une culture dans un champ donné. Si le producteur épand du fumier, les analyses de sol l'aideront à déterminer la quantité d'engrais commerciaux dont il aura besoin pour combler les besoins des cultures.

Programme d'analyse de sol du MAAARO

Le programme d'analyse de sol du MAAARO garantit la réalisation d'analyses adéquates qui orienteront les directives sur les besoins en azote, en phosphate, en potasse, en magnésium, en zinc et en manganèse, ainsi que les paramètres concernant la quantité et le type de chaux nécessaire. Les méthodes d'analyse utilisées ont été sélectionnées en raison de leur capacité à donner des résultats exacts pour tous les types de sols que l'on trouve en Ontario. Le tableau 9-1, *Analyses de sol*

reconnues par le MAAARO, dresse la liste des analyses de sol effectuées dans les laboratoires accrédités de l'Ontario.

La teneur en azote des nitrates peut être mesurée à partir d'un échantillon distinct prélevé à 30 cm (12 po) de profondeur. Voir les chapitres 1, *Maïs*, et 4, *Céréales*, pour en savoir plus.

Tableau 9-1 – Analyses de sol reconnues par le MAAARO

Matériaux analysés	Résultats ¹
Sols de grandes cultures, de gazon commercial, etc.	• Phosphore biodisponible (extractible à l'aide de bicarbonate de sodium) • Potassium, magnésium (extractible à l'aide d'acétate d'ammonium), manganèse et zinc (indice de pH du sol et extractible) • pH • Besoin en chaux (pH tampon Shoemaker, MacLean et Pratt [SMP])

¹ La teneur en matière organique donne une idée générale de la santé du sol et sert à formuler les recommandations relatives aux herbicides, mais elle n'est pas évaluée dans le cadre des analyses reconnues par le programme.

Se référer à l'annexe C, *Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario*, pour connaître la liste des laboratoires accrédités en Ontario.

Solvants d'extraction utilisés dans les analyses de sol reconnues par le MAAARO

Le phosphore biodisponible est mesuré au moyen d'un extrait de bicarbonate de sodium (aussi appelé méthode Olsen), et le potassium et le magnésium biodisponibles, à l'aide d'un extrait d'acétate d'ammonium. Le manganèse et le zinc sont rapportés sous forme d'indices qui tiennent compte à la fois de la quantité d'éléments nutritifs extraite de la terre et du pH du sol, qui a une énorme incidence sur la quantité d'éléments nutritifs assimilables par les plantes. Les résultats des analyses de sol pour les teneurs en phosphore, en potassium et en magnésium sont donnés en milligrammes par litre de sol (mg/l), ce qui est grosso modo l'équivalent des parties par million (ppm).

Analyses de sol de laboratoires non accrédités

Chaque année, un certain nombre de producteurs demandent au personnel du MAAARO d'interpréter les résultats d'analyses effectuées par des laboratoires non accrédités. Il est possible de déterminer les besoins en phosphate et en potasse, quel que soit le laboratoire, pour autant que les méthodes d'analyse et les unités utilisées soient les mêmes que celles des laboratoires accrédités; rien ne peut toutefois garantir l'exactitude des résultats.

La solution d'extraction du phosphore de la méthode Olsen a un pH de 8,5. Les solutions des méthodes Bray 1 et 2 et Mehlich 3 ont toutes un pH de 2,5 et peuvent surestimer la biodisponibilité du phosphore dans des sols alcalins, car elles solubilisent des formes non assimilables, comme certains phosphates de calcium. La méthode Olsen évalue de manière plus uniforme la biodisponibilité du phosphore dans les différents sols de l'Ontario. Toutefois, la méthode Mehlich 3 permet d'extraire une quantité de potassium comparable à celle extraite au moyen d'acétate d'ammonium.

Pour obtenir l'accréditation du MAAARO, un laboratoire doit respecter les méthodes d'analyse reconnues par le ministère, faire preuve d'une précision analytique acceptable et fournir les directives relatives aux engrais du ministère. Les analyses de sol reconnues par le MAAARO donneront les **directives relatives aux engrais qui conviennent le mieux aux grandes cultures en Ontario**.

Un certain nombre de laboratoires déterminent la capacité d'échange cationique ainsi que la teneur du sol en aluminium, en bore et en cuivre. Or, ces analyses ne sont pas reconnues par le MAAARO parce que rien n'indique qu'elles contribuent à améliorer les directives relatives aux engrais. Des études ont démontré qu'en Ontario, l'utilisation de la capacité d'échange cationique en vue d'ajuster les besoins en potasse peut mener à des directives moins fiables que celles actuellement fournies.

Tableau 9-2 – Directives d'échantillonnage visant à tenir compte des éléments nutritifs appliqués en bandes

Espace entre les bandes	Mise en place	Prélèvement
76 cm (30 po)	Semoir	Une carotte dans la bande pour chaque tranche de 20 carottes hors bande
30 cm (12 po)	Semoir	Une carotte dans la bande pour chaque tranche de 8 carottes hors bande
76 cm (30 po)	Travail du sol en bandes superficiel, injecteurs de fumier	Une carotte dans la zone pour chaque tranche de 3 carottes hors zone, lorsque la zone d'influence a 25 cm (10 po) de largeur
Espace entre les bandes connu; lieu inconnu	Semoir	Échantillons appariés : une carotte prise aléatoirement et une autre à 50 % de la distance d'espacement entre les bandes à partir du premier échantillon, perpendiculairement à la bande
Espace entre les bandes inconnu	Semoir	$S = 8 [x \div 30 \text{ cm}]$ $(S = 8 [x \div 12 \text{ po}])$ S = nombre de carottes prises entre les bandes (hors du rayon d'influence de la bande, qui est de 5 cm si les engrais sont épandus au semoir) x = espace entre les bandes en centimètres ou pouces

Sources : FERNANDEZ. « Assessment of Soil Phosphorus and Potassium following Real Time Kinematic-Guided Broadcast and Deep-Band Placement in Strip-Till and No-Till », 2012.

Étude autonome menant à l'obtention de crédits d'éducation permanente, *Crops & Soils*, édition de juillet-août.

KITCHEN, WESTFALL et HAVLIN. « Soil Sampling Under No-Till Banded Phosphorus », *Soil Science Society of America Journal*, volume 54, 1990, p. 1661 à 1665.

BALL COELHO, ROY, BRUIN, MORE et WHITE. « Zonejection: Conservation tillage manure nutrient delivery system », *Agronomy Journal*, numéro 101, 2009, p. 215 à 225.

Technologies d'échantillonnage du sol

Pour échantillonner le sol, il faut notamment une tarière ou une sonde d'échantillonnage. Dans le cas d'une analyse des oligo-éléments, le tube doit être en acier inoxydable. Il peut être utile d'utiliser un tournevis pour transférer la carotte de sol du tube d'échantillonnage à un contenant, comme un seau de plastique propre. Les échantillons doivent généralement être prélevés à une profondeur de 15 cm (6 po), mais il y a des exceptions. D'abord, les

échantillons d'azote des nitrates doivent être pris à une profondeur de 30 cm (12 po); ensuite, dans des champs en semis direct continu, où de l'azote a été pulvérisé à la volée et où de la chaux sera épandue, les échantillons pour l'analyse du pH doivent être prélevés à une profondeur de 10 cm (4 po).

Un échantillon est un mélange d'au moins 20 différentes carottes de sol représentatif d'une zone donnée. Chaque échantillon peut représenter au maximum 10 ha (25 ac). On doit prélever les carottes en zigzag dans la zone visée; voir à ce sujet la figure 10-1, *Schémas de dépistage*, au chapitre 10, *Dépistage*. Il faut éviter de prélever des carottes aux abords de chemins en gravier et aux endroits où l'on a entassé de la chaux, du fumier, du compost ou des résidus de culture. On doit prendre des échantillons distincts dans des zones suffisamment vastes pour être gérées séparément (p. ex. zones de gestion précises, buttes érodées). Il faut éviter de prélever des carottes dans des bandes fertilisées depuis peu, ou d'en prélever à la distance des bandes indiquée au tableau 9-2, *Directives d'échantillonnage visant à tenir compte des éléments nutritifs appliqués en bandes*.

Si on envoie tout le sol prélevé en laboratoire, il n'y a pas lieu de le mélanger : le personnel de l'établissement s'en chargera. Toutefois, avant de soumettre un sous-échantillon au laboratoire, il faut d'abord bien mélanger la terre, défaire les mottes et retirer les pierres et les résidus de culture. Il faut parfois faire sécher les sols à texture lourde (argileux) pour pouvoir les mélanger et créer des sous-échantillons. On doit envoyer l'échantillon ou le sous-échantillon – environ 400 g (1 lb) de terre – au laboratoire dans un sac étiqueté.

Échantillonnage fondé sur des données géoréférencées ou dirigé

En consignait le lieu d'échantillonnage au moyen de systèmes de localisation GPS, il est plus facile de prendre de nouveaux échantillons au même endroit les années suivantes et de localiser les zones d'échantillonnage ciblées à l'aide de données géoréférencées. Cette pratique permet aussi de créer des cartes pour la tenue de registres pluriannuels et l'épandage localisé d'éléments nutritifs ou de chaux.

Le nombre d'échantillons nécessaire pour évaluer un champ dépend de sa topographie et de la variabilité des sols qui y sont présents, ainsi que du nombre et du type de cultures. Pour diviser des zones de plus

de 10 hectares (25 acres), il faut se fonder sur les anciennes limites du champ ou les différences dans la gestion, comme les épandages précédents d'engrais, de fumier ou de chaux. On doit échantillonner séparément chacune des zones problématiques, ainsi qu'une zone adjacente où la croissance est normale, pour déterminer si les carences en éléments nutritifs nuisent à la croissance des cultures. L'échantillonnage en grille, qui consiste à prélever des carottes dans des espaces placés stratégiquement dans le champ, peut convenir pour créer une base de référence, mais cette méthode ne permet généralement pas de déterminer la variabilité des sols. Il faut intégrer les sous-divisions des champs aux zones d'échantillonnage selon la variabilité des types de sol, de la texture, de la topographie, du drainage ou des caractéristiques des cultures. On appelle cette pratique l'échantillonnage dirigé ou intelligent.

Il existe beaucoup de paramètres pour décrire la variabilité d'un champ et aussi, par conséquent, un grand nombre de moyens d'établir des zones

d'échantillonnage homogènes dans chaque champ. Une manière simple de procéder est de dessiner grossièrement sur une carte les différences connues en matière de texture, de topographie ou d'antécédents des champs ou d'épandage de fumier, puis d'échantillonner ces zones séparément. Cette méthode ne permet pas de produire automatiquement des cartes d'épandage localisé, mais peut convenir à certaines activités.

L'échantillonnage dirigé peut se fonder sur des cartes de rendement ou altimétriques, ou des mesures venant de capteurs ciblant les cultures ou le sol installés sur la machinerie (habituellement munis d'un GPS). Le tableau 9-3, *Capteurs servant à définir les zones de gestion et paramètres mesurés*, présente en détail les méthodes d'échantillonnage dirigé. La figure 9-1, *Image infrarouge traitée pour montrer l'indice de végétation par différence en vert*, est quant à elle une image du couvert végétal d'une culture prise au moyen d'un capteur optique infrarouge installé sur un véhicule aérien sans pilote (UAV).

Tableau 9-3 – Capteurs servant à définir les zones de gestion et paramètres mesurés

Plateforme	Capteur	Mesure	Indications sur le sol ou la culture
Capteurs au sol	Capteur optique (cultures)	Réflexion d'ondes infrarouges et proches infrarouges (fabricants : OptTRx, GreenSeeker)	Produit un indice de végétation par différence normalisée (IVDN), une indication de la biomasse présente à la surface.
	Capteur de profondeur de champ électromagnétique secondaire (sol)	Conductivité électrique (fabricants : EM38, Veris Industries, DUALEM, Soil Doctor)	Capacité d'échange cationique, argile, eau dans le sol, concentration en sodium. On peut utiliser l'exemple pour créer une carte des types de sol présents dans un champ.
	Capteur optique (sol)	Réflexion d'ondes proches infrarouges (700 à 900 nm)	Carbone organique, capacité d'échange cationique, eau dans le sol
Télédétection • Satellite • Avion • Véhicule aérien sans pilote (UAV)	Capteur optique (rayonnement électromagnétique)	Absorption et réflexion de la lumière par le sol et les plantes Plusieurs fourchettes d'ondes mesurées : • Ondes visibles (400 à 700 nm); • Ondes infrarouges (700 à 1 000 nm); • Ondes multispectrales (> 1 longueur d'onde) : bleu, vert, rouge, proche infrarouge – bandes de 50 à 120 nm; • Ondes hyperspectrales : spectre complet – bandes étroites (1 à 15 nm).	Éléments visibles : structure et santé de la plante, stress, volume, couleur du sol. Imagerie multispectrale : on utilise souvent les verts, l'infrarouge et le proche infrarouge pour créer des indices de végétation, p. ex. l'IVDN. Imagerie hyperspectrale : santé des cultures, humidité du couvert végétal, carences en éléments nutritifs.
	Capteur thermique	Rayonnement thermique – température	Santé des plantes et stress
	Radar (détection et télémétrie par radioélectricité)	Rétrodiffusion (fourchette et magnitude de l'énergie réfléchie) de rayonnement hyperfréquence; images de deux ou trois dimensions	Type de sol, minéraux, humidité, volume, santé et stress
	Lidar (détection et télémétrie par ondes lumineuses)	Délai entre l'envoi de l'impulsion laser vers la cible (sol) et son retour au capteur	Topographie haute résolution, structure de la végétation, calcul du volume des cultures

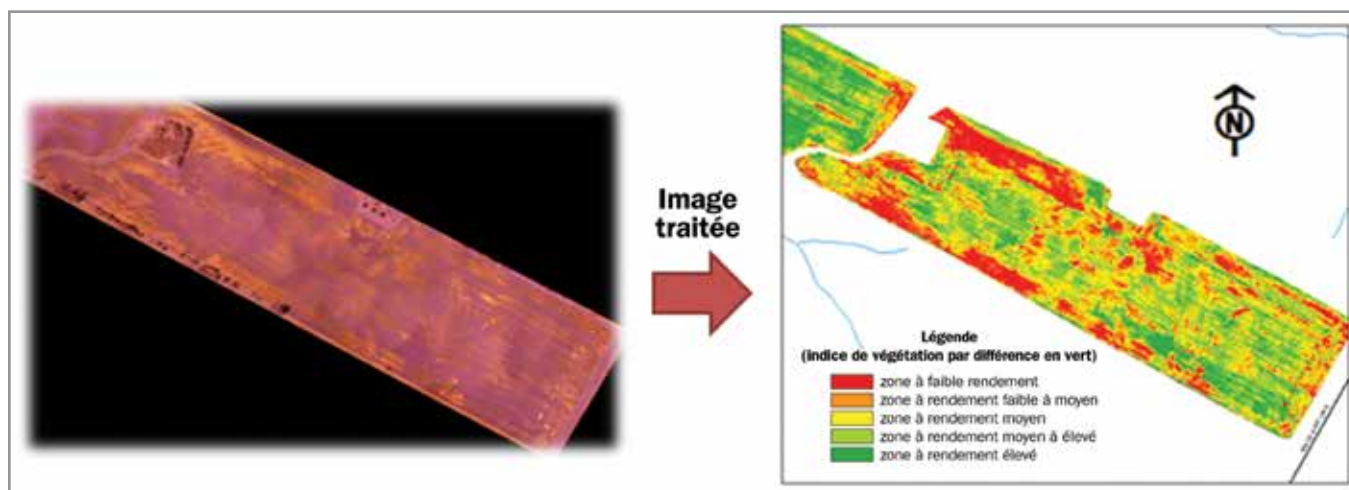


Figure 9-1 – Image infrarouge traitée pour montrer l’indice de végétation par différence en vert

On a transformé l’image en fausses couleurs (en haut à gauche) en indice de végétation par différence présenté en vert (en haut à droite) afin d’établir les zones d’échantillonnage devant être vérifiées dans le champ (réalité de terrain) ou étayées par d’autres données (p. ex. cartes de rendement).

Il faut savoir que la corrélation entre les mesures et les extrants cartographiés n’est pas toujours bien définie, comme quand on utilise des capteurs évaluant un paramètre pour produire des cartes traitant d’autres propriétés qui ont une corrélation faible ou inconnue avec le paramètre. En pareil cas, il faut prélever des échantillons de sol ou de tissus végétaux dans le champ pour vérifier les données des capteurs visant à cartographier des caractéristiques précises du sol ou des cultures.

Zones d’échantillonnage du sol (zones de gestion)

Zones de rendement pluriannuelles

Si les tendances liées au rendement sont stables depuis plusieurs années, on peut établir des zones en fonction des rendements normalisés. Normaliser les rendements, c’est déterminer dans quelle mesure le rendement est supérieur ou inférieur à la moyenne du champ. Chaque année, les zones sont classées en fonction de leur rendement faible, moyen ou élevé. On peut préparer des cartes de rendement normalisé pour la rotation en englobant tous les types de cultures, ou en analysant une même culture pendant un certain nombre d’années. En pareil cas, les zones d’échantillonnage se fondent uniquement sur les rendements. Souvent, pour les définir, on combine les

cartes de rendement avec d’autres cartes ou diverses connaissances du producteur.

La figure 9-2, *Carte topographique de zones d’échantillonnage définies selon le relief*, illustre une stratégie d’échantillonnage efficace qui fait bien correspondre la productivité des cultures avec la topographie. On peut obtenir des données altimétriques notamment au moyen du GPS d’un instrument agricole ayant de préférence un signal de qualité. Il faut exploiter le matériel qui passe le plus souvent dans le champ pour dresser un portrait complet de la variabilité topographique. À la figure 9-2, on a utilisé un ensemble de données altimétriques provenant d’un semoir de 12 m (40 pi) guidé par un système de positionnement cinématique en temps réel (RTK) et un GPS pour établir des zones d’échantillonnage et ensuite les représenter en trois dimensions. Les échantillons composites sont prélevés dans trois différentes zones topographiques qui ont un bon drainage (butte), un mauvais drainage (faible dépression) ou un drainage non uniforme (pente sur le côté). On mélange les carottes pour obtenir un échantillon par catégorie de relief, en présumant que la texture est similaire dans toute la zone.

Utilisation des résultats des analyses de sol

Les résultats des analyses de sol peuvent servir à définir des zones de gestion pour l’épandage d’éléments nutritifs et de chaux. Si les besoins des différentes zones d’échantillonnage sont identiques ou sensiblement les mêmes, on peut les fusionner pour créer de grandes zones de gestion. Les zones de gestion du sol doivent présenter des besoins en éléments nutritifs semblables

et être suffisamment vastes pour que l'on puisse utiliser efficacement le matériel d'épandage sur place. On doit employer un système d'information géographique (SIG) pour créer des cartes de prescription d'épandage d'éléments nutritifs ou de chaux et ainsi adapter la dose d'épandage. Il faut copier la carte de prescription dans le logiciel du tracteur ou du doseur et ajuster la dose comme il se doit pendant que la machine circule dans le champ. On peut en outre varier la dose d'épandage en fonction d'autres facteurs : par exemple, on peut réduire la quantité d'éléments nutritifs à épandre dans les zones à faible rendement présentant les mêmes résultats d'analyses de sol que ceux de zones à fort rendement pour compenser la faible absorption des éléments nutritifs. Si c'est un problème d'eau et non la fertilité du sol qui réduit les rendements, il peut être plus profitable d'épandre moins d'engrais dans les zones à texture grossière du champ, même si les recommandations liées aux éléments nutritifs découlant des analyses de sol sont les mêmes.

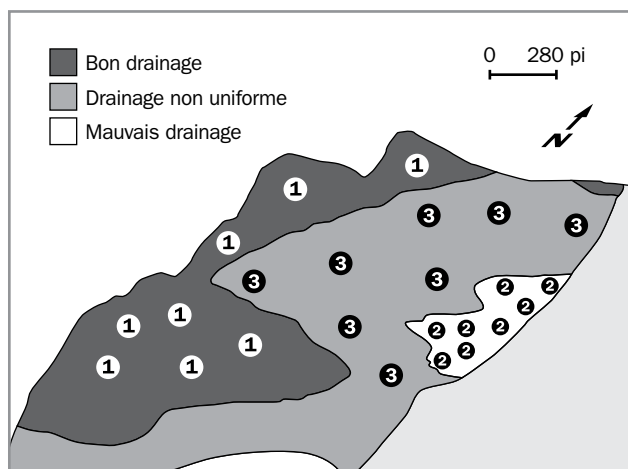


Figure 9-2 – Carte topographique de zones d'échantillonnage définies selon le relief

Fréquence de l'échantillonnage

Il faut prélever des échantillons dans les champs assez souvent pour détecter les changements qui s'opèrent dans le sol avant qu'ils commencent à influencer considérablement le rendement des cultures ou les besoins en engrais. La réalisation d'un échantillonnage aux trois ans convient à la plupart des exploitations agricoles. L'analyse est souvent réalisée une fois par cycle de rotation, toujours au même stade. Lorsqu'une grande quantité de potassium est prélevée (p. ex. luzerne à fort rendement, maïs à ensilage), la teneur du sol en cet élément nutritif peut changer rapidement; il faut donc échantillonner le sol plus souvent.

Moment de l'année

Compte tenu des délais de transport et d'analyse, il faut prendre les échantillons à l'automne, avant de fertiliser les champs pour les cultures semées au printemps. Toutefois, vu le surcroît de travail au moment des récoltes et la fréquence des pluies à cette période de l'année, l'été est parfois un meilleur moment. En prenant des échantillons à la même période chaque année, on peut faire un suivi plus précis des tendances au fil du temps.

Boîtes à échantillons et feuilles de renseignements

On peut obtenir des boîtes à échantillons de sol, des feuilles de renseignements ainsi que le prix des différentes analyses auprès des laboratoires accrédités ou de nombreux fournisseurs d'engrais et de produits agricoles.

Les pratiques de gestion comme l'épandage de fumier et l'enfouissement de foin de légumineuses peuvent avoir une incidence sur les résultats des analyses de sol et sur les besoins en engrais. Essentielles à la création d'un équilibre entre les réserves d'éléments nutritifs et les besoins des cultures, les données de gestion doivent être consignées dans la feuille de renseignements sur le champ qui accompagne les échantillons de sol soumis pour analyse.

Analyse des oligo-éléments

Les analyses de sol reconnues par le MAAARO peuvent aussi indiquer la teneur du sol en zinc et en manganèse. Dans le cas du zinc, pour la culture du maïs, la meilleure méthode consiste à associer les résultats d'analyse avec les signes de carence. Pour ce qui est du manganèse, l'analyse des tissus, les signes de carence et l'analyse de sol sont tous utiles. Par contre, il n'y a pas d'analyses reconnues par le MAAARO pour le bore, le cuivre, le fer et le molybdène, car les analyses actuelles ne permettent pas de bien évaluer leur biodisponibilité. En général, les analyses des tissus végétaux donnent une meilleure indication des carences en ces éléments.

Contamination

Certaines précautions s'imposent si on ne veut pas fausser les résultats des analyses de sol par le contact des échantillons avec des oligo-éléments, en particulier le zinc. C'est pourquoi il ne faut pas utiliser de sondes à tube galvanisé (plaqué de zinc) pour échantillonner un sol dans lequel on veut déterminer les teneurs en oligo-éléments. Il faut également éviter de recueillir et de mélanger les échantillons dans des contenants en métal, et utiliser plutôt des contenants en plastique propres.

Échantillonnage du sol

Dans les champs, les carences en oligo-éléments se présentent fréquemment sous forme de petits îlots. En pareil cas, les échantillons de sol ou de tissus végétaux pris à la grandeur du champ ne permettront probablement pas de déceler le problème. Il faut prélever des échantillons distincts dans les secteurs qui semblent présenter des carences et dans ceux qui n'en présentent pas afin de pouvoir comparer les résultats d'analyse.

Analyse des tissus végétaux

L'analyse des tissus végétaux permet de mesurer la teneur en éléments nutritifs des tissus d'une plante. En comparant les résultats aux valeurs « normales » et « critiques » pour une culture donnée, on peut déterminer si l'apport en éléments nutritifs est propice à la croissance optimale de la plante.

C'est sur l'analyse des tissus végétaux que reposent les recommandations d'engrais pour les arbres fruitiers et la vigne. Par ailleurs, elle complète les renseignements fournis par l'analyse de sol quand il s'agit d'évaluer le niveau de fertilité pour d'autres cultures. Indépendante de l'analyse de sol, elle permet de vérifier l'exactitude des teneurs en phosphore, en potassium, en magnésium et en manganèse. Elle n'indique pas toutefois de manière fiable les teneurs du sol en azote et en zinc. Pour le bore et le cuivre, il n'existe pas d'analyses de sol concluantes, donc l'analyse des tissus végétaux et le repérage des signes de carence sur la plante restent les seuls moyens de diagnostiquer de telles carences.

L'analyse des tissus végétaux a aussi ses limites. Il est souvent difficile d'en interpréter les résultats, car elle n'indique généralement pas la cause de la carence ni la quantité d'engrais nécessaire pour la suppléer. Elle est surtout utile lorsqu'elle est combinée à l'inspection visuelle de l'état de la culture et du sol, à la connaissance des pratiques culturales utilisées antérieurement et à une analyse de sol récente qui indique les teneurs en éléments nutritifs et le pH du sol.

En Ontario, il n'existe aucun processus officiel d'accréditation des laboratoires d'analyse des tissus végétaux. Cependant, les laboratoires accrédités en analyse de sol qui exécutent des analyses de tissus font l'objet d'une surveillance, et chacun d'eux est en mesure d'effectuer une analyse valable des tissus végétaux et de bien interpréter les résultats.

Échantillonnage

Le moment où l'on effectue le prélèvement des tissus a une grande incidence sur les résultats, car les teneurs en éléments nutritifs de la plante varient considérablement selon son âge. On présente les stades de croissance recommandés dans les chapitres consacrés aux différentes cultures. Les résultats seront difficiles à interpréter si les échantillons sont pris à des moments autres que ceux recommandés. Il faut toutefois échantillonner les plants soupçonnés de carence en éléments nutritifs dès que le problème se manifeste. Il est préférable de prélever les échantillons aux endroits précis où il y a des signes de carence plutôt que dans le champ tout entier, et il est souvent utile de recueillir aussi des échantillons de plantes saines dans un secteur adjacent à des fins de comparaison.

On doit prélever des échantillons de tissus sur au moins 20 plants répartis un peu partout dans la zone choisie. Chaque échantillon doit se composer d'au moins 100 g (3,5 oz) de tissus frais et être exempt de toute contamination avec de la terre, car même une infime quantité de terre peut fausser les résultats, surtout lorsque l'analyse porte sur les oligo-éléments. Il faut aussi échantillonner en même temps des zones déficientes et en bonne condition pour établir un diagnostic.

Préparation de l'échantillon

Les échantillons de tissus végétaux fraîchement prélevés doivent être expédiés directement au laboratoire. Si l'expédition ne se fait pas dans l'immédiat, il faut faire sécher les tissus végétaux pour éviter qu'ils se détériorent. On peut faire sécher les échantillons au four à 65 °C ou moins, ou au soleil en prenant soin qu'aucune particule de terre ou de poussière ne puisse les contaminer. Il faut éviter tout contact des tissus avec des contenants galvanisés (plaqués de zinc) ou faits de cuivre ou de laiton.

Directives relatives aux engrais

Acidité du sol et chaulage

L'échelle de pH, qui s'étend de 0 à 14, sert à définir le degré d'acidité ou d'alcalinité du sol. Le sol est neutre s'il a un pH de 7,0, est acide si son pH est inférieur à 7,0 et est alcalin si son pH est supérieur à 7,0. La plupart des grandes cultures poussent bien lorsque le pH se situe entre 6,0 et 8,0.

Pour modifier l'acidité du sol, on peut épandre à la volée de la chaux moulue et l'enfouir dans le sol, aux doses déterminées selon les résultats d'analyses du sol. Le tableau 9-4, *Directives de chaulage pour les cultures de l'Ontario*, indique le pH au-dessous duquel le chaulage est recommandé, ainsi que la valeur cible selon la culture. En Ontario, la plupart des cultures poussent bien à un pH plus élevé que celui où le chaulage est recommandé. Le pH du sol est une mesure du degré d'acidité du sol et indique si le chaulage est nécessaire à la culture. Il ne permet pas d'évaluer la quantité d'acidité de réserve.

pH tampon

Le pH tampon est la quantité d'acidité de réserve maintenue dans l'argile et les particules de matière organique dans le sol à partir de laquelle on déterminera la quantité de chaux nécessaire. Des quantités différentes d'acidité de réserve signifient que deux sols présentant le même pH auront besoin de quantités différentes de chaux pour redresser le pH à la valeur voulue. Plus la quantité d'acidité de réserve est grande, moins le pH tampon est élevé et plus il faut de chaux pour augmenter le pH. À l'aide du tableau 9-4 *Directives de chaulage pour les cultures de l'Ontario*, on peut déterminer la quantité de chaux dont ont besoin les sols qui en manquent pour atteindre les différents pH cibles.

Qualité de la chaux

La chaux calcitique contient surtout du carbonate de calcium, et la chaux dolomitique, des carbonates de magnésium et de calcium. Il faut utiliser la chaux dolomitique sur les sols dont la teneur en magnésium est de 100 ou moins, car c'est une excellente source de magnésium bon marché pour les sols acides. Dans les sols dont l'analyse révèle une teneur en magnésium supérieure à 100, les deux types de chaux peuvent être utilisés.

L'efficacité de la chaux dépend de deux facteurs importants : la valeur neutralisante et la finesse de mouture. La valeur neutralisante de la chaux est sa capacité à neutraliser l'acidité du sol lorsqu'elle est complètement dissoute. On l'exprime en pourcentage de la valeur neutralisante du carbonate de calcium pur. Un échantillon de chaux qui neutralise 90 % de l'acidité possède une valeur neutralisante de 90. En général, plus la chaux contient de calcium et de magnésium, plus sa valeur neutralisante est élevée. Voir à ce sujet le tableau 9-5, *Quantité de chaux nécessaire pour corriger l'acidité du sol en fonction du pH et du pH tampon*.

Tableau 9-4 – Directives de chaulage pour les cultures de l'Ontario

Type de sol	Cultures	pH au-dessous duquel le chaulage est bénéfique	pH cible ¹
Sols minéraux à texture grossière ou moyenne (sables, loams sableux, loams et loams limoneux)	Légumineuses vivaces, avoine, orge, blé, triticales, haricots, pois, canola, lin, tomates, framboises, fraises, et toute autre culture qui ne figure pas ci-dessous	6,1	6,5
	Maïs, soya, seigle, foin de graminées, pâturage, tabac	5,6	6,0
	Pommes de terre	5,1	5,5
Sols minéraux à texture fine (argiles et loams argileux)	Luzerne, choux, rutabagas	6,1	6,5
	Autres légumineuses vivaces, avoine, orge, blé, triticales, soya, haricots, pois, canola, lin, tomates, framboises, et toute autre culture qui ne figure ni ci-dessus, ni ci-dessous	5,6	6,0
	Maïs, seigle, foin de graminées, pâturage	5,1	5,5
Sols organiques (tourbe et terre noire)	Toutes les grandes cultures et les cultures légumières	5,1	5,5

¹ Quand la culture est en rotation avec d'autres cultures nécessitant un pH plus élevé (par exemple le maïs en rotation avec le blé ou la luzerne), il est recommandé de chauler le sol afin d'atteindre le pH le plus élevé.

Tableau 9-5 – Quantité de chaux nécessaire pour corriger l'acidité du sol en fonction du pH et du pH tampon

Chaux moulue nécessaire – t/ha (t. c./ac) (en fonction d'un indice agricole de 75)				
pH tampon ¹	pH cible			
	7,0	6,5 ²	6,0 ³	5,5 ⁴
7,0	2 (0,9)	2 (0,9)	1 (0,5)	1 (0,5)
6,9	3 (1,3)	2 (0,9)	1 (0,5)	1 (0,5)
6,8	3 (1,3)	2 (0,9)	1 (0,5)	1 (0,5)
6,7	4 (1,8)	2 (0,9)	2 (0,9)	1 (0,5)
6,6	5 (2,2)	3 (1,3)	2 (0,9)	1 (0,5)
6,5	6 (2,7)	3 (1,3)	2 (0,9)	1 (0,5)
6,4	7 (3,1)	4 (1,8)	3 (1,3)	2 (0,9)
6,3	8 (3,6)	5 (2,2)	3 (1,3)	2 (0,9)
6,2	10 (4,5)	6 (2,7)	4 (1,8)	2 (0,9)
6,1	11 (4,9)	7 (3,1)	5 (2,2)	2 (0,9)
6,0	13 (5,8)	9 (4,0)	6 (2,7)	3 (1,3)
5,9	14 (6,2)	10 (4,5)	7 (3,1)	4 (1,8)
5,8	16 (7,1)	12 (5,4)	8 (3,6)	4 (1,8)
5,7	18 (8,0)	13 (5,8)	9 (4,0)	5 (2,2)
5,6	20 (8,9)	15 (6,7)	11 (4,9)	6 (2,7)
5,5	20 (8,9)	17 (7,6)	12 (5,4)	8 (3,6)
5,4	20 (8,9)	19 (8,5)	14 (6,2)	9 (4,0)
5,3	20 (8,9)	20 (8,9)	15 (6,7)	10 (4,5)
5,2	20 (8,9)	20 (8,9)	17 (7,6)	11 (4,9)
5,1	20 (8,9)	20 (8,9)	19 (8,5)	13 (5,8)
5,0	20 (8,9)	20 (8,9)	20 (8,9)	15 (6,7)
4,9	20 (8,9)	20 (8,9)	20 (8,9)	16 (7,1)
4,8	20 (8,9)	20 (8,9)	20 (8,9)	18 (8,0)
4,7	20 (8,9)	20 (8,9)	20 (8,9)	20 (8,9)
4,6	20 (8,9)	20 (8,9)	20 (8,9)	20 (8,9)

¹ En Ontario, le pH tampon est mesuré au moyen du tampon Shoemaker, MacLean et Pratt (SMP). D'autres territoires peuvent utiliser des tampons différents qui donnent des résultats similaires, mais non identiques.

² Chaulage nécessaire si le pH est inférieur à 6,1.

³ Chaulage nécessaire si le pH est inférieur à 5,6.

⁴ Chaulage nécessaire si le pH est inférieur à 5,1.

Le deuxième facteur qui influe sur le pouvoir neutralisant de la chaux est la finesse de sa mouture. En effet, une pierre à chaux a une surface de contact avec l'acidité du sol bien moins grande que si elle est réduite en poudre; pour cette raison, elle neutralise beaucoup moins vite l'acidité et, à toutes fins utiles, a peu de valeur. Le calcul de la cote de finesse de la chaux moulue est illustré au tableau 9-6, *Exemple de calcul de la finesse de mouture de la chaux*.

Tableau 9-6 – Exemple de calcul de la finesse de mouture de la chaux

Taille des particules	% de l'échantillon	x	Facteur d'efficacité	=	Cote
Plus grosses qu'un tamis n° 10 ¹	10 %	x	0	=	0
Tamis n° 10 à 60 ²	40 %	x	0,4	=	16
Plus petites qu'un tamis n° 60	50 %	x	1,0	=	50
Cote de finesse					66

¹ Un tamis Tyler n° 10 a des mailles de 2,0 mm.

² Un tamis Tyler n° 60 a des mailles de 0,25 mm.

Indice agricole

Un indice agricole de la chaux a été mis au point en Ontario pour permettre la comparaison de chaux ayant une valeur neutralisante et une finesse de mouture différentes.

$$\text{Indice agricole} = \frac{\text{Valeur neutralisante x finesse de mouture}}{100}$$

L'indice agricole peut servir à comparer l'efficacité relative de différentes chaux à neutraliser l'acidité du sol. La chaux possédant un indice agricole élevé vaut proportionnellement plus que la chaux possédant un indice plus faible, car elle peut être appliquée à des doses inférieures.

Par exemple, si deux pierres à chaux moulues, A et B, ont des indices agricoles de 50 et 80 respectivement, la dose de A requise pour certains sols sera de 80/50 fois la dose de B. Donc, la chaux A vaut 50/80 fois le prix de la chaux B par tonne.

Les directives associées aux analyses du pH et du pH tampon du sol reconnues par le MAAARO se fondent sur une chaux ayant un indice agricole de 75. Si l'indice agricole de la chaux est connu, on peut calculer la dose précise pour une chaux de cette qualité à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Taux de chaulage selon l'analyse de sol} \times \frac{75}{\text{Indice agricole de la chaux}} = \text{Dose de chaulage}$$

Par exemple, si la dose requise, d'après l'analyse de sol, est de 9 t/ha (4 t. c./ac) et que la chaux offrant le meilleur rapport qualité-prix possède un indice agricole de 90, il faudra appliquer 7,5 t/ha, ou 3,3 t. c./ac ($75/90 \times 9$).

L'indice agricole ne fournit aucune indication sur la teneur en magnésium de la chaux. Il faut utiliser de la chaux dolomitique sur les sols pauvres en magnésium.

Profondeur du travail du sol

La quantité de chaux indiquée au tableau 9-5, *Quantité de chaux nécessaire pour corriger l'acidité du sol en fonction du pH et du pH tampon*, devrait élever le pH des 15 premiers cm (6 po) de sol au pH cible précisé. Si le sol est labouré à une profondeur supérieure ou inférieure à 15 cm (6 po), il faut proportionnellement plus ou moins de chaux pour atteindre le même pH cible. Quand on réduit la profondeur de travail du sol, on doit diminuer la dose proportionnellement. Un chaulage plus fréquent sera alors nécessaire. Pour des champs en semis direct où des engrais ont été épandus à la surface, il faut prendre des échantillons dans les premiers 10 cm (4 po) du sol pour déterminer le pH, et épandre les deux tiers de la dose indiquée au tableau 9-5.

Diminution du pH du sol

Lorsque le pH est inférieur à 6,5, il est possible d'abaisser le pH (rendre le sol plus acide) en lui ajoutant du soufre ou du sulfate d'ammonium. Cet apport peut être opportun pour certaines cultures, notamment pour lutter contre la galle de la pomme de terre, mais, en général, il ne convient pas aux cultures de rotation. On ne peut pas faire alterner le pH du sol, de faible à moyen, d'une année à l'autre. Si le pH du sol est supérieur à 6,5, il est déconseillé – et habituellement très peu pratique – d'abaisser le pH en raison des grandes quantités de soufre ou de sulfate d'aluminium nécessaires.

Azote

Les directives relatives aux engrais azotés pour les grandes cultures figurent dans les tableaux de la section *Gestion de la fertilisation* de chaque chapitre consacré à une culture. Les doses sont diminuées quand on épand du fumier ou si la culture précédente comprenait des légumineuses vivaces comme la luzerne.

Afin de préserver la qualité de la culture et d'éviter toute pollution de l'eau souterraine, il faut s'assurer que l'apport total en azote biodisponible provenant

notamment d'engrais, de fumier, de biosolides et de résidus n'excède jamais les besoins de la culture.

Phosphate et potasse

Les directives relatives au phosphate et à la potasse se fondent sur les résultats des analyses de sol reconnues par le MAAARO. Les besoins des cultures en ces deux éléments nutritifs sont présentés à la section *Gestion de la fertilisation* de chaque chapitre consacré à une culture. On doit utiliser ces tableaux uniquement avec les résultats d'analyses de sol reconnues par le MAAARO. Les analyses non accréditées peuvent utiliser des solvants d'extraction qui retirent des quantités différentes d'éléments nutritifs; leurs résultats ne peuvent donc pas être interprétés convenablement avec les tableaux du MAAARO.

Teneur du sol en phosphore

Il faut bien lire les résultats de l'analyse utilisant la méthode Olsen (bicarbonate de sodium) pour évaluer la teneur en phosphore. On ne peut pas se fonder sur d'autres méthodes, comme les Bray ou le Mehlich 3, pour déterminer les recommandations en matière d'engrais en fonction des sections *Gestion de la fertilisation* de la présente publication.

Un examen a été réalisé en 2015 sur les recommandations liées au phosphate et à la potasse en Ontario. L'exercice consistait à cibler 368 essais provinciaux menés de 1969 à 2013 sur le rendement de cultures recevant des engrais de phosphore et de potassium. Il en est ressorti que le rendement économique du maïs, du soya, du blé et de la luzerne était habituellement faible quand le sol avait une teneur en phosphore de plus de 12 ppm (méthode Olsen) ou une teneur en potassium de plus de 100 ppm (*An Ontario P + K Database to Affirm and Update BMPs in Field Crop Production Systems*, Janovicek et coll., 2015). En pareil cas, c'est une dose d'épandage de 20 kg/ha (18 lb/ac) de P_2O_5 et de 20 à 30 kg/ha (18 à 27 lb/ac) de K_2O qui donnait généralement les meilleurs rendements économiques. À la lumière de ces résultats, les auteurs de l'examen ont indiqué qu'une teneur en phosphore de 12 à 18 ppm et en potassium de 100 à 130 ppm constituait la fourchette de valeurs optimale. À ce jour, aucune analyse économique complète n'a été réalisée en Ontario concernant la rentabilité à long terme du maintien du sol au-dessus des teneurs en phosphore et en potassium susmentionnées.

Réserves de phosphore dans le sol

Le phosphore du sol a trois « réserves » principales :

Phosphore en solution : phosphore se trouvant dans l'eau du sol. Il ne représente qu'une infime portion de tout le phosphore dans le sol, soit généralement moins de 1,12 kg/ha (1 lb/ac).

Phosphore actif : phosphore à l'état solide qui alimente la réserve de phosphore en solution. Principale source de phosphore biodisponible pour les cultures, il provient de minéraux (p. ex. phosphate de calcium), de phosphore inorganique attaché aux particules de sol, et de phosphore minéralisé à partir de matière organique.

Phosphore fixé : phosphate inorganique non biodisponible et phosphore organique qui ne minéralise pas. Il peut demeurer des années dans le sol sans jamais devenir assimilable par les plantes.

Source : *The Nature of Phosphorus in Soils*, Busman et coll., 2009. www.extension.umn.edu

La surveillance régulière du sol au moyen d'analyses et le maintien de teneurs raisonnables en éléments nutritifs jouent un rôle important dans la gestion des risques associés à une exploitation agricole. Il importe également de noter que les résultats des analyses de sol ne sont qu'une estimation de la biodisponibilité des éléments nutritifs. Dans le cas du phosphore et du potassium, la valeur indiquée dans l'analyse de sol correspond à la proportion de ces éléments nutritifs qui est biodisponible, soit un petit pourcentage de la quantité totale présente dans le sol. Par exemple, pour le phosphore, la valeur équivaut à la quantité de phosphate que les plantes peuvent, de façon modérée, assimiler dans l'immédiat, soit le phosphore en solution et une partie du phosphore actif (voir la barre sur le côté). Les engrais phosphatés épandus sont hautement solubles et intègrent d'abord la réserve en solution; toutefois, une partie de ces engrais, à la suite d'une réaction chimique, intégrera la réserve de phosphore fixé, qui n'est pas assimilable par les plantes. En raison de la nature réactive et non mobile du phosphate, il est plus efficace de l'épandre en bandes près des racines des cultures pour qu'il soit absorbé au maximum au cours de l'année d'épandage.

Un sol fertile a nécessairement une bonne structure. Ainsi, un réseau de racines étendu permet à la culture d'absorber les éléments nutritifs d'un plus

grand volume de sol, ce qui est particulièrement important dans le cas d'éléments non mobiles comme le phosphate. Un sol sain et ayant une bonne structure recyclera mieux les éléments nutritifs, ce qui améliorera l'apport en éléments nutritifs, notamment le phosphore et le potassium, provenant de la décomposition des résidus, de la matière organique et des minéraux du sol.

Sans analyse de sol, on peut se faire une idée générale des besoins à l'aide des tableaux de directives relatives au phosphate et à la potasse. Il suffit de suivre les consignes suivantes :

- Si le champ est fertilisé régulièrement depuis de nombreuses années ou s'il a été fortement fertilisé au cours des dernières années, il faut utiliser la dose de phosphate et de potasse recommandée pour la cote moyenne (RM).
- Si le champ a reçu peu d'engrais par le passé, on doit utiliser l'une des doses recommandées pour une cote élevée (RÉ).
- Les sols dont la cote du phosphore est nulle (RN) contiennent beaucoup plus de phosphore biodisponible qu'il est nécessaire pour la plupart des cultures.

Il n'est pas conseillé d'épandre du phosphore, que ce soit sous forme d'engrais, de compost, de fumier ou de biosolides, car cela pourrait réduire les rendements ou la qualité de la culture. Ainsi, des apports en phosphate peuvent entraîner des carences en zinc dans les sols pauvres en cet élément nutritif et augmenter les risques de pollution de l'eau.

Le risque de contamination des eaux de surface par le phosphore est plus grand si la teneur en phosphore est plus élevée selon l'analyse de sol. Comme le phosphore se lie fortement aux particules de sol, le déplacement de ces dernières hors du champ par érosion constitue aussi un risque important de contamination. C'est pourquoi la contamination des eaux de surface par le phosphore ne peut être évaluée uniquement d'après la teneur en phosphore indiquée dans l'analyse de sol. Si les résultats des analyses de sol donnent une cote d'efficacité très faible ou nulle aux apports en phosphore, il faut alors appliquer toute source de phosphore en se basant sur un indice-phosphore. Il convient de se référer au logiciel NMAN ou à la fiche technique du MAAARO, *Détermination de l'indice-phosphore dans un champ*, tous deux disponibles à l'adresse ontario.ca/omafra. L'indice-phosphore indique le risque relatif de contamination des eaux de surface selon les applications

effectuées dans un secteur particulier du champ. Il définit également les doses maximales d'application, si du fumier a été épandu, et une distance de retrait minimale par rapport aux cours d'eau.

Magnésium

Le magnésium est un élément nutritif présent naturellement en abondance dans beaucoup de sols en Ontario. Bien que rares, les sols dont la teneur en magnésium est inférieure à 20 ppm, selon les résultats d'analyses du MAAARO, ont besoin d'un apport en magnésium pour supporter la plupart des cultures. Lorsque le pH du sol est inférieur à 6,0, et la teneur en magnésium, à 100 ppm, l'épandage de chaux dolomitique constitue le moyen le plus efficace et économique de suppléer une carence en magnésium. Dans les sols plus riches en magnésium, il faut utiliser soit de la chaux dolomitique, soit de la chaux calcitique pour corriger le pH. Dans les sols où le pH est supérieur à 6,0 et où la concentration de magnésium est de 20 ppm ou moins, l'apport en magnésium peut provenir de sulfate de magnésium ou de sulfate de potasse et de magnésie (mélange de sulfate de potassium et de sulfate de magnésium). Il faut épandre 30 kg de magnésium soluble par hectare (27 lb/ac). Soulignons que ces dernières solutions sont habituellement plus coûteuses que l'épandage de chaux dolomitique comme source de magnésium.

Puisque le potassium et le magnésium entrent en concurrence au niveau de l'absorption par les plantes, l'épandage de potasse peut entraîner une carence en magnésium ou aggraver une carence existante. On doit donc vérifier la teneur du sol en potassium et faire preuve de vigilance lorsqu'on fournit un engrais potassique à des sols pauvres en magnésium.

Sur un certain nombre de sols de l'Ontario, les cultures ont une concentration en magnésium tellement basse que la santé du bétail qui se nourrit de ces végétaux en souffre, même si la croissance des plantes ne semble nullement affectée. Dans de tels cas, il coûte habituellement beaucoup moins cher de suppléer la carence dans la ration du bétail que par la fertilisation du sol. Il faut surveiller attentivement la teneur du sol en potassium et n'épandre que la quantité de potasse requise selon les résultats de l'analyse de sol.

Calcium

Les carences en calcium ne causent pas d'ennuis dans les sols de l'Ontario dont le pH convient aux grandes cultures.

Soufre

Le soufre, qui provient des pluies acides et est fourni par le fumier et la décomposition de la matière organique, suffit souvent à répondre aux besoins des cultures. Toutefois, les carences en cet élément nutritif sont en hausse en raison de la baisse de l'apport des dépôts atmosphériques. L'apport en soufre venant des précipitations a diminué de plus de 5 kg/ha au cours des 20 dernières années. Dans de nombreux essais, le rendement des cultures augmente après l'épandage de soufre, surtout dans le cas du canola, de la luzerne, des cultures fourragères et du blé. Pour combler les besoins en soufre, on a recours à du sulfate d'ammonium, à du sulfate de calcium (gypse), à de l'hyposulfite d'ammonium, à du sulfate de potassium ou à du soufre élémentaire, qui doit être oxydé sous la forme de sulfate pour que les végétaux puissent l'absorber. Il faut épandre le soufre élémentaire quelques mois avant de planter une culture ayant besoin de cet élément nutritif, ou à l'automne dans le cas d'une culture de luzerne établie.

Oligo-éléments

Il faut épandre des oligo-éléments seulement lorsque l'expérience en montre la nécessité ou sur les conseils d'une personne compétente. En général, il est préférable de faire l'épandage pendant les travaux de préparation du sol, et les pulvérisations foliaires, durant la saison de croissance. On doit ajouter un produit mouillant adhésif dans les solutions d'oligo-éléments pulvérisées directement sur le feuillage.

Il ne faut pas mélanger d'oligo-éléments avec les insecticides ou les fongicides à pulvériser, sauf si le fabricant mentionne que ces mélanges peuvent être faits.

Manganèse

Prévenir et suppléer les carences en manganèse

La carence en manganèse présente comme signe principal une chlorose internervaire des feuilles, qui commence sur les jeunes feuilles. Plus tard, toute la plante peut être touchée. Chez les céréales, la carence en manganèse se manifeste par un jaunissement général et un rabougrissement, parfois accompagnés de taches grises sur les feuilles. Le soja, les haricots secs comestibles et les céréales sont les cultures les plus susceptibles d'avoir une carence en manganèse.

Le manganèse est moins assimilable dans les sols à pH élevé. Il est donc important de ne pas ajouter plus de chaux que nécessaire pour corriger le degré

d'acidité du sol. La forme oxydée du manganèse est moins assimilable que sa forme réduite, ce qui explique pourquoi les signes apparaissent parfois dans des zones bien aérées et peu compactées. Pour plus de renseignements sur les produits et les doses à utiliser pour pallier une carence, se référer aux sections *Oligo-éléments* des chapitres consacrés aux différentes cultures. L'interprétation des résultats des analyses de sol pour le manganèse est présentée au tableau 9-7, *Interprétation des résultats sur le manganèse*.

Tableau 9-7 – Interprétation des résultats sur le manganèse

Teneur du sol en manganèse ¹	Mesures suggérées
Supérieure à 30	La biodisponibilité du manganèse est adéquate pour les grandes cultures.
16 à 30	La biodisponibilité du manganèse est adéquate pour de nombreuses cultures mais s'approche des niveaux de carence pour l'avoine, l'orge, le blé et le soya. Si des signes de carence apparaissent, il faut faire une pulvérisation de manganèse. On peut vérifier le tout au moyen d'une analyse des tissus végétaux.
Inférieure à 16	La biodisponibilité du manganèse est sans doute insuffisante pour l'avoine, l'orge, le blé et le soya. On doit faire une pulvérisation de manganèse au stade 4 feuilles des céréales, puis répéter l'opération trois semaines plus tard s'il y a lieu.

¹ Ces valeurs donnent un indice de la biodisponibilité du manganèse; elles sont fondées sur la quantité de manganèse extractible à l'aide d'acide phosphorique, et sur le pH du sol.

$pH \leq 7,1$: teneur du sol en manganèse = $498 + 0,248$ (manganèse extractible à l'aide d'acide phosphorique en mg/l) - $137 (pH) + 9,64 (pH)^2$

$pH > 7,1$: teneur du sol en manganèse = $11,25 + 0,248$ (manganèse extractible à l'aide d'acide phosphorique en mg/l)

Zinc

Prévenir et suppléer les carences en zinc

En Ontario, le maïs est la culture qui présente le plus de carences en zinc. On a signalé aussi ce type de carence dans les cultures de haricots secs comestibles d'autres régions, mais elles ne se présentent qu'occasionnellement en Ontario. Ces carences ont tendance à apparaître dans des sols compactés, sableux et érodés qui ont un pH très élevé et une faible teneur en matière organique. Des signes peuvent également apparaître par temps frais et humide au début de la saison de croissance. Les carences en zinc se manifestent généralement sur les nouvelles pousses sous forme de zones vert pâle entre les nervures et de jaunissement sur le bout et le pourtour des feuilles. Une haute teneur en phosphore dans le sol

ou dans l'engrais, ou les deux, peut causer une carence en zinc ou l'aggraver. **Il faut épandre seulement la dose de phosphore recommandée.** L'épandage de fumier ou de biosolides peut prévenir ou amoindrir les carences en zinc. La maîtrise de l'érosion peut prévenir ce type de carence en limitant le déplacement de la couche arable.

On peut prévenir les carences en zinc en épandant un engrais de zinc à une dose de 4 kg/ha (3,6 lb/ac). On peut aussi en épandre à la volée (dose maximale de 14 kg/ha [12,5 lb/ac]), ce qui suppléera une carence pour trois ans, mais toute dose supérieure à 4 kg/ha (3,6 lb/ac) ne devrait pas être appliquée en bandes. Les pulvérisations foliaires permettent parfois de pallier une carence après l'apparition des signes pour autant qu'elles soient effectuées au début de la saison de croissance. L'interprétation des résultats des analyses de sol pour le zinc se trouve au tableau 9-8, *Interprétation des résultats sur le zinc*.

Tableau 9-8 – Interprétation des résultats sur le zinc

Teneur du sol en zinc ¹	Mesures suggérées
Supérieure à 200	Il y a lieu de soupçonner une contamination de l'échantillon ou du champ.
25 à 200	La biodisponibilité du zinc est adéquate pour la plupart des grandes cultures.
15 à 25	La biodisponibilité du zinc est adéquate pour la plupart des grandes cultures. Cependant, elle est à peine suffisante pour le maïs. Si le champ n'est pas uniforme en ce qui concerne sa texture, son pH ou sa vulnérabilité à l'érosion, il peut être bénéfique d'épandre du zinc dans certaines zones. Des signes de carence au stade 4 à 6 feuilles indiquent une carence certaine en zinc.
Inférieure à 15	Le sol ne renferme probablement pas assez de zinc pour le maïs et devrait en être enrichi au moyen d'un engrais.

¹ Ces valeurs donnent un indice de la biodisponibilité du zinc; elles sont fondées sur la quantité de zinc extractible à l'aide d'acide diéthylènetriaminepentaacétique et sur le pH du sol.

Teneur en zinc = $203 + 4,5$ (zinc extractible à l'aide d'acide diéthylènetriaminepentaacétique en mg/l) - $50,7 (pH) + 3,33 (pH)^2$

Cuivre

On ne peut pas vraiment se fier aux analyses de sol pour déterminer la teneur en cuivre des terres de l'Ontario, mais il en est autrement avec les analyses des tissus végétaux, qui sont fort utiles. Le cuivre est rarement déficient dans les sols minéraux, excepté

peut-être lorsque la terre est très sableuse. Il peut toutefois être insuffisant dans les sols organiques (terre noire), et l'analyse des tissus végétaux est le meilleur moyen de déceler cette carence. Lorsque des sols organiques sont mis en culture pour la première fois, il est préférable d'amender la terre à une dose de 14 kg/ha (12,5 lb/ac) par an pour les trois premières années.

Bore

L'ajout de bore est nécessaire dans certains sols ensemencés de luzerne, surtout sur les terres sableuses ou graveleuses qui retiennent peu l'eau. Les carences sont plus répandues au centre de l'Ontario que dans le reste de la province. Elles se produisent le plus souvent par temps sec, et la réponse au traitement peut varier. Aucune analyse de sol fiable n'a été mise au point jusqu'à maintenant. Par contre, l'analyse des tissus végétaux permet de prévoir les besoins en bore, tout comme les signes observés sur les plantes. Pour connaître les doses nécessaires pour pallier une carence, se référer à la section *Oligo-éléments* du chapitre 3, *Cultures fourragères*.

Comme il ne faut qu'une quantité infime de bore et que les excès sont toxiques, on doit l'utiliser avec beaucoup de précautions. En Ontario, aucune carence en bore n'a été constatée pour les céréales, les pois et les haricots, et le bore appliqué sur ces cultures ou à d'autres cultures l'année précédente risque d'être toxique. **Il faut épandre le bore à la volée, et non en bandes au semis.**

Fer et molybdène

Aucune carence en fer ou en molybdène n'a été signalée dans les grandes cultures en Ontario.

Ajustement des directives relatives aux engrais

Les directives générales relatives aux engrais présentées dans ce guide s'appliquent dans les cas où aucune source organique d'éléments nutritifs n'a été épandue sur le champ. Si du fumier ou des biosolides ont été épandus, ou si des légumineuses sont enfouies, il faut réduire la fertilisation afin de compenser l'apport en éléments nutritifs sous forme organique.

Changements de culture ou de méthode culturale

Les besoins en engrais fondés sur l'analyse de sol du MAAARO sont adaptés à une culture donnée et à des méthodes culturales précises. Lorsqu'on incorpore des légumineuses ou qu'on épand du fumier, il faut parfois adapter ces directives en conséquence. Pour ajuster la quantité d'engrais, consulter le tableau 9-9, *Réduction des besoins en azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*. Si l'on utilise le champ en question pour une autre culture que celle pour laquelle les directives ont été émises, il faudra une nouvelle prescription d'engrais. En pareil cas, il faut se référer aux données du tableau correspondant du chapitre de la culture concernée dans la présente publication.

Ajustement des engrais après l'enfouissement de légumineuses

Lorsqu'ils sont enfouis, les résidus de légumineuses vivaces (p. ex. luzerne, lotier corniculé, trèfle) constituent une source appréciable d'azote pour la culture suivante. Le tableau 9-9, *Réduction des besoins en azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses*, indique dans quelle mesure il faut réduire les quantités d'engrais azotés pour les cultures qui suivent une prairie de légumineuses.

On utilise de plus en plus tous les amendements organiques, et non seulement le lisier. Il peut s'agir de fumier, de matières de source non agricole comme des biosolides, du compost et du digestat, et de certains produits enregistrés auprès de l'Agence canadienne d'inspection des aliments qui contiennent des matières organiques (p. ex. biosolides traités).

Dans la présente publication, on peut interchanger les termes « fumier » et « autres amendements organiques » dans l'analyse de la biodisponibilité des éléments nutritifs et des risques.

Tableau 9-9 – Réduction des besoins en azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses

Type de culture	Pour toutes les cultures, réduire le besoin en N de
Moins du tiers en légumineuses	0
Un tiers à un demi en légumineuses	55 kg/ha (49 lb/ac)
Plus de la moitié en légumineuses	110 kg/ha (100 lb/ac)
Légumineuses vivaces semées et enfouies la même année ¹	45 kg/ha (40 lb/ac)
Résidus de soya et de haricots de grande culture ²	0

¹ S'applique là où le peuplement est dense et les plantes atteignent plus de 40 cm (16 po) de hauteur.

² Pour toutes les cultures autres que le maïs. Pour ajuster les besoins en engrais pour le maïs, se référer à la *Feuille de calcul des doses d'azote pour le maïs* de l'annexe B.

Ajustement des engrais après l'épandage de fumier

Beaucoup d'exploitations agricoles de l'Ontario font de l'élevage, générant ainsi plus de 25 millions de tonnes de fumier par année. Pour maximiser les avantages économiques du fumier en nuisant le moins possible à l'environnement, le producteur doit savoir bien gérer les éléments nutritifs provenant de ce fertilisant.

Évaluation des éléments nutritifs biodisponibles à partir de valeurs moyennes

La meilleure façon de déterminer la concentration de chaque élément nutritif dans le fumier est d'en faire analyser un échantillon. Malheureusement, il n'est pas toujours possible de le faire, comme dans le cas d'une nouvelle exploitation. Les valeurs moyennes fournissent alors une estimation des éléments nutritifs biodisponibles pour la culture.

Le tableau 9-10, *Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques*, présente une estimation des éléments nutritifs que contiennent divers types de fumier. Les valeurs indiquées se fondent sur les résultats moyens d'analyses de fumiers effectuées dans les laboratoires accrédités de l'Ontario. L'azote est indiqué sous sa forme biodisponible selon les pratiques d'épandage. Les quantités de phosphate et de potasse correspondent aux quantités d'éléments nutritifs assimilables qui peuvent remplacer les éléments apportés par des engrais. On peut utiliser ces valeurs comme point de départ pour calculer l'apport en éléments nutritifs provenant du fumier.

Tableau 9-10 – Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques

Type	Sous-type	Matière sèche	Éléments nutritifs biodisponibles				Analyse en laboratoire			
			Azote ¹		P ₂ O ₅ ²	K ₂ O	% N	% NH ₄ -N	% P	% K
			Épandage à l'automne	Épandage au printemps						
Fumier solide										
Porcs	Composite	31 %	3,7 kg/t (7,4 lb/t. c.)	3,6 kg/t (7,1 lb/t. c.)	4,5 kg/t (9,0 lb/t. c.)	6,2 kg/t (12 lb/t. c.)	0,93	0,29	0,49	0,57
Bovins laitiers	Peu de litière	21 %	2,1 kg/t (4,1 lb/t. c.)	3,1 kg/t (6,1 lb/t. c.)	1,9 kg/t (3,7 lb/t. c.)	6,5 kg/t (13 lb/t. c.)	0,69	0,16	0,20	0,60
	Beaucoup de litière	41 %	2,5 kg/t (4,9 lb/t. c.)	1,3 kg/t (2,5 lb/t. c.)	2,0 kg/t (3,9 lb/t. c.)	7,2 kg/t (14 lb/t. c.)	0,82	0,11	0,21	0,66
Bovins de boucherie	Peu de litière	24 %	2,1 kg/t (4,2 lb/t. c.)	2,8 kg/t (5,5 lb/t. c.)	2,0 kg/t (4,0 lb/t. c.)	6,0 kg/t (12 lb/t. c.)	0,70	0,14	0,22	0,55
	Quantitié moyenne de litière	35 %	3,1 kg/t (6,2 lb/t. c.)	4,2 kg/t (8,4 lb/t. c.)	3,4 kg/t (6,8 lb/t. c.)	8,0 kg/t (16 lb/t. c.)	1,03	0,20	0,37	0,74
	Beaucoup de litière	46 %	4,0 kg/t (8,0 lb/t. c.)	5,4 kg/t (10,7 lb/t. c.)	5,0 kg/t (9,9 lb/t. c.)	9,4 kg/t (19 lb/t. c.)	1,34	0,25	0,54	0,87
Moutons	Composite	32 %	2,6 kg/t (5,2 lb/t. c.)	2,8 kg/t (5,5 lb/t. c.)	3,2 kg/t (6,3 lb/t. c.)	8,2 kg/t (16 lb/t. c.)	0,87	0,28	0,34	0,76

Tableau 9-10 – Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques

Type	Sous-type	Matière sèche	Éléments nutritifs biodisponibles				Analyse en laboratoire			
			Azote ¹		P ₂ O ₅ ²	K ₂ O	% N	% NH ₄ -N	% P	% K
			Épandage à l'automne	Épandage au printemps						
Chèvres laitières	Composite	36 %	3,1 kg/t (6,2 lb/t. c.)	3,6 kg/t (7,8 lb/t. c.)	2,6 kg/t (5,2 lb/t. c.)	11,1 kg/t (22 lb/t. c.)	1,04	0,28	0,28	1,03
Compost	Composté	46 %	3,4 kg/t (6,7 lb/t. c.)	1,0 kg/t (1,9 lb/t. c.)	2,4 kg/t (4,8 lb/t. c.)	4,9 kg/t (9,7 lb/t. c.)	0,84	0,00	0,26	0,45
	Non composté	47 %	5,4 kg/t (11 lb/t. c.)	5,2 kg/t (10 lb/t. c.)	3,8 kg/t (7,5 lb/t. c.)	11,4 kg/t (23 lb/t. c.)	1,32	0,12	0,41	1,05
Veaux (de grain)	Composite	31 %	2,4 kg/t (4,7 lb/t. c.)	2,6 kg/t (5,2 lb/t. c.)	1,8 kg/t (3,5 lb/t. c.)	6,5 kg/t (11 lb/t. c.)	0,79	0,14	0,19	0,51
Chevaux	Composite	37 %	1,5 kg/t (3,0 lb/t. c.)	-1,3 kg/t (-2,5 lb/t. c.)	1,4 kg/t (2,8 lb/t. c.)	4,7 kg/t (9,3 lb/t. c.)	0,50	0,07	0,15	0,43
Visons	Composite	46 %	16,4 kg/t (33 lb/t. c.)	21,8 kg/t (44 lb/t. c.)	16,8 kg/t (33 lb/t. c.)	8,6 kg/t (17 lb/t. c.)	3,28	1,42	1,82	0,79
Poulets	Pondeuses	37 %	10,4 kg/t (21 lb/t. c.)	12,6 kg/t (25 lb/t. c.)	9,2 kg/t (18 lb/t. c.)	10,6 kg/t (21 lb/t. c.)	2,07	0,81	1,00	0,98
	Poulettes	43 %	16,0 kg/t (32 lb/t. c.)	23,2 kg/t (46 lb/t. c.)	12,7 kg/t (25 lb/t. c.)	15,0 kg/t (30 lb/t. c.)	3,19	0,70	1,38	1,39
	Poulets à griller	66 %	15,6 kg/t (31 lb/t. c.)	18,8 kg/t (38 lb/t. c.)	13,0 kg/t (26 lb/t. c.)	19,4 kg/t (39 lb/t. c.)	3,12	0,66	1,41	1,79
	Reproducteurs de relève pour la production de poulets à griller	63 %	9,4 kg/t (19 lb/t. c.)	7,9 kg/t (16 lb/t. c.)	13,1 kg/t (26 lb/t. c.)	14,0 kg/t (28 lb/t. c.)	1,88	0,29	1,42	1,29
	Pondeuses de relève pour la production de poulets à griller	65 %	11,1 kg/t (22 lb/t. c.)	10,7 kg/t (21 lb/t. c.)	14,6 kg/t (29 lb/t. c.)	16,9 kg/t (34 lb/t. c.)	2,21	0,32	1,58	1,56
Dindes	Dindons mâles	52 %	13,1 kg/t (26 lb/t. c.)	15,5 kg/t (31 lb/t. c.)	12,7 kg/t (25 lb/t. c.)	17,4 kg/t (34 lb/t. c.)	2,62	0,87	1,38	1,59
	Dindonneaux	71 %	16,6 kg/t (33 lb/t. c.)	20,0 kg/t (40 lb/t. c.)	8,3 kg/t (17 lb/t. c.)	13,2 kg/t (26 lb/t. c.)	3,31	0,66	0,90	1,22
	Reproducteurs	55 %	10,8 kg/t (22 lb/t. c.)	10,6 kg/t (21 lb/t. c.)	12,0 kg/t (24 lb/t. c.)	14,6 kg/t (29 lb/t. c.)	2,16	0,86	1,30	1,35
	Dindes à griller	62 %	16,8 kg/t (33 lb/t. c.)	22,0 kg/t (44 lb/t. c.)	11,2 kg/t (22 lb/t. c.)	15,4 kg/t (31 lb/t. c.)	3,35	0,60	1,21	1,42
Biosolides	Composite	32 %	15,1 kg/t (30 lb/t. c.)	30,8 kg/t (61 lb/t. c.)	12,1 kg/t (24 lb/t. c.)	1,2 kg/t (2,4 lb/t. c.)	3,76	0,64	1,31	0,11
Fumier liquide										
Porcs	Truies (sevrage précoce avec ségrégation)	1,7 %	0,8 kg/m ³ (8,4 lb/ 1 000 gal)	1,6 kg/m ³ (16 lb/ 1 000 gal)	0,6 kg/m ³ (5,5 lb/ 1 000 gal)	1,2 kg/m ³ (12 lb/ 1 000 gal)	0,24	0,18	0,06	0,11
	Porcelets sevrés	2,3 %	1,0 kg/m ³ (9,8 lb/ 1 000 gal)	1,9 kg/m ³ (19 lb/ 1 000 gal)	0,8 kg/m ³ (8,3 lb/ 1 000 gal)	1,6 kg/m ³ (16 lb/ 1 000 gal)	0,28	0,19	0,09	0,15
	Porcs de finition	4,9 %	1,8 kg/m ³ (18 lb/ 1 000 gal)	3,3 kg/m ³ (33 lb/ 1 000 gal)	1,4 kg/m ³ (14 lb/ 1 000 gal)	2,9 kg/m ³ (29 lb/ 1 000 gal)	0,52	0,36	0,15	0,27
	Porcs (de la mise bas à la finition)	3,8 %	1,5 kg/m ³ (15 lb /1 000 gal)	2,8 kg/m ³ (28 lb /1 000 gal)	0,9 kg/m ³ (9,2 lb/ 1 000 gal)	2,3 kg/m ³ (23 lb/ 1 000 gal)	0,43	0,29	0,10	0,21

Tableau 9-10 – Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques

Type	Sous-type	Matière sèche	Éléments nutritifs biodisponibles				Analyse en laboratoire			
			Azote ¹		P ₂ O ₅ ²	K ₂ O	% N	% NH ₄ -N	% P	% K
			Épandage à l'automne	Épandage au printemps						
Bovins laitiers	Composite	8,6 %	1,2 kg/m ³ (12 lb/ 1 000 gal)	1,8 kg/m ³ (18 lb/ 1 000 gal)	0,8 kg/m ³ (8,3 lb/ 1 000 gal)	2,7 kg/m ³ (27 lb/ 1 000 gal)	0,39	0,16	0,09	0,25
	Épais	14,1 %	1,6 kg/m ³ (16 lb/ 1 000 gal)	2,1 kg/m ³ (21 lb/ 1 000 gal)	1,3 kg/m ³ (13 lb/ 1 000 gal)	3,4 kg/m ³ (33 lb/ 1 000 gal)	0,53	0,18	0,14	0,31
	Fluide	4,4 %	0,8 kg/m ³ (7,5 lb/ 1 000 gal)	1,3 kg/m ³ (13 lb/ 1 000 gal)	0,4 kg/m ³ (3,7 lb/ 1 000 gal)	2,1 kg/m ³ (20 lb/ 1 000 gal)	0,25	0,12	0,04	0,19
	Dilué	1,1 %	0,4 kg/m ³ (3,6 lb/ 1 000 gal)	0,8 kg/m ³ (8,4 lb/ 1 000 gal)	0,2 kg/m ³ (1,8 lb/ 1 000 gal)	1,2 kg/m ³ (12 lb/ 1 000 gal)	0,12	0,06	0,02	0,11
Bovins de boucherie	Composite	8,6 %	1,1 kg/m ³ (11 lb/ 1 000 gal)	1,6 kg/m ³ (16 lb/ 1 000 gal)	0,7 kg/m ³ (7,4 lb/ 1 000 gal)	2,5 kg/m ³ (25 lb/ 1 000 gal)	0,37	0,15	0,08	0,23
Ruissellement	Composite	0,7 %	0,15 kg/m ³ (1,5 lb/ 1 000 gal)	0,3 kg/m ³ (2,9 lb/ 1 000 gal)	0,1 kg/m ³ (0,9 lb/ 1 000 gal)	1,0 kg/m ³ (9,7 lb/ 1 000 gal)	0,05	0,03	0,01	0,09
Visons	Composite	3,6 %	1,6 kg/m ³ (16 lb/ 1 000 gal)	3,1 kg/m ³ (31 lb/ 1 000 gal)	0,9 kg/m ³ (9,2 lb/ 1 000 gal)	1,0 kg/m ³ (9,7 lb/ 1 000 gal)	0,45	0,26	0,10	0,09
Veaux (de lait)	Composite	1,5 %	0,2 kg/m ³ (2,4 lb/ 1 000 gal)	0,4 kg/m ³ (3,7 lb/ 1 000 gal)	0,2 kg/m ³ (1,8 lb/ 1 000 gal)	1,9 kg/m ³ (19 lb/ 1 000 gal)	0,08	0,05	0,02	0,18
Poulets	Pondeuses	9,9 %	2,8 kg/m ³ (28 lb/ 1 000 gal)	4,8 kg/m ³ (48 lb/ 1 000 gal)	2,5 kg/m ³ (25 lb/ 1 000 gal)	3,1 kg/m ³ (31 lb/ 1 000 gal)	0,81	0,56	0,27	0,29
	Poulettes	15,3 %	3,6 kg/m ³ (36 lb/ 1 000 gal)	5,9 kg/m ³ (58 lb/ 1 000 gal)	3,7 kg/m ³ (37 lb/ 1 000 gal)	3,7 kg/m ³ (38 lb/ 1 000 gal)	1,04	0,62	0,40	0,34
Biosolides	Digestion aérobie	2,0 %	0,4 kg/m ³ (4,2 lb/ 1 000 gal)	0,8 kg/m ³ (7,8 lb/ 1 000 gal)	0,6 kg/m ³ (5,5 lb/ 1 000 gal)	0,0	0,12	0,01	0,06	0,00
	Digestion anaérobie	4,4 %	1,0 kg/m ³ (9,8 lb/ 1 000 gal)	1,7 kg/m ³ (17 lb/ 1 000 gal)	1,3 kg/m ³ (13 lb/ 1 000 gal)	0,0	0,28	0,08	0,14	0,00

¹ Azote biodisponible = quantité d'azote biodisponible, en présumant que la matière est incorporée dans un délai de 24 heures.

² Le P₂O₅ biodisponible compte pour la moitié de l'apport de phosphore assimilable peu après l'épandage. Le reste du P₂O₅ devient disponible l'année suivante.

La quantité réelle immédiatement disponible pour la production culturale sera moindre si la culture n'a pas besoin de tous les éléments nutritifs épandus.

La quantité d'oligo-éléments et de matière organique n'est pas prise en compte dans ce tableau.

La biodisponibilité de l'azote du fumier dépend des proportions d'azote ammoniacal et d'azote organique qui s'y trouvent, ainsi que de la période de l'année où l'épandage et l'incorporation sont effectués. L'azote ammoniacal du fumier, qui est immédiatement assimilable par la culture, a la même composition chimique que l'azote que l'on trouve dans bon nombre d'engrais minéraux. Malheureusement, l'azote ammoniacal est également susceptible de se volatiliser si

le fumier n'est pas incorporé immédiatement. Le reste de l'azote du fumier est présent sous forme organique et devient graduellement assimilable par la culture à mesure que les composés organiques se décomposent.

On peut estimer plus précisément les éléments nutritifs biodisponibles en tenant compte du moment et des conditions de l'épandage, ainsi que du délai avant l'incorporation. Voir à ce sujet la feuille de travail du

MAAARO *Calcul des éléments nutritifs assimilables à partir de l'analyse du fumier épandu au printemps.* Le logiciel NMAN du ministère peut aussi être utile. La version NMAN 3 peut être téléchargée à l'adresse ontario.ca/omafra.

Gestion des fumiers

Valeur du fumier

On sous-estime souvent la valeur du fumier pour les cultures. Il renferme tous les éléments nutritifs dont les végétaux ont besoin, mais pas nécessairement dans les proportions convenant aux sols et aux cultures. Le fumier contient de l'azote, du phosphore, du potassium, de nombreux éléments nutritifs secondaires et oligo-éléments, ainsi que de la matière organique qui contribue à former et à maintenir la structure du sol.

Plans de gestion des éléments nutritifs

Le plan de gestion des éléments nutritifs permet de faire correspondre les besoins de la culture avec les éléments nutritifs présents dans le sol et ceux qui proviennent du fumier, des cultures couvre-sol et des engrais commerciaux. On détermine les doses de fumier et d'engrais commercial requises à partir de l'analyse de la teneur du fumier en éléments nutritifs, des résultats des analyses de sol et des besoins de la culture.

Le plan de gestion des éléments nutritifs peut prévoir des doses de fumier ou d'engrais moindres si l'épandage comporte certains risques, comme il est indiqué ci-dessous :

Critère	Risque
Azote	Lessivage des nitrates dans les eaux souterraines
Phosphore	Déplacement des phosphates vers les eaux de surface
Volume de liquide	Ruissellement direct, renfermant de l'ammoniac, des phosphates et des agents pathogènes

Exemple

Un producteur épand au printemps 45 m³ (45 000 litres) par hectare (4 000 gallons par acre) de fumier liquide provenant de porcs de finition, et enfouit le fumier dans le sol dans les 24 heures suivantes.

Équivalent en engrais	Prix par kg ¹	Valeur par hectare
Azote	153 kg/ha x 1,30	= 199 \$
P ₂ O ₅	126 kg/ha x 1,45	= 183 \$
K ₂ O	96 kg/ha x 0,97	= 93 \$
Valeur par hectare		= 475 \$
Valeur par acre		= 215 \$

On peut calculer l'équivalent en engrais commerciaux à l'aide du tableau 9-10, *Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques*. Selon les prix suggérés des engrais commerciaux figurant dans ce tableau, la valeur approximative du fumier est de 475 \$/ha (215 \$/ac) si l'on présume que la culture a besoin de tous les éléments nutritifs présents.

¹ Prix moyen des engrais commerciaux en 2016.

Biodisponibilité de l'azote provenant du fumier

La quantité d'azote biodisponible du fumier dépend de la composition de ce dernier, du moment de l'épandage et du délai d'incorporation dans le sol. Les caractéristiques pertinentes sont la teneur en azote total, la proportion d'azote sous forme minérale (ammoniacale) et organique, ainsi que le degré de décomposition de la matière organique qui libère l'azote sous une forme minérale.

Beaucoup de facteurs influencent la quantité d'azote biodisponible pour une future culture provenant de l'épandage de fumier. En voici quelques-uns :

- Type de fumier;
- Quantité et type de litière;
- Délai entre l'épandage et l'incorporation;
- Culture plantée par la suite;
- Sol et conditions météorologiques propres au site.

Selon un examen récent des données sur la réaction des cultures à l'azote du fumier, il y aurait plusieurs moyens d'améliorer l'absorption de l'azote provenant de ce fertilisant. Plus précisément, la biodisponibilité estimée de l'azote du fumier de ruminants (p. ex. fumier de bovins avec litière) est plus élevée quand l'épandage se fait à l'automne, et moindre lorsqu'il est effectué au printemps, en présemis. L'apport en azote de fumier de porcs et de volailles est demeuré relativement le même par rapport aux anciennes estimations.

Azote minéral provenant du fumier

Le fumier de divers types d'élevages comporte des proportions variables d'azote organique et ammoniacal. Le fumier liquide contient par exemple plus d'azote ammoniacal que le fumier solide. On peut déterminer les proportions respectives d'azote ammoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$) et d'azote organique au moyen d'une analyse du fumier, ou par approximation à partir des valeurs fournies au tableau 9-11, *Proportions approximatives d'azote ammoniacal par rapport à l'azote total par type de fumier*.

L'azote ammoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$) est directement assimilable par les cultures en croissance, tout comme l'azote que contiennent les engrais minéraux, mais il est également susceptible de se volatiliser. La volatilisation se poursuit jusqu'à ce que le fumier passe dans le sol, soit par incorporation ou à cause de la pluie. Quand il est incorporé rapidement, le fumier fournit davantage d'azote à la culture. Le taux de volatilisation de $\text{NH}_4\text{-N}$ dépend du degré d'humidité du sol et des conditions météorologiques au moment de l'épandage. L'azote ammoniacal est davantage absorbé par l'eau du sol lorsque ce dernier est humide, tandis que les températures chaudes augmentent les pertes par volatilisation. Les pertes sont plus élevées les jours chauds et ensoleillés quand les sols sont secs, et plus faibles par temps couvert et froid ($< 10^\circ\text{C}$), lorsque les sols sont humides ou durant les périodes de pluie. L'azote ammoniacal résiduel dans le sol est assimilable par la culture. Une estimation de la quantité d'azote ammoniacal préservé dans certaines conditions figure au tableau 9-12, *Estimation de la proportion (facteur) d'azote ammoniacal du fumier qui est préservée pendant l'année d'épandage*. Ces valeurs moyennes, présentées à des fins de planification, tiennent aussi compte de l'incidence de la température.

Tableau 9-11 – Proportions approximatives d'azote ammoniacal par rapport à l'azote total par type de fumier

Type	Source	Azote ammoniacal ²
Fumier liquide ¹	Fumier liquide – porcs	66 %
	Fumier liquide – bovins laitiers	42 %
	Fumier liquide – bovins de boucherie	43 %
	Fumier liquide – volailles	67 %
Fumier solide ²	Fumier solide – porcs	26 %
	Fumier solide – bovins laitiers	21 %
	Fumier solide – bovins de boucherie (litière abondante)	12 %
	Fumier solide – chevaux	15 %
	Fumier solide – volailles (poulets à griller)	6 %
	Fumier solide – volailles (pondeuses)	46 %
	Fumier composté – bovins	0,6 %
Sources municipales	Biosolides d'épuration (digestion aérobie)	1,6 %
	Biosolides d'épuration (digestion anaérobie)	35 %
	Biosolides d'épuration déshydratés	12 %
	Biosolides d'épuration stabilisés à la chaux	Trace
	Biosolides d'usine de papier	Trace
	Compost de résidus de champignons	5 %

¹ Plus l'humidité est élevée (ou que la matière sèche diminue), plus le contenu en azote ammoniacal augmente.

² Le reste de l'azote est sous forme organique.

Lorsque le fumier est épandu à la fin de l'automne ($< 10^\circ\text{C}$), les pertes sont plus faibles puisque les températures fraîches diminuent l'activité microbienne du sol, ce qui réduit la conversion. Il peut y avoir de grandes pertes à cause du ruissellement des applications de fin d'automne, surtout si le fumier n'est pas incorporé. La section *Atténuation des risques liés à l'azote* traite des pertes d'azote par lessivage et dénitrification.

Tableau 9-12 – Estimation de la proportion (facteur) d'azote ammoniacal du fumier qui est préservée pendant l'année d'épandage

Renseignements sur l'incorporation	Injecté (couvert)	Incorporé					Non incorporé		
		1 jour	2 jours	3 jours	4 jours	5 jours	Sol dénudé	Résidus	Culture sur pied (sous le couvert végétal)
Moyenne (facteur)	1,00	0,75	0,60	0,50	0,45	0,40	0,35	0,50	0,66
Frais (< 10 °C) ¹	1,00	0,85	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,66	0,75
Chaud (> 25 °C) ¹	1,00	0,65	0,50	0,40	0,35	0,30	0,20	0,35	0,55

Adaptation (par K. Reid) d'un document de J. Lauzon et K. Janovicek, Université de Guelph, 2013. Le tableau se fonde sur une évaluation des données de 180 champs, dont 165 de maïs, portant sur le rendement des cultures après l'épandage de fumier.

¹ Les données montrent que l'azote ammoniacal a tendance à se volatiliser quand les températures sont inférieures ou supérieures à la moyenne. D'autres facteurs, comme l'humidité du sol et la quantité de couvre-sol, ont aussi une incidence sur la préservation de l'azote ammoniacal.

Azote organique provenant du fumier

L'azote organique n'est assimilable par la culture qu'après avoir été minéralisé sous forme ammoniacale par l'activité microbienne. L'ampleur de la minéralisation dépend du type de fumier, puisque dans certains cas, la matière organique qu'il contient se décompose moins bien. En général, l'azote organique devient plus rapidement biodisponible s'il provient de fumier d'animaux nourris avec des concentrés plutôt que des fourrages.

La minéralisation cesse presque complètement lorsque les températures du sol se rapprochent du point de congélation et s'accélère par temps chaud et en présence d'un bon taux d'humidité, c'est-à-dire à des conditions qui favorisent la croissance microbienne. L'azote de fumier solide épandu juste avant les semis pourrait ne pas être assimilable à temps pour répondre aux besoins de la culture. La flore microbienne du sol joue un rôle important dans la minéralisation de l'azote organique. Le ratio carbone-azote peut aider à prévoir la quantité d'azote qui sera libérée pour une culture : du fumier solide de bovins ayant une forte teneur en carbone (litière de copeaux de bois) et une faible teneur en azote (fourrages de faible qualité) présentera un ratio carbone-azote élevé (p. ex. 50:1). Du fumier solide de volailles ayant une diète riche en protéines qui contient de la litière de paille aura quant à lui un faible ratio carbone-azote (p. ex. 9:1)

Pour calculer la quantité d'azote organique biodisponible, il faut tenir compte des résultats de l'analyse des éléments nutritifs du fumier, du carbone organique et du ratio carbone-azote. Voir la formule présentée plus loin dans cette section, Pourcentage estimatif des pertes d'azote organique biodisponible pendant l'année de l'application, qui sert à évaluer la quantité d'azote organique du fumier qui sera

assimilable par la culture. On peut estimer cette biodisponibilité en déterminant la quantité d'azote dont les organismes présents dans le sol auront besoin pour minéraliser l'azote que contient le fumier. Si la quantité d'azote dans le fumier excède les besoins de ces organismes, l'excédent est alors relâché dans le sol. Inversement, si la quantité d'azote dans la matière organique est inférieure aux besoins des organismes, la portion supplémentaire d'azote requise est tirée (empruntée) du sol, ce qui réduit la quantité d'azote biodisponible pour la culture.

À la lumière d'une évaluation des données de 180 études de terrain portant sur le rendement des cultures après l'épandage de fumier menée par J. Lauzon et K. Janovicek (Université de Guelph) en 2013, une estimation de la quantité d'azote organique biodisponible provenant du fumier épandu au printemps a été ajoutée à la formule présentée plus bas. Dans cette dernière, on présume qu'en moyenne 42 % du carbone provient de la matière sèche du fumier, qu'on préserve 37,4 % du carbone pour le fumier liquide et 31 % pour le fumier solide, et que le ratio carbone-azote de la biologie du sol est de 8:1.

Formule (voir version longue plus bas) : Azote organique biodisponible du fumier = azote organique x (carbone dans le fumier x carbone absorbé par les organismes présents dans le sol x ratio carbone-azote de la biologie du sol) x facteur de conversion (% de lb par t. c. ou par 1 000 gallons).

Le $\text{NH}_4\text{-N}$, qu'il soit appliqué directement ou provienne de la minéralisation de l'azote organique, est converti en azote des nitrates par l'activité microbienne dans le sol. Contrairement au $\text{NH}_4\text{-N}$ qui se lie aux particules du sol, l'ion nitrate peut circuler librement avec l'eau du sol.

De l'azote des nitrates ($\text{NO}_3\text{-N}$) se perd par lessivage ou dénitrification du sol si le fumier (surtout le fumier liquide, qui est riche en $\text{NH}_4\text{-N}$) est épandu en été ou au début de l'automne sur un sol dénudé. La quantité perdue dépend de la quantité de $\text{NO}_3\text{-N}$ produite, qui elle dépend du temps requis pour la conversion du $\text{NH}_4\text{-N}$ et l'azote organique en $\text{NO}_3\text{-N}$. Les épandages de fumier faits à la fin de l'été risquent davantage d'occasionner des pertes de $\text{NO}_3\text{-N}$ que ceux effectués juste avant le gel ou au printemps.

Les cultures couvre-sol peuvent contribuer à retenir l'azote du fumier épandu l'été ou au début de l'automne. Les cultures qui captent l'azote, comme les brassicacées (radis), les céréales (avoine) et les légumineuses (trèfle rouge), le conservent dans leurs racines et leur biomasse. Consulter à ce sujet la section *Cultures couvre-sol* au chapitre 8, *Gestion assurant la santé du sol*.

Le tableau 9-13, *Estimation de l'azote biodisponible provenant de fumier épandu à la fin de l'été et à l'automne, sous forme de proportion (facteur) de l'azote total épandu*, présente les résultats d'essais au champ avec certains types de fumier, qui visaient à établir la

quantité d'azote biodisponible l'année suivante. Pour évaluer la quantité d'azote assimilable par la culture, il faut multiplier la quantité d'azote présente dans le fumier (selon l'analyse) épandu au champ par le facteur de biodisponibilité (tableau 9-13) selon le type de fumier et le moment de l'épandage.

Exemple : 45 000 l/ha (4 000 gal/ac) de fumier liquide de porcs de finition sont épandus au début de l'automne sur un sol dénudé (l'analyse montre que le fumier contient 0,52 % d'azote au total, ce qui correspond à 5,2 kg/m³ ou 52 lb/1 000 gal d'azote au total). Vu les pertes causées par un épandage au début de l'automne, l'apport total en azote du fumier est de 82 kg/ha (73 lb/ac). [45 l/ha x 5,2 kg/l x 0,35 = 82 kg/ha]

Le tableau 9-13 tient compte de la volatilisation de l'azote ammoniacal, de la minéralisation de l'azote organique et de la perte des nitrates par dénitrification ou lessivage. Une grande partie de l'azote ammoniacal se volatilise quand on laisse le fumier à la surface du sol, sans l'incorporer; la proportion d'azote assimilable par la culture est donc plus élevée si le fumier est incorporé.

Formule : Pourcentage estimatif des pertes d'azote organique biodisponible pendant l'année de l'application (épandage au printemps)

% d'azote organique = % de l'azote total - % de $\text{NH}_4\text{-N}$

Fumier liquide (épandu)

[% d'azote organique - (% de matière sèche ÷ 50,93)]

x 100 = lb/1 000 gal

x 10 = kg/1 000 l ou kg/m³

Exemple : fumier liquide de bovins laitiers
(4,5 % de matière sèche, 0,25 % de l'azote total; 0,12 % de $\text{NH}_4\text{-N}$; 0,04 % de phosphore; 0,19 % de potassium)

Azote organique biodisponible

= [(0,25 - 0,12) - (4,5 ÷ 50,93)]

= (0,13 - 0,09)

= 0,04 %

0,04 % x 100 = 4 lb/1 000 gal

0,04 % x 10 = 0,4 kg/m³

Fumier solide (épandu)

[% d'azote organique - (% de matière sèche ÷ 61,44)]

x 20 = lb/t. c.

x 10 = kg/t

Exemple : fumier solide de poulets à griller
(70 % de matière sèche, 3,12 % de l'azote total; 0,6 % de $\text{NH}_4\text{-N}$; 1,4 % de phosphore; 1,8 % de potassium)

Azote organique biodisponible

= [(3,12 - 0,6) - (70 ÷ 61,44)]

= (2,52 - 1,14)

= 1,38 %

1,38 % x 20 = 27,6 lb/t. c.

1,38 % x 10 = 13,8 kg/t)

Analyse du fumier

Il est nécessaire de faire analyser le fumier étant donné que sa teneur en éléments nutritifs, particulièrement les concentrations de phosphore et de potasse, varie d'une exploitation à l'autre. Le type d'élevage, l'alimentation, la litière, les liquides qui s'ajoutent au fumier et le mode de stockage de ce dernier sont autant de facteurs qui influent au bout du compte sur les concentrations d'éléments nutritifs. Les teneurs en phosphore sont généralement plus élevées dans les fumiers solides, alors que celles du potassium le sont

dans la portion liquide; le degré d'agitation aura donc un effet sur les quantités d'éléments nutritifs épandues. Les modifications apportées aux doses d'engrais en fonction de l'analyse des fumiers seront plus précises que celles qui se basent sur des valeurs moyennes, mais il est possible d'ajuster ces valeurs pour de futurs épandages d'engrais lorsque les résultats de l'analyse sont disponibles après l'épandage. Le tableau 9-14, *Interprétation des résultats d'analyses de fumier*, présente brièvement la signification des résultats de l'analyse, la biodisponibilité potentielle et les risques éventuels (p. ex. sels totaux).

Tableau 9-13 – Estimation de l'azote biodisponible provenant de fumier épandu à la fin de l'été et à l'automne, sous forme de proportion (facteur) de l'azote total épandu

Azote biodisponible du fumier = azote total (selon l'analyse) x azote biodisponible (facteur du tableau)						
On présume qu'il s'agit d'une culture semée au printemps qui poussera pendant toute la saison (p. ex. maïs).						
Les données tiennent compte des pertes d'ammoniac par volatilisation et de la minéralisation de l'azote organique.						
Type de fumier	Moment de l'épandage	Incorporé (< 24 heures)			Non incorporé ¹	
		Fin de l'été	Début de l'automne	Fin de l'automne	Début de l'automne	Fin de l'automne
Fumier solide	Fumier solide – bovins/moutons/chevaux	0,20	0,30	0,35	0,30	0,35
	Fumier solide – porcs/compost ¹	0,30	0,40	0,45	0,40	0,45
	Fumier solide – volailles/visons	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60
Fumier liquide	Fumier liquide – bovins	0,30	0,30	0,35	0,30	0,35
	Fumier liquide – porcs	0,25	0,35	0,45	0,35	0,45
	Fumier liquide – volailles/visons ¹	0,25	0,35	0,50	0,35	0,50
	Biosolides sous forme liquide	0,25	0,35	0,45	0,35	0,45

¹ Ces coefficients se fondent sur la biodisponibilité présumée de l'azote selon les caractéristiques de chaque type de fumier, car il n'existe pas de mesures directes de cette biodisponibilité.

Adaptation (par K. Reid) d'un document de J. Lauzon et K. Janovicek, Université de Guelph, 2013. Le tableau se fonde sur une évaluation des données de 180 champs, dont 165 de maïs, portant sur le rendement des cultures après l'épandage de fumier.

Tableau 9-14 – Interprétation des résultats d'analyses de fumier

Le calcul des éléments nutritifs peut se faire à partir d'une analyse dans le logiciel NMAN 3, disponible à l'adresse ontario.ca/omafra, ou au moyen de la feuille de calcul électronique se trouvant au www.gocorn.net.

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible

Composantes	Exemple de fumiers liquide et solide			Commentaires
	Exemple d'analyse		Estimation des éléments nutritifs biodisponibles – Fumier solide (fumier liquide)	
	Fumier solide	Fumier liquide		
Matière sèche	41 %	8,6 %	410 kg/t (86 kg/m³)	La matière sèche peut s'ajouter au volume de matières solides épandues provenant du fumier.
Azote total	0,82 %	0,38 %	Azote organique biodisponible + NH ₄ -N biodisponible = Azote total biodisponible	Azote total – NH ₄ -N = azote organique De l'azote organique est relâché lentement grâce à l'activité microbienne à un taux variant de 5 à 30 %, selon : • le moment de l'épandage; • le ratio carbone-azote; • l'état du sol et les conditions météorologiques.

Suite à la page suivante

Suite de la page précédente

Tableau 9-14 – Interprétation des résultats d'analyses de fumier

Le calcul des éléments nutritifs peut se faire à partir d'une analyse dans le logiciel NMAN 3, disponible à l'adresse ontario.ca/omafra, ou au moyen de la feuille de calcul électronique se trouvant au www.gocorn.net.

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible

Composantes	Exemple de fumiers liquide et solide			Commentaires
	Exemple d'analyse		Estimation des éléments nutritifs biodisponibles – Fumier solide (fumier liquide)	
	Fumier solide	Fumier liquide		
NH ₄ -N (azote ammoniacal)	1 100 ppm	1 600 ppm	2,6 kg/t (1,8 kg/m ³)	Le NH ₄ -N est biodisponible, mais se perd facilement par volatilisation. En incorporant le fumier le jour même, on conserve environ 75 % du NH ₄ -N.
Phosphore (P)	0,21 %	0,09 %	3,7 kg/t (1,7 kg/m ³) de P ₂ O ₅	On présume que la biodisponibilité du phosphore du fumier correspond à environ 80 % de celle de source commerciale au fil du temps; les 20 % restant se lient fortement au sol ou se perdent par ruissellement ou érosion. Pourcentage total de phosphore x 1,84 x 100 = lb/1 000 gal de P ₂ O ₅ biodisponible (à long terme) Pourcentage total de phosphore x 1,84 x 20 = lb/t. c. de P ₂ O ₅ biodisponible Quand le sol est peu fertile, le phosphore pourrait ne pas être entièrement biodisponible immédiatement après l'épandage, et il faudra peut-être épandre plus de P ₂ O ₅ (de source commerciale).
Potassium (K)	0,66 %	0,10 %	7,1 kg/t (1,1 kg/m ³) de K ₂ O	On présume que la biodisponibilité du potassium du fumier équivaut à environ 90 % de celle de source commerciale au fil du temps. Pourcentage total de potassium x 1,08 x 100 = lb/1 000 gal de K ₂ O biodisponible Pourcentage total de potassium x 1,08 x 20 = lb/t. c. de K ₂ O biodisponible
Matière organique	42 %	18,5 %	463 kg/t (185 kg/m ³)	La matière organique biodisponible est indiquée sous forme de matière sèche épandue. La teneur actuelle du sol en matière organique aura une incidence sur l'absorption, le recyclage et la perte des éléments nutritifs ainsi que la capacité à retenir l'eau. Lorsqu'on épand régulièrement du fumier, le sol contient habituellement plus de matière organique.
Ratio carbone-azote	25:1	11:1	–	Le ratio carbone-azote indique à quelle vitesse le carbone peut se décomposer. L'azote sert de nourriture aux micro-organismes qui décomposent le carbone. Un ratio carbone-azote d'environ 10:1 est semblable à celui du sol. Si le ratio carbone-azote dépasse 25:1 (c.-à-d. fumier contenant beaucoup de litière), l'azote du sol pourrait se lier au carbone décomposé, ce qui causerait une carence en azote.
Carbone	–	–	~ 178 kg/t (~ 24 kg/m ³)	On peut estimer grossièrement la teneur en carbone en multipliant l'azote organique par la valeur du carbone dans le ratio carbone-azote. Il est également possible de demander à un laboratoire d'évaluer la teneur en carbone organique.

Suite à la page suivante

Suite de la page précédente

Tableau 9-14 – Interprétation des résultats d'analyses de fumier

Le calcul des éléments nutritifs peut se faire à partir d'une analyse dans le logiciel NMAN 3, disponible à l'adresse ontario.ca/omafra, ou au moyen de la feuille de calcul électronique se trouvant au www.gocorn.net.

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible

Composantes	Exemple de fumiers liquide et solide			Commentaires
	Exemple d'analyse		Estimation des éléments nutritifs biodisponibles – Fumier solide (fumier liquide)	
	Fumier solide	Fumier liquide		
pH	8,0	7,0	–	L'azote ammoniacal se volatilise parce que le NH ₄ -N du fumier ou de la solution se transforme en NH ₃ (gaz dissous). Plus le pH ou la température monte, plus il y a volatilisation. Certains digestats et biosolides traités, qui ont un pH élevé et une grande teneur en azote ammoniacal, sont sujets à une grande perte d'azote par volatilisation lorsqu'ils ne sont pas incorporés sans délai.
Densité apparente du sol	455 kg/m ³ (28,4 lb/pi ³)	1 062 kg/m ³ (66,3 lb/pi ³)	–	La densité apparente du sol est un point important à considérer dans la planification du transport et de l'épandage d'amendements. Elle est généralement de 25 lb/pi ³ pour le fumier de poulets à griller ou les matières compostées, et peut souvent dépasser 50 lb/pi ³ dans le cas de fumier solide de bovins contenant beaucoup de litière. Conversion : kg/m ³ x 2,2 ÷ 35,31 = lb/pi ³
Soufre (S)	627 ppm	320 ppm	0,63 kg/t (3,2 kg/m ³)	Une grande proportion se présente sous forme de soufre organique ou élémentaire, qui est libéré lentement grâce à l'activité microbienne. Un épandage régulier de fumier fournit habituellement une quantité de soufre adaptée aux besoins des cultures. Si l'épandage est peu fréquent, les cultures de canola ou de luzerne pourraient manquer de cet élément nutritif, surtout si le sol est frais et humide.
Conductivité électrique (conductivité)	10 mS/cm	14 mS/cm	6,4 kg/t (9 kg/m ³)	Tous les sels : K, NH ₄ , Mg, Ca, Al et le sodium (Na). La conductivité électrique et le sodium (Na) sont tous deux des mesures de la teneur en sel. Ils ont une teneur élevée en sel et peuvent causer des dommages (semis/germination) si on plante les cultures trop rapidement après l'épandage, ou si la matière a été épandue à la surface (semis direct) par temps très sec.
Sodium (Na)	0,86 %	0,06 %	8,6 kg/t (0,6 kg/m ³)	Le sodium est un type de sel qui favorise la conductivité électrique. C'est notamment celui que l'on trouve dans la nourriture humaine et animale. Le compost de déchets alimentaires et certains types de fumier contiennent beaucoup de sodium.

Suite à la page suivante

Suite de la page précédente

Tableau 9-14 – Interprétation des résultats d'analyses de fumier

Le calcul des éléments nutritifs peut se faire à partir d'une analyse dans le logiciel NMAN 3, disponible à l'adresse ontario.ca/omafra, ou au moyen de la feuille de calcul électronique se trouvant au www.gocorn.net.

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible

Composantes	Exemple de fumiers liquide et solide			Commentaires
	Exemple d'analyse		Estimation des éléments nutritifs biodisponibles – Fumier solide (fumier liquide)	
	Fumier solide	Fumier liquide		
Aluminium (Al)	1 200 ppm	154 ppm	1,2 kg/t (0,15 kg/m³)	Les oligo-éléments sont indiqués selon leur présence dans l'amendement organique. La biodisponibilité varie en fonction de l'état du sol, de l'activité microbienne, de la teneur en matière organique et de la fertilité du sol. En général, pendant l'année de l'épandage, environ la moitié du soufre, du calcium et du magnésium est assimilable. Environ les deux tiers du bore, du cuivre, du fer, du manganèse et du zinc sont biodisponibles.
Bore (B)	6 ppm	4 ppm	0,006 kg/t (0,004 kg/m³)	
Calcium (Ca)	1,3 %	0,35 %	13 kg/t (3,5 kg/m³)	
Cuivre (Cu)	24 ppm	15 ppm	0,02 kg/t (0,02 kg/m³)	
Fer (Fe)	990 ppm	210 ppm	1,0 kg/t (0,21 kg/m³)	
Magnésium (Mg)	0,31 %	0,11 %	3,1 kg/t (1,1 kg/m³)	
Manganèse (Mn)	88 ppm	30 ppm	0,09 kg/t (0,03 kg/m³)	
Zinc (Zn)	78 ppm	36 ppm	0,08 kg/t (0,04 kg/m³)	
kg/t x 2 = ~ lb/t. c.				kg/m³ x 10 = ~ lb/1 000 gal

Des teneurs en azote, en phosphore ou en oligo-éléments du fumier qui se révèlent supérieures à la moyenne peuvent indiquer que les concentrations de ces éléments dans la ration sont plus élevées que ce qui est nécessaire. L'apport d'acides aminés pour contrebalancer l'azote, la diminution de la quantité de phosphore dans les suppléments minéraux ou l'ajout de phytase (une enzyme qui augmente l'absorption du phosphore chez l'animal) sont des moyens de réduire les teneurs de ces éléments nutritifs dans le fumier. Il est essentiel de consulter un nutritionniste animal avant de modifier les rations.

Plusieurs laboratoires en Ontario offrent des services d'analyse du fumier. On doit prélever les échantillons après avoir bien agité ou mélangé le fumier, chaque fois que la cellule de stockage est vidée (p. ex. au printemps et à l'automne). Après plusieurs analyses, il devrait se dégager une tendance dans les résultats. On doit en outre prendre des échantillons lorsqu'on change la ration ou d'autres facteurs de gestion.

Lorsqu'on envoie un échantillon au laboratoire, il faut remplir la moitié d'un contenant en plastique, le fermer, l'insérer dans un sac de plastique et le garder dans un endroit frais jusqu'à son expédition. L'analyse doit porter sur l'azote total, l'azote ammoniacal

(NH₄-N), le phosphore, le potassium et la matière sèche. Une analyse des oligo-éléments, comme le soufre, le pH, la matière organique et le ratio carbone-azote (pour le fumier solide), peut fournir des données précieuses pour l'épandage d'engrais. Les résultats d'analyse transmis par les laboratoires accrédités du MAAARO indiquent les pourcentages d'azote, de phosphore, de potassium et de matière sèche ainsi que la quantité d'azote ammoniacal et d'oligo-éléments en mg/kg (ou ppm) épandus. Dans la plupart des rapports, les pourcentages de phosphore, de potassium et d'oligo-éléments importants provenant du fumier sont convertis en équivalents en engrais commerciaux. Par ailleurs, les rapports indiquent souvent dans quelle mesure on peut réduire les apports en engrais commerciaux.

Pour plus de renseignements sur l'interprétation des analyses de fumier, voir la feuille de calcul du MAAARO *Calcul des éléments nutritifs assimilables à partir de l'analyse du fumier épandu au printemps* et le tableau 9-14, *Interprétation des résultats d'analyses de fumier*. On peut obtenir une estimation plus exacte des éléments nutritifs biodisponibles du fumier épandu en tenant compte des résultats d'analyse du fumier et des données précises sur l'épandage.

Calcul des éléments nutritifs assimilables à partir de l'analyse du fumier épandu au printemps

Il faut utiliser les mêmes unités tout au long du calcul. Certains rapports donnent les teneurs en azote ammoniacal en ppm (mg/kg, mg/l), et d'autres, en pourcentage. Pour convertir les ppm en pourcentages, il faut les diviser par 10 000.

Azote biodisponible¹

- A. Azote total _____
- B. Azote ammoniacal _____
- C. Azote organique³ (A – B) _____
- D. Ammonium préservé
(B x facteur du tableau 9-13) _____
- E. Azote organique biodisponible, formule
du tableau 9-14
Fumier liquide : C – (matière sèche ÷ 51)
Fumier solide : C – (matière sèche ÷ 61,4) _____
- F. Azote total biodisponible (D + E)⁴ _____

Phosphate biodisponible²

- G. Phosphore total _____
- H. Phosphore biodisponible
(G x 0,4) _____
- I. Phosphate biodisponible
(H x 2,29) _____

Potasse biodisponible²

- J. Potassium total _____
- K. Potassium biodisponible
(J x 0,9) _____
- L. Potasse biodisponible
(K x 1,2) _____

Remarques

¹ On calcule l'azote biodisponible en soustrayant de l'azote ammoniacal épandu l'ammoniac perdu par volatilisation (dans l'air), puis en additionnant l'azote minéralisé provenant de l'azote organique du fumier.

² Il faut calculer les réductions des doses de phosphate et de potasse en déterminant la partie assimilable du phosphore et du potassium que contient le fumier (40 % dans le cas du phosphore et 90 % dans le cas du potassium) et en multipliant par un certain facteur pour faire la conversion de la forme élémentaire à la forme oxydée (les teneurs en éléments nutritifs dans les engrais sont exprimées sous la forme oxydée). Au cours de l'année de l'épandage, 40 % de l'élément nutritif est biodisponible, et un autre 40 % est assimilable l'année suivante.

³ L'azote organique fournit aussi un apport en azote pendant plusieurs années après l'épandage : 10 % de l'azote est assimilable la 2^e année, 5 % la 3^e année, et 2 % la 4^e année.

⁴ Pour estimer l'azote biodisponible du fumier épandu à l'été ou à l'automne, il faut multiplier l'azote total par le facteur correspondant du tableau 9-13, *Estimation de l'azote biodisponible provenant de fumier épandu à la fin de l'été et à l'automne, sous forme de proportion (facteur) de l'azote total épandu.*

Exemple : Du fumier de bovins laitiers est épandu au printemps à une dose de 55 m³/ha (5 000 gal/ac) avant la plantation de maïs (incorporé dans un délai de trois jours). Il contient 7 % de matière sèche, 0,65 % d'azote total, 0,35 % d'azote ammoniacal, 0,2 % de phosphore et 0,3 % de potassium (données réelles).

Azote biodisponible

- A. Azote total 0,65
- B. Azote ammoniacal 0,35
- C. Azote organique (0,65 – 0,35) 0,30
- D. Ammonium préservé
(0,35 x 0,50) 0,175
- E. Azote organique biodisponible
Fumier liquide : 0,3 – (7 ÷ 51) 0,16
- F. Azote total biodisponible (0,175 + 0,16) 0,34
- Éléments nutritifs en kg/m³ (lb/1 000 gal) = 3,4 (34)

Phosphate biodisponible

- G. Phosphore total 0,2
- H. Phosphore biodisponible
(0,2 x 0,4) 0,08
- I. Phosphate biodisponible
(0,08 x 2,29) 0,18
- Éléments nutritifs en kg/m³ (lb/1 000 gal) = 1,8 (18)

Potasse biodisponible

- J. Potassium total 0,3
- K. Potassium biodisponible
(0,3 x 0,9) 0,27
- L. Potasse biodisponible (0,27 x 1,2) 0,32
- Éléments nutritifs en kg/m³ (lb/1 000 gal) = 3,2 (32)

Cette feuille de travail se trouve dans le logiciel NMAN du MAAARO et sous forme de feuille de calcul électronique au www.gocorn.net.

Conversion des pourcentages en volumes

P. ex. 0,32 x 20 = 6,4 lb/t. c. de potasse biodisponible

Pour obtenir :	Multiplier par :
kg/m ³ (kg/1 000 l)	10
lb/1000 gal	100
kg/t	10
lb/t. c.	20

La valeur du fumier se fonde sur le prix d'achat d'une quantité équivalente d'engrais minéral (janvier 2016).

(N – P₂O₅ – K₂O = 1,30 – 1,35 – 0,95 \$/kg) ou
(N – P₂O₅ – K₂O = 0,60 – 0,61 – 0,43 \$/lb)

Valeur à long terme du fumier

L'analyse de sol est le meilleur moyen d'évaluer la biodisponibilité à long terme du phosphore, du potassium, du magnésium, du zinc ou du manganèse provenant d'épandages antérieurs de fumier. À la longue, l'épandage de grandes quantités de fumier peut amener de fortes concentrations de phosphore et de potassium assimilables dans le sol. Le fumier apporte aussi de la matière organique et d'autres éléments nutritifs pour les plantes qui contribuent à améliorer la structure du sol et son pouvoir tampon.

La majeure partie de l'azote biodisponible que l'on retrouve dans le fumier est absorbé par la culture ou se perd durant la première saison de croissance qui suit l'épandage. L'azote organique restant devient assimilable en petites quantités, lesquelles diminuent graduellement au cours des années suivantes. Beaucoup de facteurs influent sur la biodisponibilité, mais, à des fins de planification, on présume qu'environ 10 % de l'azote organique est assimilable au cours de l'année suivant l'épandage, et que ce taux passe à 5 % et à 2 % pour les deux années subséquentes. En général, la quantité d'azote résiduel provenant de l'épandage de fumier liquide est trop faible pour avoir une incidence réelle sur les directives relatives à l'azote visant une culture. Cependant, lorsque du fumier solide est régulièrement épandu dans un champ, la concentration d'azote résiduel biodisponible peut atteindre un niveau important.

Besoins des cultures

Ce sont les résultats des analyses de sol et les objectifs de rendement qui déterminent en fait les doses maximales d'épandage de fumier et d'engrais additionnels qu'il est rentable d'utiliser. Il arrive souvent que les résultats des analyses de sol des exploitations d'élevage indiquent que la fertilité du sol est tellement grande qu'un apport supplémentaire en éléments nutritifs ne donnerait aucun bénéfice.

Au lieu de calculer les doses d'épandage du fumier en fonction des résultats d'analyse de sol, on peut se fonder sur les quantités d'éléments nutritifs prélevés par la culture et comparer ces dernières aux quantités de phosphore et d'azote provenant du fumier. Cette méthode devrait théoriquement assurer le maintien de la fertilité du sol. Le tableau 9-15, *Prélèvement moyen d'éléments nutritifs (N, P₂O₅, K₂O) par certaines grandes cultures, permet de calculer l'absorption moyenne des éléments nutritifs pour diverses cultures.*

Si les épandages de fumier visent à combler tous les besoins en azote d'une culture de maïs, on se retrouve habituellement avec des concentrations de phosphore et de potassium supérieures à ce que peut assimiler la culture, et l'analyse de sol révélera une augmentation des concentrations de ces éléments nutritifs. Dans le cas du fumier liquide, on considère comme un compromis raisonnable le fait d'en épandre suffisamment pour répondre aux deux tiers ou aux trois quarts des besoins en azote de la culture de maïs. Dans le cas du fumier solide, étant donné la forte teneur en carbone de la litière, la libération d'azote est beaucoup moins prévisible. Compte tenu de la difficulté à épandre uniformément aussi bien le fumier solide que le fumier liquide, il est encore souvent conseillé de recourir à un engrais de démarrage, sauf lorsque les résultats de l'analyse de sol indiquent que cet apport n'augmentera pas le rendement économique.

On doit tenir compte de l'azote résiduel provenant des cultures de légumineuses au moment d'évaluer les besoins en apport supplémentaire d'azote provenant de fumier ou d'engrais. D'ailleurs, voir à ce sujet le tableau 9-9, *Réduction des besoins en azote à la suite de l'enfouissement d'un engrais vert de légumineuses.* Il faut épandre judicieusement le fumier sur des cultures de céréales, de soya ou de canola, étant donné qu'un taux d'application trop élevé augmente l'incidence de la verse.

La technologie de la machinerie fournit de nouveaux moyens d'épandre du fumier sur des cultures en croissance, comme le maïs, les cultures fourragères et les cultures couvre-sol semées après la récolte du blé. Lorsque l'épandage se fait en été sur des cultures fourragères établies, on doit utiliser des doses de NH₄-N inférieures à 45 m³/ha (4 000 gal/ac), ou de 55 à 65 kg/ha (50 à 60 lb/ac). Il faut effectuer les épandages sur les cultures fourragères aussitôt que possible après la récolte afin d'éviter les dommages aux nouvelles pousses, dus au passage des roues, ainsi que les risques de brûlure des nouvelles feuilles par l'azote. On doit éviter d'épandre du fumier concentré à forte teneur en azote ammoniacal (p. ex. du fumier liquide de poules pondeuses ou du fumier concentré de porcs de finition) sur les tissus foliaires des récoltes sur pied. Les peuplements de fourrages plus avancés qui renferment davantage de graminées sont ceux qui profitent le plus de l'azote du fumier.

Bon nombre de producteurs sont aux prises avec des problèmes de compactage, et c'est ce qui explique en grande partie la popularité des épandages de fumier

Tableau 9-15 – Prélèvement moyen d'éléments nutritifs (N, P₂O₅, K₂O) par certaines grandes cultures

Culture	Prélèvement		
	N ¹	P ₂ O ₅	K ₂ O
Grains, oléagineux			
Maïs-grain	11,5 à 18 kg/t (0,65 à 1,0 lb/bo)	6,6 à 7,9 kg/t (0,37 à 0,44 lb/bo)	4,6 à 5,2 kg/t (0,26 à 0,30 lb/bo)
Cannes de maïs	8 kg/t (7,1 lb/t. c.)	2,9 kg/t (2,6 lb/t. c.)	20 kg/t (17,8 lb/t. c.)
Soya	62 à 67 kg/t (3,7 à 4,0 lb/bo)	13 à 15 kg/t (0,80 à 0,88 lb/bo)	23 kg/t (1,4 lb/bo)
Résidus de soya	20 kg/t (17,8 lb/t. c.)	4,4 kg/t (3,9 lb/t. c.)	19 kg/t (17 lb/t. c.)
Blé d'automne (grains seulement)	19 à 21 kg/t (1,15 à 1,25 lb/bo)	9,1 à 10,4 kg/t (0,55 à 0,63 lb/bo)	6,0 kg/t (0,36 lb/bo)
Blé d'automne (paille) ²	7 kg/t (6,2 lb/t. c.)	1,7 kg/t (1,5 lb/t. c.)	12 kg/t (10,7 lb/t. c.)
Orge (grains seulement)	18 à 23 kg/t (0,87 à 1,1 lb/bo)	8,0 kg/t (0,40 lb/bo)	5,3 à 7,2 kg/t (0,25 à 0,35 lb/bo)
Orge (paille)	6,5 kg/t (5,8 lb/t. c.)	2,6 kg/t (2,3 lb/t. c.)	20 kg/t (17,8 lb/t. c.)
Avoine (grains seulement)	18 à 24 kg/t (0,63 à 0,80 lb/bo)	7,5 kg/t (0,25 lb/bo)	5,8 kg/t (0,19 lb/bo)
Avoine (paille)	6 kg/t (5,4 lb/t. c.)	3,2 kg/t (2,9 lb/t. c.)	19 kg/t (17 lb/t. c.)
Seigle d'automne (grains seulement)	19 à 22 kg/t (1,1 à 1,2 lb/bo)	6,1 à 8,2 kg/t (0,3 à 0,5 lb/t. c.)	6,25 kg/t (0,35 lb/t. c.)
Seigle d'automne (paille)	6 kg/t (5,4 lb/t. c.)	1,5 kg/t (1,3 lb/t. c.)	11 kg/t (9,8 lb/t. c.)
Haricots secs	42 kg/t (2,5 lb/bo)	14 kg/t (0,83 lb/bo)	14 kg/t (0,83 lb/bo)
Canola	40 à 44 kg/t (2,0 à 2,2 lb/bo)	22 à 27 kg/t (1,1 à 1,3 lb/bo)	11 à 13 kg/t (0,55 à 0,67 lb/bo)
Ensilage/cultures fourragères (prélèvement dans la matière sèche)^{3, 4}			
Ensilage de maïs	11 à 15 kg/t (22 à 30 lb/t. c.)	4,6 à 6,8 kg/t (9,3 à 14 lb/t. c.)	8,3 à 15 kg/t (17 à 30 lb/t. c.)
Ensilage préfané de légumineuses	27 à 37 kg/t (53 à 73 lb/t. c.)	5,3 à 7,9 kg/t (11 à 16 lb/t. c.)	22 à 35 kg/t (45 à 71 lb/t. c.)
Ensilage préfané mixte	23 à 34 kg/t (46 à 68 lb/t. c.)	5,2 à 7,8 kg/t (10 à 16 lb/t. c.)	22 à 35 kg/t (45 à 71 lb/t. c.)
Ensilage préfané de graminées	16 à 27 kg/t (32 à 55 lb/t. c.)	4,9 à 7,8 kg/t (9,8 à 16 lb/t. c.)	20 à 36 kg/t (41 à 72 lb/t. c.)
Foin de légumineuses	22 à 33 kg/t (45 à 66 lb/t. c.)	5,2 à 8,0 kg/t (10 à 16 lb/t. c.)	21 à 35 kg/t (41 à 70 lb/t. c.)
Foin mixte	17 à 27 kg/t (34 à 55 lb/t. c.)	5,0 à 7,2 kg/t (10 à 14 lb/t. c.)	17 à 30 kg/t (34 à 59 lb/t. c.)
Foin de graminées (1 ^{re} coupe)	13 à 23 kg/t (26 à 45 lb/t. c.)	4,4 à 7,0 kg/t (8,8 à 14 lb/t. c.)	14 à 28 kg/t (28 à 56 lb/t. c.)
Foin mixte (2 ^e coupe) ⁵	25 à 36 kg/t (51 à 72 lb/t. c.)	5,7 à 7,8 kg/t (11 à 16 lb/t. c.)	20 à 32 kg/t (40 à 64 lb/t. c.)

Source : Chiffres fondés sur des données de l'Ontario, dans la mesure du possible, et sur des données générales nord-américaines (International Plant Nutrition Institute), lorsque les données locales sont insuffisantes.

Les données sur les cultures fourragères proviennent des laboratoires agroalimentaires de Guelph (1990 à 1995).

¹ L'azote prélevé par le soya, les haricots secs et les fourrages de légumineuses est surtout d'origine atmosphérique.

² Les quantités de P₂O₅ et de K₂O dans les céréales à paille et le foin sec seront réduites (par lessivage) si des précipitations fréquentes ou abondantes ont lieu lorsque la paille est en andains groupés dans le champ.

³ Pour convertir le rendement « récolté » en rendement en « matière sèche », il faut multiplier le rendement récolté par le contenu en matière sèche de la culture (p. ex. : 25 tonnes de maïs d'ensilage x 40 % de matière sèche (60 % d'humidité) = rendement en matière sèche de 10 tonnes).

⁴ La fourchette du prélèvement d'azote est large, parce que le foin récolté a diverses teneurs en protéines. De façon générale, plus la teneur en protéines est élevée, plus les rendements sont bas.

⁵ La 2^e coupe contient habituellement plus de légumineuses.

sur les cultures en croissance et en fin d'été ou au début de l'automne. Le compactage nuit au drainage et à l'aération du sol. Le meilleur moyen de l'atténuer ou de l'éviter est d'épandre le fumier lorsque le sol est sec. L'épandage par système d'irrigation peut réduire la compaction, tout comme les pneus radiaux et les options de gonflage des pneus offertes avec le matériel d'épandage de fumier. Il faut aussi s'assurer de maintenir la charge par essieu en deçà de 4,5 tonnes (5 t. c.). Les épandages de printemps sont souvent effectués sur des champs détrempés; il n'est pas rare qu'on puisse localiser les voies empruntées par la machinerie simplement à partir des bandes de cultures rabougries dans le champ.

Problèmes environnementaux liés au fumier

Pour réduire au minimum les problèmes environnementaux liés au fumier, on peut aussi appliquer aux épandages de fumier le concept du 4R, utilisé couramment concernant les engrais :

- Bon produit
- Bon endroit
- Bon moment
- Bon dosage

Le fumier a des caractéristiques particulières qui le distinguent des engrais : comme on ne peut ajuster la concentration en éléments nutritifs (c.-à-d. les ratios d'azote, de phosphore et de potassium) du fumier, on peut l'utiliser conjointement avec des engrais commerciaux pour combler les besoins des cultures. Inversement, l'apport en certains éléments nutritifs peut excéder les besoins, mais la culture (ou rotation des cultures) doit pouvoir les assimiler au fil du temps. Il est possible de régler ce problème en préparant un plan de gestion des éléments nutritifs.

On peut déterminer le moment de l'épandage en fonction de la production et de la capacité de stockage du fumier. Il ne faut pas que les éléments nutritifs (surtout l'azote inorganique) restent longtemps à la surface avant que la culture les absorbe. On peut envisager de semer des cultures couvre-sol si le fumier est épandu à la fin de l'été ou au début de l'automne.

L'épandage sur des champs en pente abrupte ou sur des sols imperméables peut favoriser le ruissellement du fumier lorsque les doses sont trop élevées. Pour certains types de sol, il peut être nécessaire de faire plusieurs épandages à dose réduite. L'épandage de

fumier l'hiver ou au début du printemps crée des risques de ruissellement et d'accumulations d'éléments nutritifs dans les eaux de surface. Il ne faut jamais épandre du fumier sur un sol couvert de neige ou gelé en raison du risque de ruissellement des éléments nutritifs : comme le lisier ne peut pas s'infiltrer dans le sol, le phosphore se déplace avec les eaux de fonte et les particules de sol. Aucun plan de gestion des éléments nutritifs ne devrait prévoir d'épandage en hiver, mais il est possible d'épandre du fumier au cours d'un redoux si ce dernier est incorporé immédiatement. Lorsqu'il est indispensable de faire des épandages durant l'hiver (c.-à-d. dans le cadre d'un plan d'urgence), il faut se limiter aux champs qui présentent le plus faible risque de contamination des eaux de surface par ruissellement.

La contamination de l'environnement est interdite selon la *Loi sur la protection de l'environnement* (1990), la *Loi sur les ressources en eau de l'Ontario* (1990), et la *Loi sur les pêches* (1985) du gouvernement fédéral. De plus, la *Loi de 2002 sur la gestion des éléments nutritifs* et le *Règlement 267/03* comportent des exigences précises concernant l'épandage du fumier. Consulter les plus récentes versions de la réglementation et des protocoles à l'adresse ontario.ca/fr/lois.

La pluie peut provoquer le lessivage de l'azote organique vers les cours d'eau quand le fumier a été épandu sur des terres non protégées. Le phosphore, attaché aux particules de sol, peut être entraîné jusqu'aux cours d'eau sous l'effet de l'érosion. Des pratiques de conservation du sol peuvent réduire les risques de pollution des cours d'eau par les éléments nutritifs.

Une zone tampon végétale située le long des cours d'eau protège ces derniers contre la contamination par le fumier épandu dans les champs adjacents et contre l'érosion des berges. Le potentiel de ruissellement dépend de l'inclinaison du champ et de la texture du sol. L'eau qui circule dans les réseaux de drainage souterrain peut devenir contaminée si le fumier pénètre dans un puisard ou s'infiltré dans les drains agricoles par des fissures dans le sol ou des galeries formées par des vers de terre ou des racines. Pour réduire le risque de contaminer l'eau qui circule dans les réseaux de drainage, il faut épandre de faibles

doses lorsque les drains ne sont pas en fonction ou travailler superficiellement le champ avant l'épandage afin de supprimer les grands pores.

L'épandage de fumier ou d'engrais dont les éléments nutritifs dépassent les besoins d'une culture risque d'entraîner la contamination des eaux souterraines, surtout aux endroits où la couche de terre recouvrant le substratum rocheux est mince, là où la nappe phréatique se trouve près de la surface ou dans les sols très sableux où le lessivage pose problème. La contamination des eaux souterraines peut se produire par le lessivage ou l'infiltration des nitrates dans les fissures et les trous du sol. Il est également possible que le fumier s'infilte directement dans l'eau de puits mal protégés. Il faut éviter d'épandre du fumier à moins de 15 m (50 pi) de puits forés, de 30 m (100 pi) de puits ordinaires, ou de 100 m (330 pi) d'un puits municipal. Voir la *Loi de 2002 sur la gestion des éléments nutritifs* et l'article 43 du Règlement 267/03.

Les gros élevages situés sur des terres de faible superficie posent des défis particuliers. Pour éviter d'épandre trop d'éléments nutritifs, il faut préparer un plan de gestion à cette fin. Il peut aussi être nécessaire de signer des ententes avec des exploitations voisines pour s'assurer de disposer de suffisamment de champs pour l'épandage du fumier.

Des renseignements détaillés sur les doses d'épandage maximales et les distances de retrait à respecter par rapport aux eaux de surface ou aux puits figurent dans le logiciel NMAN 3, disponible à l'adresse ontario.ca/omafra.

Atténuation des risques liés à l'azote

Le cycle de l'azote, vu les nombreuses formes que celui-ci prend, est un processus complexe influencé par de nombreux facteurs, notamment les conditions météorologiques, les caractéristiques du sol et divers processus biologiques, chimiques et physiques. Il faut employer la quantité optimale d'azote nécessaire à la production culturale tout en gardant à l'esprit que toute portion d'azote non utilisée peut s'infiltrer sous la zone des racines, se volatiliser dans l'atmosphère ou se dénitrifier (éventuellement en oxyde nitreux).

Les nitrates qui risquent d'être lessivés vers la zone des racines proviennent notamment du surplus d'azote non prélevé par la culture et de l'azote du fumier ou des biosolides épandus hors de la saison de croissance (à la fin de l'été ou à l'automne). En Ontario,

l'infiltration dans les eaux souterraines se produit la plupart du temps de la fin de l'automne au début du printemps, lorsque les précipitations dépassent l'évaporation. Dans des sols sableux bien drainés, la majeure partie des nitrates présents à l'automne peut être lessivée dans les eaux souterraines pendant le drainage. Dans les sols lourds, la perte se produit surtout par dénitrification. En réduisant la quantité de nitrates présente dans le sol à l'automne, on diminue les deux types de pertes.

Exemples de pratiques culturales réduisant le risque de perte de nitrates :

- Utilisation de cultures couvre-sol quand du fumier est appliqué en fin d'été ou en début d'automne;
- Épandage d'azote aux moments où la culture en a besoin (bon moment);
- Harmonisation de la quantité d'azote total épandu avec les besoins des cultures (bon dosage).

Évaluation des risques liés au phosphore

Le risque de contamination des eaux de surface par le phosphore peut s'accroître lorsque les analyses révèlent une teneur élevée en cet élément nutritif. Toutefois, comme le phosphore se lie étroitement aux particules du sol, le déplacement du sol par érosion constitue également un facteur déterminant du risque de contamination. C'est pourquoi on ne peut pas se fonder uniquement sur la teneur en phosphore déterminée par l'analyse de sol pour évaluer le risque de contamination des eaux de surface.

Le risque de contamination des eaux de surface par le phosphore augmente dès qu'une analyse de sol révèle que pour atteindre un rendement économique maximal, il n'est pas nécessaire d'épandre plus de phosphore mais qu'il faut tout de même épandre du fumier. La présence de phosphore dans les sources d'eau de surface favorise l'eutrophisation, ou la croissance de plantes aquatiques (prolifération d'algues), ce qui fait varier la teneur en oxygène et nuit à la capacité de cette source d'eau de soutenir la vie aquatique. Dans l'optique de protéger l'environnement contre les risques que constitue l'apport supplémentaire en phosphore lorsque les teneurs du sol en cet élément sont adéquates selon l'analyse de sol, un indice-phosphore a été élaboré. L'utilisation de cet indice permet de réduire les doses d'épandage et de créer de plus grandes zones tampons exemptes de phosphore à proximité des cours d'eau où les risques d'érosion et de ruissellement des éléments nutritifs sont importants et lorsque les teneurs en phosphore sont élevées.

Le calcul de l'indice-phosphore tient compte :

- du risque d'érosion du sol;
- du risque de ruissellement;
- de la teneur du sol en phosphore;
- de la méthode (bon endroit) et de la dose d'épandage (bon dosage) des engrais et du fumier.

Le MAAARO met actuellement au point une nouvelle version de l'indice-phosphore, qui tient aussi compte des effets des drains agricoles, de la solubilité de divers types de fumier et du risque de perte hors de la saison de croissance. Pour en savoir plus sur l'évaluation des risques liés au phosphore, voir la fiche technique du MAAARO intitulée *Détermination de l'indice-phosphore dans un champ* ou visiter le site Web ontario.ca/cultures.

Fumier et semis direct

L'objectif du semis direct, c'est de réduire la perturbation du sol et des lits de semence. L'objectif de l'épandage de fumier, dans une culture en semis direct, c'est de fournir les éléments nutritifs dont les cultures et les micro-organismes présents dans le sol ont besoin, et d'ajouter de la matière organique pour améliorer la santé du sol. L'épandage de fumier est des plus efficaces lorsque les éléments nutritifs sont incorporés. Quand on épand du fumier sur des champs en semis direct, des compromis sont nécessaires : il faut travailler un peu le sol, autrement une partie des éléments nutritifs seront perdus. Les avancées dans les technologies d'épandage et les techniques d'application pendant la culture (y compris l'épandage de fumier à l'aide de barres d'aspersion sous le feuillage ou l'ensemencement de cultures couvre-sol combiné à l'épandage après la récolte de céréales) permettent d'épandre du fumier dans des champs en semis direct tout en réduisant au minimum les pertes d'éléments nutritifs.

Lorsqu'on envisage d'épandre du fumier dans une culture en semis direct, il est bon de tenir compte de certains points, notamment les suivants :

- On doit planifier les épandages de fumier en tenant compte des rotations des cultures et des applications pendant la culture, surtout quand on fait du semis direct pur et dur et que les éléments nutritifs ne sont pas incorporés par travail du sol.
- La meilleure solution consiste à épandre le fumier après une récolte de blé ou de céréales de printemps. Un travail du sol superficiel effectué à la verticale ou à l'aide de disques lorsque le sol est sec permettra

d'incorporer la paille des céréales ainsi que le fumier et même de semer des cultures couvre-sol. Lorsque le temps est chaud et sec, les vers de terre restent profondément dans la terre; le travail minimal du sol ne détruira pas les galeries qu'ils créent, et l'azote facilitera la décomposition de la paille.

- Il faut épandre le fumier dans les champs de maïs lorsque les sols sont secs afin d'éviter la formation d'ornières et la compaction. On peut aussi faire des épandages en bandes sur le maïs sur pied. Si l'apport en éléments nutritifs, surtout l'azote, est l'objectif principal, il faut déterminer ce qui est le plus important : un travail du sol planifié restreint, ou une certaine perte d'azote. La quantité d'azote qui risque d'être perdue dépend du type de fumier épandu. Comme le fumier solide contient moins d'azote ammoniacal, il y aura moins de perte d'azote au total. Plus la teneur en azote organique est élevée, moins il y a d'azote biodisponible, mais plus l'azote est alors libéré sur une longue période. Lorsque le fumier est épandu en surface sur un sol dénudé, la majeure partie de l'azote ammoniacal qu'il contient sera perdue. S'il pleut (10 à 15 mm ou environ 1/2 po de pluie qui pénètre en douceur) peu après l'épandage, une partie de l'azote ammoniacal sera incorporée au sol.
- Même si la pourriture à sclérotexose pose moins problème dans les cultures en semis direct, le fumier épandu avant les semis de soya entraîne souvent une densification du couvert végétal, ce qui accentue les risques. On doit choisir un cultivar présentant une certaine résistance à cette maladie.
- L'épandage de fumier liquide sur des cultures fourragères est une bonne solution. Il faut épandre le fumier aussitôt que possible après la récolte, avant la repousse. L'apport en éléments nutritifs est supérieur lorsque le fumier est épandu sur de vieux peuplements de luzerne.
- Lorsque le fumier est épandu à la surface de champs en semis direct, il y a de plus grands risques de ruissellement du phosphore dans les cours d'eau, surtout quand l'application est faite hors de la saison de croissance. En augmentant les résidus ou les cultures couvre-sol, le producteur limitera ce phénomène, mais quand le fumier est épandu sur un terrain en pente, il vaut mieux prévoir une zone tampon (végétaux ou distance de retrait) par rapport aux cours d'eau ou aux parties du champ où l'écoulement de l'eau est concentré.
- Il ne faut jamais prévoir d'épandre du fumier sur un sol gelé ou couvert de neige, car il y a alors des risques élevés de ruissellement des éléments nutritifs (surtout du phosphore). On doit éviter d'épandre du

fumier liquide sur des cultures fourragères vivaces recouvertes de neige, puisque de la glace peut se former sous le fumier et risquer d'aggraver les dommages hivernaux et le ruissellement.

- Il est important de faire évaluer les teneurs en éléments nutritifs du fumier quelle que soit la culture, de manière à pouvoir ajuster les doses d'engrais commerciaux selon la composition du fumier.
- Des doses importantes de fumier épandu en surface peuvent ralentir le réchauffement du sol au printemps ou faire croûter le sol. Il est donc essentiel de calibrer les épandeurs afin d'obtenir le bon dosage.

Calibrage des épandeurs

Le calibrage du matériel d'épandage du fumier est indispensable. On peut recourir à différentes méthodes pour mesurer les doses d'épandage : l'une d'elles consiste à peser la charge de fumier et à mesurer la superficie qu'elle peut couvrir. Une autre méthode consiste à peser le fumier solide en étalant des feuilles de plastique sur le sol. Dans le cas du fumier liquide, on peut employer des seaux à parois verticales pour mesurer la profondeur des applications. Il faut tenir compte des chevauchements, surtout quand on utilise des systèmes d'irrigation. Le tableau 9-16, *Calibrage des épandeurs de fumier*, présente une estimation des doses d'épandage, et le tableau 9-17, *Densité de différents types de fumier*, compare la densité de divers types de fumier. Pour de plus amples renseignements, visiter le site Web du MAAARO à l'adresse ontario.ca/cultures.

Tableau 9-17 – Densité de différents types de fumier

Type de fumier	Densité			
Fumier liquide	1 000 kg/m ³	62 lb/pi ³	1,0 kg/l	80 lb/bo
Fumier semi-solide	960 kg/m ³	60 lb/pi ³	0,9 kg/l	76 lb/bo
Fumier solide – épais	800 kg/m ³	50 lb/pi ³	0,8 kg/l	64 lb/bo
Fumier solide – léger	560 kg/m ³	35 lb/pi ³	0,6 kg/l	45 lb/bo
Compost et litière sèche de volaille	400 kg/m ³	25 lb/pi ³	0,4 kg/l	30 lb/bo
1 bo = 1,25 pi ³				

Tableau 9-16 – Calibrage des épandeurs de fumier

Fumier solide – Calibrage ¹		Fumier liquide – Calibrage ²	
Quantité par feuille	Dose d'épandage ³	Profondeur du fumier liquide dans le seau	Dose d'épandage
0,5 kg	3,6 t/ha	2,5 mm (1/10 po)	25 m ³ /ha (2 225 gal imp./ac) (2 675 gal US/ac)
0,9 kg	7,2 t/ha	3,2 mm (1/8 po)	32 m ³ /ha (2 850 gal imp./ac) (3 420 gal US/ac)
1,4 kg	10,8 t/ha	6,4 mm (1/4 po)	64 m ³ /ha (5 520 gal imp./ac) (6 645 gal US/ac)
1,8 kg	14,3 t/ha	10 mm (4/10 po)	100 m ³ /ha (8 900 gal imp./ac) (10 690 gal US/ac)
2,3 kg	17,9 t/ha	12,7 mm (1/2 po)	127 m ³ /ha (11 305 gal imp./ac) (13 580 gal US/ac)
3,2 kg	25,1 t/ha	15,0 mm (6/10 po)	150 m ³ /ha (13 355 gal imp./ac) (16 040 gal US/ac)
4,5 kg	35,8 t/ha	19,1 mm (3/4 po)	191 m ³ /ha (17 000 gal imp./ac) (20 420 gal US/ac)
6,8 kg	53,8 t/ha	25,4 mm (1 po)	254 m ³ /ha (22 610 gal imp./ac) (27 160 gal US/ac)
1 m ³ = 1 000 l			

¹ À l'aide d'une feuille de 122 x 102 cm (sac de moulée en plastique de 40 x 48 po).

² À l'aide d'un seau à parois verticales.

³ t. c./ac = t/ha x 0,45.

Utilisation de matières de source non agricole dans les champs

Les déchets de source non agricole (p. ex. biosolides d'épuration) sont des matières organiques traitées, riches en éléments nutritifs, qui proviennent d'usines municipales de traitement des eaux usées. Ils contiennent généralement de l'azote organique et minéral, du phosphore, de la potasse, de la matière organique et des oligo-éléments comme le zinc, le magnésium et le cuivre. Pour un producteur, l'épandage de biosolides fait dans le cadre d'un plan de gestion des éléments nutritifs peut apporter les mêmes avantages que le fumier. Ces matières de source non agricole (MSNA) sont d'ailleurs idéales pour les grandes cultures.

Régies par la *Loi de 2002 sur la gestion des éléments nutritifs* et le Règlement 267/03, les MSNA comprennent les rejets des papetières, les sous-produits du traitement des grains et de nombreux autres déchets organiques. Chaque type de déchet a des caractéristiques particulières pouvant améliorer la qualité du sol ou la production culturale. Il est important de connaître les teneurs en éléments nutritifs ou les précautions associées à chaque matière; les biosolides d'épuration, par exemple, contiennent très peu de potassium.

Les MSNA sont classées dans trois catégories. Elles peuvent toutes être épandues sur des terres agricoles, mais les normes d'épandage varient selon la catégorie et la qualité de la matière.

- Catégorie 1 : Matières végétales non traitées (p. ex. restes de légumes)
- Catégorie 2 : Matières végétales traitées (p. ex. déchets organiques d'une boulangerie)
- Catégorie 3 : MSNA d'origine animale (p. ex. résidus organiques d'une usine de transformation de la viande, biosolides de pâtes et papiers, biosolides d'épuration municipaux)

Dans le règlement, on exige maintenant un plan MSNA au lieu d'un certificat d'autorisation pour un site de conditionnement de sol organique de terres agricoles. Ce plan est semblable à un plan de gestion des éléments nutritifs, mais concerne uniquement le ou les champs où des MSNA sont épandues, et non l'ensemble de l'exploitation. Les plans MSNA doivent être préparés par un concepteur certifié de plans MSNA.

Certaines MSNA (biosolides d'épuration) subissent un traitement supplémentaire qui les stabilise et sont ensuite considérées comme des engrais commerciaux enrichis de matière organique. Ces produits sont enregistrés auprès de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA), et il n'est pas nécessaire de préparer un plan MSNA pour les utiliser à l'heure actuelle. Voici des exemples de ces produits :

- N-Viro – biosolides traités au moyen de poussière de four pour les enrichir de chaux;
- Biosolides granulés – biosolides traités, transformés en granules et traités thermiquement;
- Lystek – processus breveté de traitement thermique et de lyse qui permet de combiner des biosolides avec de l'hydroxyde de potassium.

Engrais

Les engrais azotés sont offerts sous forme solide ou liquide. Leur emploi est assorti de certaines restrictions (voir la section *Toxicité des engrais*). Soulignons que l'urée et l'ammonium sont susceptibles de se volatiliser lorsqu'ils sont laissés à la surface sans être incorporés. Il faut choisir l'engrais en fonction de sa disponibilité, du matériel de manutention dont on dispose, du coût de l'azote au kilogramme, des coûts d'épandage et des risques de perte. Plus la quantité de nitrates est élevée, plus il y a de risques de pertes par lessivage ou dénitrification.

On doit calculer le coût par kilogramme des diverses sources d'azote livré sur place. Le coût à l'hectare peut être calculé à partir de la dose d'épandage. Il faut additionner les coûts d'épandage par hectare avant d'arrêter son choix sur une source d'azote.

Quand les directives relatives aux engrais indiquent de faire des amendements séparés d'azote, il faut compter les kilogrammes d'azote élémentaire et non les kilogrammes d'engrais. Les tableaux 9-18, *Engrais – Éléments nutritifs primaires et secondaires*, et 9-19, *Engrais – Éléments nutritifs secondaires et oligo-éléments*, montrent les teneurs en éléments nutritifs (exprimées en pourcentage) de différents engrais.

Outre les produits mentionnés au tableau 9-18, *Engrais – Éléments nutritifs primaires et secondaires*, divers mélanges contenant un ou plusieurs oligo-éléments sont offerts par les fabricants d'engrais.

Le zinc est plus assimilable par les plantes sous forme de sulfate que d'oxide. Le zinc chélaté est plus cher au poids que les autres formes, mais environ deux fois plus efficace que les sulfates contenant une quantité équivalente de zinc. On utilise le zinc chélaté ou le ligninesulfonate dans les solutions d'engrais liquides ou pour des traitements foliaires. Les autres sources indiquées au tableau 9-19, *Engrais – Éléments nutritifs secondaires et oligo-éléments*, sont des formules sèches pour lesquelles il faut avant tout tenir compte du pourcentage de solubilité.

Une large gamme d'engrais liquides sont utilisés en Ontario. Ils reviennent généralement plus chers par unité d'élément nutritif que les engrais secs en granules, mais peuvent être plus faciles à manipuler. Les caractéristiques des engrais liquides les plus fréquemment utilisés sont présentées au tableau 9-20, *Densités des engrais liquides les plus répandus*.

Tableau 9-18 – Engrais – Éléments nutritifs primaires et secondaires

Matière	Forme	Élément nutritif primaire	Soufre	Indice de sel ¹	Indice de sel ²
Azote (N)					
Nitrate d'ammonium (34-0-0)	Sec	30 à 34 %		104	14,5
Nitrate d'ammonium et de calcium (27-0-0)	Sec	27 %		93	15,3
Urée (46-0-0)	Sec	45 à 46 %		73	8,1
Sulfate d'ammonium (21-0-0)	Sec	21 %	24 %	88	16,3
Nitrate d'ammonium et d'urée (28-0-0)	Liquide	28 %		63	11,3
Ammoniac anhydre (0-0-82)	Liquide ³	82 %		47	2,9
Phosphate (P₂O₅)					
Phosphate monoammonique (11-52-0)	Sec	48 à 52 %		27	2,0
Phosphate diammonique (18-46-0)	Sec	46 %		29	2,3
Polyphosphate d'ammonium (10-34-0)	Liquide	34 %		20	2,3
Potasse (K₂O)					
Chlorure de potassium (0-0-60)	Sec	60 à 62 %		115	9,7
Sulfate de potassium (0-0-50)	Sec	50 %	18 %	46	4,3
Sulfate de potasse et de magnésie (0-0-22)	Sec	22 %	20 %	43	9,9
Nitrate de potassium (13-0-44)	Sec	44 %		74	6,1

¹ La pression osmotique s'accroît quand on dissout dans l'engrais l'équivalent en poids de nitrate de sodium (100).

² Exprimé par unité (100 lb) d'élément nutritif (N + P₂O₅ + K₂O).

³ Liquide sous pression.

Tableau 9-19 – Engrais – Éléments nutritifs secondaires et oligo-éléments

Élément nutritif	Quantité
Magnésium (Mg)	
Chaux dolomitique	6 à 13 % de Mg
Sulfate de magnésium (sel d'Epsom)	10,5 % de Mg 14 % de S
Sulfate de potasse et de magnésie	11 % de Mg 20 % de S
Soufre (S)	
Sulfate de calcium (gypse)	19 % de S
Soufre élémentaire	90 % de S
Thiosulfate d'ammonium	12 % de N 26 % de S
Bore (B)	
Borate de sodium	12 à 21 % de B
Solubor	20,5 % de B
Cuivre (Cu)	
Sulfate de cuivre	13 à 25 % de Cu
Cuivre chélaté	5 à 13 % de Cu
Manganèse (Mn)	
Sulfate de manganèse	26 à 28 % de Mn
Manganèse chélaté	5 à 12 % de Mn
Molybdène (Mo)	
Molybdate de sodium	39 % de Mo
Zinc (Zn)	
Sulfate de zinc	36 % de Zn
Zinc chélaté	7 à 14 % de Zn
Oxysulfate de zinc	18 à 36 % de Zn

Sels solubles dans les terres agricoles

De fortes concentrations de sels solubles dans le sol peuvent empêcher ou retarder la germination et même tuer les plants déjà établis ou, du moins, en ralentir sérieusement la croissance.

À l'état naturel, les sols de l'Ontario renferment peu de sels solubles. Par conséquent, ceux-ci occasionnent rarement des problèmes aux cultures et ne sont pas couramment mesurés dans les analyses de sol.

Les sels solubles dans le sol peuvent provenir de doses excessives d'engrais et de fumier, de certains types de compost, du ruissellement du sel épandu sur les routes et du déversement de produits chimiques sur les terres agricoles. De fortes concentrations de sels solubles dans les bandes de fertilisation, ou à proximité de ces dernières, peuvent freiner considérablement le développement des plantes, en début de croissance, sans

Tableau 9-20 – Densités des engrais liquides les plus répandus

Composition	kg/l	l/t	gal imp./t	lb/l	lb/gal imp.
8-25-3	1,33	749,9	165,1	2,94	13,35
6-18-6	1,28	779,0	171,6	2,83	12,85
3-11-11	1,25	798,8	175,7	2,76	12,55
6-24-6	1,33	752,4	165,8	2,93	13,30
9-18-9	1,33	755,0	165,8	2,92	13,30
5-10-15	1,25	799,0	171,6	2,83	12,85
2-10-15	1,28	784,6	172,9	2,81	12,75
10-34-0	1,40 à 1,41	715,8 à 711,2	157,5 à 156,4	3,08 à 3,10	14,0 à 14,1
28 %	1,28	781,8	172,2	2,82	12,8
Acide phosphorique 54 %	1,58	633,5	139,5	3,48	15,8
1 gal imp. = 1,201 gal US = 4,546 l lb/gal imp. x 0,832 = lb/gal US			1 gal US = 0,8326 gal imp. = 3 785 l gal imp./t x 0,832 = gal US/t		

toutefois avoir d'effets marqués sur les concentrations de sel dans le reste du sol. La concentration de sel dans l'eau du sol s'accroît quand il y a peu d'eau.

Les sels solubles interfèrent aussi avec l'absorption de l'eau par les plantes. C'est pourquoi la croissance des plantes est plus affectée par la présence de sels solubles quand le temps est sec au moment de la plantation.

On peut facilement déterminer en laboratoire ou sur le terrain la teneur en sels solubles en mesurant la conductivité électrique d'un mélange pâteux d'eau et de terre. Plus la concentration de sels solubles dans l'eau est élevée, plus la conductivité est forte. Le tableau 9-21, *Interprétation des résultats de conductivité du sol*, permet d'interpréter, comme son nom le dit, les résultats de conductivité du sol : « F » signifie « faible », « M » moyen, « É » élevé, et « T » trop élevée. Certaines dissolutions nuisent davantage aux plantes (p. ex. Na⁺, Cl⁻) que d'autres (Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, HCO₃⁻); ainsi, quand les sels posent problème, la détermination des concentrations d'ions permet de faire un meilleur diagnostic que la conductivité électrique.

Toxicité des engrais

Tous les sels des engrais chimiques sont toxiques pour les racines et les graines en germination lorsqu'ils se trouvent en concentrations suffisantes près de celles-ci. La toxicité par unité d'élément nutritif dépend des facteurs suivants :

- la proportion de sels que l'engrais contient par unité d'élément nutritif;
- les différences de solubilité des sels dans le sol;
- la présence de certains constituants ou éléments qui sont particulièrement toxiques (p. ex. ammoniac, bore).

De nombreux engrais azotés, même s'ils présentent une faible teneur en sel, libèrent de l'ammoniac libre dans le sol.

Exemple de calcul des doses d'engrais requises

D'après les résultats des analyses de sol et du calculateur d'azote, un producteur doit appliquer 120 lb de N, 18 lb de P_2O_5 et 30 lb de K_2O dans son champ de maïs. Un engrais liquide de démarrage (5 gal/ac de 6-24-6) sera également épandu.

Étape 1 : Calculer l'apport fourni par l'engrais de démarrage.

Un engrais liquide 6-24-6 ayant une densité de 13,3 lb/gal est épandu à une dose de 5 gal/ac.

L'engrais contient 6 % de N, 24 % de P_2O_5 et 6 % de K_2O . La dose d'épandage est calculée comme suit : 5 gal/ac x 13,3 lb/gal = 66,5 lb/ac.

N : 66,5 lb/ac x 6/100 = 4 lb/ac

P_2O_5 : 66,5 lb/ac x 24/100 = 16 lb/ac

K_2O : 66,5 lb/ac x 6/100 = 4 lb/ac

Étape 2 : Calculer les doses d'engrais à ajouter.

$120 - 4 = 116$ lb de N à ajouter par acre

$18 - 16 = 2$ lb de P_2O_5 par acre (différence négligeable)

$30 - 4 = 26$ lb de K_2O à ajouter par acre

Étape 3 : Calculer la quantité d'engrais additionnelle requise pour combler les besoins de la culture.

On calcule les doses d'engrais en divisant les quantités d'éléments nutritifs requises par la proportion de cet élément contenue dans l'engrais. Si l'engrais additionnel est un mélange d'urée et de potasse, le calcul se fera comme suit :

$116 \text{ lb/ac de N} \div 0,46 \text{ (ou 46 \%)} = 252 \text{ lb/ac d'urée (46-0-0)}$

$26 \text{ lb/ac de } K_2O \div 0,62 \text{ (ou 62 \%)} = 42 \text{ lb/ac de chlorure de potassium (0-0-60)}$

Dose totale épandue : $252 + 42 = 294$ lb/ac du mélange d'engrais.

Pour plus d'information sur le calcul des éléments nutritifs requis par les cultures et sur les mélanges d'engrais, voir la publication 611F du MAAARO, *Manuel sur la fertilité du sol*.

Engrais azotés

Le nitrate d'ammonium, le phosphate monoammonique et le sulfate d'ammonium ont une toxicité semblable et sont beaucoup moins dangereux que l'ammoniac anhydre, l'hydroxyde d'ammonium et l'urée. Le phosphate diammonique est plus toxique que le phosphate monoammonique, mais moins que l'urée. Il faut réduire les doses d'urée ou augmenter les distances entre les semences et la bande d'engrais, surtout dans le cas de semences sensibles comme les haricots ou les pois, et dans les sols à texture grossière (sables et loams sableux).

Comme l'ammoniac anhydre et l'hydroxyde d'ammonium libèrent de l'ammoniac libre, ils ne devraient pas être épandus près des semences. Il est donc préférable d'appliquer ces engrais au présemis, perpendiculairement à la direction du semis. Une réduction de la densité de peuplement de la bande peut malgré tout se produire dans des sols très secs ou si les semis ont lieu trop tôt après l'application.

L'urée est toxique quand elle est appliquée en bandes avec les semences ou près d'elles, mais est sans danger si on l'épand à la volée à une dose normale. Les mélanges dont la teneur en azote est supérieure à la moitié de la quantité de phosphate contiennent souvent de l'urée.

Engrais phosphatés

La plupart des engrais phosphatés ne sont guère toxiques puisqu'une grande partie du phosphate est précipitée dans le sol avant même d'entrer en contact avec les racines. La concentration du phosphore en solution dans le sol est toujours très basse, de sorte qu'il n'existe aucune limite quant aux quantités à appliquer près des semences de cultures faites en champ ou avec elles.

Le phosphate diammonique est plus dommageable que les autres engrais phosphatés. Voir la section *Engrais azotés* à ce sujet.

Tableau 9-21 – Interprétation des résultats de conductivité du sol

Selon un ratio eau-sol de 2:1. Pour obtenir l'équivalent en pâte saturée, il faut multiplier par cinq.

Conductivité du sol (millisiemens/cm)	Cote	Réaction des plantes
0 à 0,25	F	Convenable pour la plupart des plantes si les quantités recommandées d'engrais sont utilisées.
0,26 à 0,45	M	Convenable pour la plupart des plantes si les quantités recommandées d'engrais sont utilisées.
0,46 à 0,70	É	Pourrait réduire la levée et causer des dommages allant de légers à graves aux plantes sensibles au sel.
0,71 à 1,00	T	Pourrait réduire la levée et causer des dommages allant de légers à graves à la plupart des plantes.
1,00	T	Causera probablement de graves dommages à la plupart des plantes.

Engrais potassiques

Le chlorure de potassium (KCl) est la source de potassium la plus courante dans les engrais. Il est moins dommageable par unité d'élément nutritif que la plupart des engrais azotés.

Le sulfate de potassium (K_2SO_4) contient moins de sel que le chlorure de potassium. Le sulfate de potasse et de magnésie est à peu près aussi toxique par unité de potassium que le chlorure de potassium. Le nitrate de potassium est l'une des sources de potassium les moins dangereuses.

Le tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, présente les doses maximales d'éléments nutritifs qui sont sécuritaires pour diverses cultures. Les doses indiquées s'appliquent pour l'épandage d'un seul engrais. Si des épandages de deux éléments nutritifs et plus sont combinés, l'effet cumulatif peut endommager la culture même si les doses d'épandage sont individuellement en deçà du seuil de nuisibilité.

Directives relatives à l'application sans danger d'éléments nutritifs pour les semis

La toxicité des engrais varie grandement selon le degré d'humidité du sol. Les dommages se produisent plus fréquemment sur des sols à texture grossière (sableux ou graveleux) dont la teneur en matière organique est faible, et par temps sec. Pour s'assurer qu'en toutes circonstances les engrais appliqués en bandes ne seront pas nocifs, il faut en appliquer de très faibles quantités. Les doses maximales suggérées ici pourraient réduire ou retarder la germination ou la croissance jusque dans 10 % des cas. C'est pourquoi on recommande généralement d'utiliser au semis des quantités plus faibles que celles indiquées dans le tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*.

L'application excessive d'engrais peut endommager les plantules sous l'effet de l'ammoniac et du sel, en raison du contenu en azote et en potassium des engrais. C'est pourquoi on recommande généralement d'utiliser au semis des quantités plus faibles que celles indiquées. Si les besoins en engrais sont élevés, il est parfois préférable d'en épandre la majeure partie à la volée et de n'appliquer qu'une faible portion en bandes au moment du semis.

Les engrais sont plus dommageables lorsqu'ils contiennent du bore, du cuivre, du fer, du manganèse et du zinc. Par conséquent, les doses maximales auxquelles on peut les utiliser sans danger sont inférieures à celles qui sont indiquées dans le tableau 9-22. Le bore est particulièrement toxique et ne devrait pas être appliqué en bandes.

Certains producteurs épandent en bandes des doses beaucoup plus élevées d'engrais qu'il n'est recommandé ici, sans problème apparent. Les cultures tolèrent des doses d'engrais beaucoup plus élevées pourvu que le taux d'humidité soit adéquat, mais il est impossible de prévoir les mauvaises conditions qui peuvent survenir à la germination. Il est toujours plus prudent de ne pas dépasser les doses maximales sûres.

Tableau 9-22 – Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais

LÉGENDE : – = aucune donnée NR = non recommandé							
Culture	Engrais	Azote			Azote + potasse + soufre		
		Rangs espacés de 75 cm (30 po)	Rangs espacés de 38 cm (15 po)	Rangs espacés de 18 cm (7 po)	Rangs espacés de 75 cm (30 po)	Rangs espacés de 38 cm (15 po)	Rangs espacés de 18 cm (7 po)
Engrais appliqué en bandes – 5 cm (2 po) à côté et 5 cm (2 po) au-dessous des semences							
Maïs ¹	Urée	40 kg/ha	–	–	79 kg/ha	–	–
	Autres engrais	52 kg/ha	–	–	117 kg/ha	–	–
Soya ² , pois, haricots secs	Sulfate d’ammonium	30 kg/ha	60 kg/ha	–	NR	NR	–
	Autres engrais	NR	NR	–	90 kg/ha	180 kg/ha	–
Engrais avec la semence ³							
Maïs	Autres engrais	NR	NR	–	10 kg/ha	20 kg/ha	–
Blé d’automne, triticale, orge	Autres engrais	–	–	15 kg/ha	–	–	40 kg/ha
Avoine de printemps, orge, blé	Urée	–	NR	10 kg/ha	–	–	30 kg/ha
	Autres engrais – sols sableux	–	NR	35 kg/ha	–	–	55 kg/ha
	Autres engrais – argile	–	–	45 kg/ha	–	–	70 kg/ha
Canola	Sulfate d’ammonium – sols sableux	–	–	22 kg/ha	–	–	11 kg/ha
	Sulfate d’ammonium – argile	–	–	22 kg/ha	–	–	33 kg/ha
Application à la volée, travail du sol par bandes superficiel							
Maïs	Urée	200 kg/ha	–	–	250 kg/ha	–	–
100 kg/ha = 90 lb/ac							

100 kg/ha = 90 lb/ac

¹ À des doses plus élevées, il faut placer l'engrais à au moins 15 cm (6 po) des semences. Lorsque l'espace entre les rangs n'est pas de 75 cm, on peut ajuster la dose d'engrais pour uniformiser la concentration maximale dans le rang. Par exemple, dans des rangs espacés de 50 cm (20 po), la dose sûre se calcule ainsi : $75/50 \times 52 = 78$ kg/ha (70 lb/ac) d'azote.

² Comme les concentrations élevées d'azote nuisent à la nodulation, il n'est pas recommandé d'en épandre une grande quantité.

³ Il n'est pas recommandé d'appliquer de l'urée avec la semence dans les cultures de maïs, de soya ou de blé d'automne.

L'application excessive d'engrais peut endommager les plantules sous l'effet de l'ammoniac et du sel, en raison du contenu en azote et en potassium des engrais. La toxicité varie grandement selon la texture du sol, le taux d'humidité, la culture, ainsi que la source et le mode d'application des engrais. Le tableau 9-22, *Doses maximales sûres des éléments nutritifs dans les engrais*, fournit des directives qui permettront en général de limiter les dommages, notamment un taux de germination réduit et des retards de croissance, à moins de 10 % des cas. Les conditions météorologiques, le stress et les autres facteurs qui influent sur la croissance peuvent augmenter les risques de dommages.

Engrais foliaires

L'apport en oligo-éléments peut se faire par fertilisation foliaire, particulièrement lorsque les carences sont attribuables à l'immobilisation des éléments nutritifs dans le sol (p. ex. du manganèse). La quantité d'éléments nutritifs qu'il est possible d'épandre par cette méthode est limitée à cause du risque de brûler les feuilles. Lors de la préparation d'un mélange d'éléments nutritifs, il faut s'assurer que la solution n'est pas trop concentrée. On doit consulter l'étiquette des pesticides avant d'y mêler des éléments nutritifs pour pulvérisation foliaire.

Il n'est pas pratique d'épandre des oligo-éléments à travers le feuillage, vu la concentration et la quantité limitées d'éléments nutritifs qui peuvent être pulvérisés. Certains éléments nutritifs peuvent être épandus en quantité importante de cette manière, d'autres non.

Calcul des besoins en engrais

On calcule les besoins en engrais minéraux pour un rendement optimal des cultures en soustrayant les éléments nutritifs provenant du fumier et des légumineuses des besoins totaux en éléments nutritifs. Il est souvent avantageux de séparer du reste de l'azote et du potassium la portion d'engrais de démarrage comprise dans le fertilisant, qui est généralement riche en phosphore.

Le choix de l'engrais de démarrage dépend du type de culture, des besoins en engrais minéraux et de la machinerie disponible. Il est souvent aussi efficace d'épandre une partie de l'engrais comme engrais de démarrage et d'épandre le reste à la volée que d'épandre tout l'engrais au semoir. Cette façon de faire permet d'économiser temps et énergie, et présente moins de risques de dommages aux plantules. L'application à la volée d'engrais phosphatés à la surface, sans incorporation, augmente par contre les risques d'atteinte à la qualité de l'eau. Il faut envisager d'autres options si possible.

On doit soustraire les épandages d'engrais de démarrage et en bandes latérales des besoins totaux en engrais minéraux. Le reste doit être appliqué à la volée. S'il ne reste que de très petites quantités, on peut ajuster les doses de l'une des autres sources d'éléments nutritifs, ignorer les quantités restantes, ou encore prévoir une application d'engrais qui répond aux besoins sur plusieurs années (phosphore et potassium uniquement).

Citations

Tableau 9-3 – *Capteurs servant à définir les zones de gestion et paramètres mesurés*

Adaptation de :
AGRICULTURE RESEARCH & EXTENSION
COUNCIL OF ALBERTA. *Sensors - Precision Farming and Variable Rate Technology: A Resource Guide*, 2010.

Tableau 9-15 – *Prélèvement moyen d'éléments nutritifs (N, P₂O₅, K₂O) par certaines grandes cultures*

Adaptation de :
MURRELL, T.S. « Average nutrient removal rates for crops in the northcentral region », 2005. En ligne : www.ipni.net/article/IPNI-3258.

Tableau 9-18 – *Engrais – Éléments nutritifs primaires et secondaires*

Adaptation de :
FOLLETT, R.H., L.S. MURPHY et R.L. DONAHUE. *Fertilizers and Soil Amendments*, Prentice Hall inc., Englewood Cliffs (New Jersey), 1981.

JOSEPH, Jez (rédacteur). *Sulfur: A Missing Link between Soils, Crops, and Nutrition*, Agronomy Monographs n° 50 (chapitre *Sulfur Forms and Cycling Processes in Soil and Their Relationship to Sulfur Fertility*, par SCHOENAU, J. et S.S. MALHI, American Society of Agronomy), 2008, p. 1 à 10. ISBN : 978-0-89118-186-6.

10. Dépistage

Dépistage

Le dépistage joue un rôle important dans la gestion du système cultural et de l'exploitation agricole. En surveillant ses champs et ses cultures tout au long de la période de croissance et au-delà, le producteur peut déceler les problèmes et prendre rapidement les mesures nécessaires pour réduire toute perte de nature économique tout en améliorant l'efficacité du travail au champ. Il se peut que certains problèmes ne puissent être résolus quand on les détecte, mais il est tout de même possible de consigner des renseignements en vue d'une utilisation ultérieure.

Traditionnellement, on considère que le dépistage fait uniquement partie de la lutte intégrée contre les ravageurs, mais il procure de nombreux autres avantages, notamment les suivantes :

- Détection de problèmes de drainage pendant des inspections dans les champs avant les semis.
- Inspections dans les champs après les semis visant à évaluer l'efficacité du matériel (p. ex. densité désirée des semences, profondeur, répartition dans l'ensemble du champ).
- Gestion des éléments nutritifs (détection des zones présentant des signes de carences en éléments nutritifs).
- Sélection des cultivars (évaluation du rendement des variétés faite dans le champ).
- Évaluation de l'état du champ (p. ex. érosion, drainage) sous un autre angle, notamment au moyen d'échantillonnage du sol.

Le dépistage comprend la consignation des observations faites depuis le champ, étape nécessaire pour que les mesures requises soient prises immédiatement ou intégrées aux plans d'intervention. Les registres d'observations sont un aspect important du système de tenue de registres de toute exploitation agricole.

Dépistage traditionnel

Le dépistage consiste à se déplacer à pied dans un champ en s'arrêtant de temps en temps, à des endroits précis ou choisis au hasard, pour recueillir des observations. Le dépistage traditionnel aide à

déterminer avec exactitude les facteurs qui nuisent au rendement durant la saison de croissance alors qu'il est encore temps d'intervenir pour préserver le plein potentiel de la culture. Lorsqu'il est trop tard pour intervenir, les registres d'observations contribuent à prévenir ces problèmes pour la saison suivante. C'est pourquoi chaque saison doit débiter par la consultation des registres et la consignation des renseignements importants et actuels sur le champ (p. ex. fertilité du sol, intrants) en format papier ou électronique (un formulaire de dépistage en format papier figure à l'annexe N). Ces renseignements, conjugués à des visites régulières du champ, à la détection et au diagnostic des problèmes, ainsi qu'à la tenue d'un registre de ces observations, concourent au succès du programme de surveillance des cultures. En plus de servir à la résolution de problèmes immédiats, les registres jouent un rôle essentiel dans la planification. Par exemple, les ravageurs comme le nématode à kyste du soya ont une incidence à la fois sur la rotation des cultures et le choix de cultivars pendant plusieurs années.

Un système de tenue de registres d'observations efficace commence par l'établissement d'une convention de dénomination et de numérotation.

Moment opportun

C'est en détectant et en réglant rapidement les problèmes que l'on réduit au minimum leur incidence économique sur une culture. Un calendrier de dépistage des ennemis des cultures les plus répandus en Ontario est d'ailleurs fourni dans chacun des chapitres de cette publication consacrés aux cultures. Il est important de surveiller le champ régulièrement puisque les conditions peuvent changer rapidement pendant la saison. Comme une densité de peuplement optimale est essentielle à l'obtention d'un rendement économique maximal, il faut commencer à évaluer la densité de peuplement de façon hebdomadaire moins d'une à deux semaines après la levée. À l'approche d'un seuil d'intervention nécessitant, par exemple, l'application d'un insecticide ou d'un herbicide de postlevée, il faudra peut-être effectuer

un dépistage quotidien pour assurer l'opportunité de l'intervention. On pourra passer plus tard dans la saison à un dépistage aux deux semaines, ce qui est généralement suffisant. Certains insectes et certaines maladies apparaissent plus tard dans la saison et peuvent atteindre les seuils d'intervention en quelques jours (p. ex. légionnaire et puceron du soya). Lorsque les conditions météorologiques et le terrain favorisent ces ennemis de fin de saison, il faut revenir à un dépistage hebdomadaire. Les observations recueillies avant la récolte servent souvent à évaluer le rendement et à planifier la culture de l'année suivante. Si des mauvaises herbes ont échappé aux traitements malgré que l'on ait appliqué les bons produits correctement, il faut recueillir des échantillons de mauvaises herbes pour en vérifier la résistance aux herbicides avant la récolte. Les échantillons peuvent être envoyés au laboratoire de recherche sur les mauvaises herbes de l'Université de Guelph (Crop Science Building, 50 Stone Road East, Guelph [Ontario] N1G 2W1).

Outils et techniques de dépistage

Les outils servant à surveiller les ennemis des cultures et la croissance des cultures varient selon la culture et l'ennemi en cause. Voici le matériel de base nécessaire au dépistage :

- Planchette à pince et formulaires de dépistage ou calepin pour consigner les observations (qui peuvent également être consignées en format électronique).
- Cartes du champ.
- Pelle.
- Canif.
- Sacs en papier et en plastique pour y déposer des spécimens.
- Loupe grossissant 10 fois et cadre d'échantillonnage (p. ex. cerceau).
- Règle.

Les dépisteurs professionnels utilisent souvent d'autres outils, notamment les suivants :

- Photos aériennes.
- Appareil photo (téléphone intelligent).
- Étiquettes d'identification.
- Guides de référence
- Filet fauchoir.
- Toile.
- Petits flacons et alcool isopropylique.
- Pièges ou plaquettes encollés destinés à la détection des insectes nuisibles.
- GPS ou matériel de repérage.

Il est par ailleurs important de porter des vêtements adéquats pour se protéger du soleil et des éléments nuisibles comme les plantes vénéneuses, les tiques et les moustiques. Il faut aussi vérifier s'il y a eu récemment des traitements pesticides sur le terrain et, le cas échéant, se conformer aux délais de non-retour dans les zones traitées indiqués sur les étiquettes des produits.

Nouveaux outils de dépistage

De nouveaux outils enrichissent le dépistage et facilitent la tenue de registres, notamment de nombreuses applications d'aide au dépistage pour tablettes et téléphones intelligents. Les applications utilisées doivent cibler toutes les données d'intérêt et s'intégrer aux autres logiciels ou au matériel informatique de l'exploitation agricole, car une application ne vaut pas grand-chose si les données restent confinées dans l'appareil. Beaucoup de systèmes de gestion des cultures et des exploitations agricoles dans leur ensemble comportent des applications mobiles qui s'intègrent à leurs programmes principaux. Bon nombre d'entre elles ont des fonctions GPS donnant aux utilisateurs la possibilité de mieux indiquer l'endroit où ils découvrent des problèmes.

Autre avantage des appareils électroniques : l'accès rapide aux ressources documentaires (guides, instruments de mesure, etc.) intégrées à la même plateforme. Il n'est donc plus nécessaire d'emporter des guides papier avec soi. Certains de ces outils permettent notamment aux utilisateurs d'échanger leurs observations et de dresser ainsi le portrait de la présence d'insectes, de leur densité de population et de leur répartition dans toute la province. Cette collaboration sert de système d'alerte et aide à cibler le dépistage durant la saison.

Une nouvelle application a été conçue pour faciliter le dépistage des ennemis des cultures les plus courants en Ontario : il s'agit de Pest Manager, compatible avec toutes les plateformes courantes (www.pestmanager.ca).

Les logiciels et applications de dépistage servent à faciliter la tenue de registres propres au champ et à déterminer l'ampleur des problèmes relevés. Dans certains cas, ils aident à établir un diagnostic et permettent une gestion des problèmes à distance. La plupart des appareils électroniques ont des fonctions GPS permettant de retrouver facilement les endroits problématiques (p. ex. photos avec balises géographiques).

Voici une brève liste des fonctions de base généralement offertes dans les logiciels de dépistage et les applications mobiles de cartographie :

- Cartes et imagerie satellitaire servant à trouver l'emplacement du champ (p. ex. routes, cours d'eau).
- Indication des zones problématiques sur la carte par des points, des lignes ou des polygones.
- Calcul du périmètre ou de la superficie de la zone touchée.
- Application de balises géographiques sur les photos des zones problématiques.
- Diagnostic à partir de listes et de bases de données en ligne (p. ex. banques d'images et listes de mauvaises herbes, de maladies et de signes de carence en éléments nutritifs).
- Acquisition d'autres services agronomiques pour établir le diagnostic ou régler le problème (échantillonnage du sol à un endroit particulier ou autres services sur mesure offerts depuis l'application).
- Importation et consultation (en ligne ou hors ligne) d'information, de données recueillies par les appareils installés dans les champs (p. ex. capteurs) et de cartes (p. ex. rendement, activités de dépistage précédentes, rapports).
- Exportation et téléversement automatisés, entièrement ou partiellement, des données de dépistage et des registres d'observations depuis le champ, à partir d'un appareil mobile connecté à Internet, ou dès que le dépisteuse retourne à son bureau.
- Différents niveaux d'accès dans la même application permettant aux grandes organisations de choisir les outils, les options de modification et les services à la disposition de chaque utilisateur (p. ex. dépisteuse, gestionnaire).

Dépistage des insectes

L'utilisation d'une toile, de pièges ou d'un filet fauchoir peut faciliter la capture et le dénombrement des insectes peu visibles ou de ceux qui se déplacent trop rapidement dans le feuillage pour être vus et comptés.

Utilisation d'une toile

On étend une toile blanche sur le sol entre deux rangs de plants. Par la suite, on les secoue vigoureusement au-dessus de la toile pour que les insectes y tombent. Il est alors plus facile d'identifier les insectes et de les dénombrer.

Utilisation de pièges

Les pièges peuvent être pratiques pour dépister des espèces précises telles que la cécidomyie du chou-fleur ou le ver-gris occidental du haricot. Il existe de nombreux types de pièges, qui diffèrent souvent d'une espèce à l'autre. Les pièges à phéromones aident à surveiller les insectes au fil du temps en facilitant leur capture, leur identification et leur dénombrement. Il est alors possible de comparer leur population avec le seuil d'intervention correspondant au stade de croissance de la culture. Par ailleurs, on peut utiliser un réseau de pièges pour déterminer la population de ravageurs dans une culture d'une région donnée, notamment pour le ver-gris occidental du haricot dans le maïs.

Il existe différents fournisseurs de pièges (voir annexe A, *Fournisseurs de matériel pour le dépistage d'insectes*). Pour certains ravageurs, le seuil d'intervention est fondé sur le nombre d'insectes capturés avec des pièges.

Utilisation d'un filet fauchoir

Le filet fauchoir constitue la meilleure méthode de dépistage dans les cultures denses telles que les céréales, la luzerne, le canola et le soja en semis denses. Des filets fauchoirs standard de 37 cm (15 po) de diamètre sont offerts par les divers fournisseurs figurant à l'annexe A. La technique consiste à marcher dans la culture en balançant le filet d'un côté à l'autre comme un pendule de sorte qu'il balaie la partie supérieure du feuillage sur 37 cm (15 po) et que la partie supérieure du filet arrive à égalité avec le dessus du feuillage. Il faut éviter de recueillir de la terre.

Les seuils d'intervention sont établis selon deux méthodes :

1. **Un balayage décrivant deux arcs de 180° :** Certains chercheurs considèrent que chaque balayage correspond à un mouvement de va-et-vient complet (aller-retour), c'est-à-dire à deux arcs de 180°, que l'on effectue en marchant lentement.
2. **Un balayage décrivant un seul arc de 180° :** Pour d'autres chercheurs, un balayage s'entend d'un arc de 180° où l'on fait passer le filet fauchoir une seule fois d'un côté du corps à l'autre.

Pour éviter de sous-estimer ou de surestimer le nombre moyen d'insectes requis par balayage, il faut d'abord déterminer quelle définition a été utilisée pour établir le seuil d'intervention en question. Dans la présente publication, on précise le sens du mot balayage (c.-à-d. un arc ou deux arcs de 180°) pour chaque seuil, lorsque ce sens est connu.

Après avoir effectué le nombre de balayages indiqué, on referme rapidement le filet en le saisissant juste sous l'ouverture. Ensuite, on l'ouvre lentement pour en extraire tout débris de plante et identifier et dénombrer les insectes capturés. Même si les filets ne permettent pas d'obtenir de nombre absolu, ils procurent quand même une estimation rapide de l'ampleur d'une infestation.

Nombre de points d'échantillonnage

Le nombre de points d'échantillonnage nécessaires dépend de plusieurs facteurs, dont la taille du champ, la culture, le type d'ennemis des cultures et leur stade de développement, le niveau d'infestation, le moment où se fait l'échantillonnage, la topographie et les variations de type de sol dans le champ. Le tableau 101, *Nombre de points d'échantillonnage recommandés selon la taille du champ et l'ennemi*, indique de façon générale le nombre de points d'échantillonnage nécessaire selon la taille du champ et les ennemis des cultures (insectes, maladies et mauvaises herbes). Aux fins du dépistage, les champs devraient être divisés en unités de 16 ha (40 acres) ou moins. Les inspections générales visant à surveiller la croissance de la culture, la densité de peuplement et les répercussions des interventions précédentes se font d'une manière similaire. Si l'on essaie des traitements différents d'un rang à l'autre dans le champ ou si l'on voit des inégalités dans le rendement de la culture, la méthode d'échantillonnage doit tenir compte de la variabilité de la zone et du nombre d'échantillons requis pour bien refléter les observations. Dans ce cas, chaque zone variable ou chaque zone traitée différemment doit être considérée comme une zone d'échantillonnage distincte. Il sera ainsi possible de comparer les traitements et d'expliquer les variations extrêmes dans la présence d'ennemis.

Tableau 10-1 – Nombre de points d'échantillonnage recommandés selon la taille du champ et l'ennemi

Taille du champ	Nombre de points d'échantillonnage	
	Insectes/ maladies	Mauvaises herbes
8 ha et moins (20 ac et moins)	5	10
8 à 12 ha (20 à 30 ac)	8	15
12 à 16 ha (30 à 40 ac)	10	15

Schémas de dépistage

Le schéma de dépistage doit couvrir toutes les parties du champ et changer de points d'observation à chaque activité de dépistage. Cependant, on doit réexaminer les endroits où l'on découvre un foyer d'infestation ou des écarts de croissance pour en suivre l'évolution. On peut marquer ces endroits au moyen de fanions ou d'un GPS.

Il importe de considérer les points suivants au moment de choisir le schéma de dépistage à suivre :

- Le schéma doit tenir compte des changements de cultivars ou d'hybrides, du type de sol, des cultures antérieures, des applications de fumier ou d'engrais et de tout autre facteur ayant une incidence sur la croissance (voir la figure 10-1, *Schémas de dépistage*, pour connaître le schéma le mieux adapté au dépistage de certains ennemis).
- Pour une inspection générale, les points d'échantillonnage doivent être choisis au hasard selon un schéma aléatoire. En revanche, pour dépister un ennemi particulier, les points d'échantillonnage peuvent être choisis selon certains facteurs tels que l'apparence des plants ou l'emplacement dans le champ (p. ex. zones herbeuses). Dans ce cas, l'échantillonnage aléatoire se fait dans les zones où l'on risque de trouver l'ennemi en question.
- Il faut commencer le dépistage au moins 20 m (65 pi) à l'intérieur du périmètre du champ et éviter les rangs périmétriques et les tournières, à moins d'avoir une raison précise d'échantillonner ces zones (p. ex. si l'on craint que des légionnaires n'envahissent les champs de maïs depuis des champs de céréales).

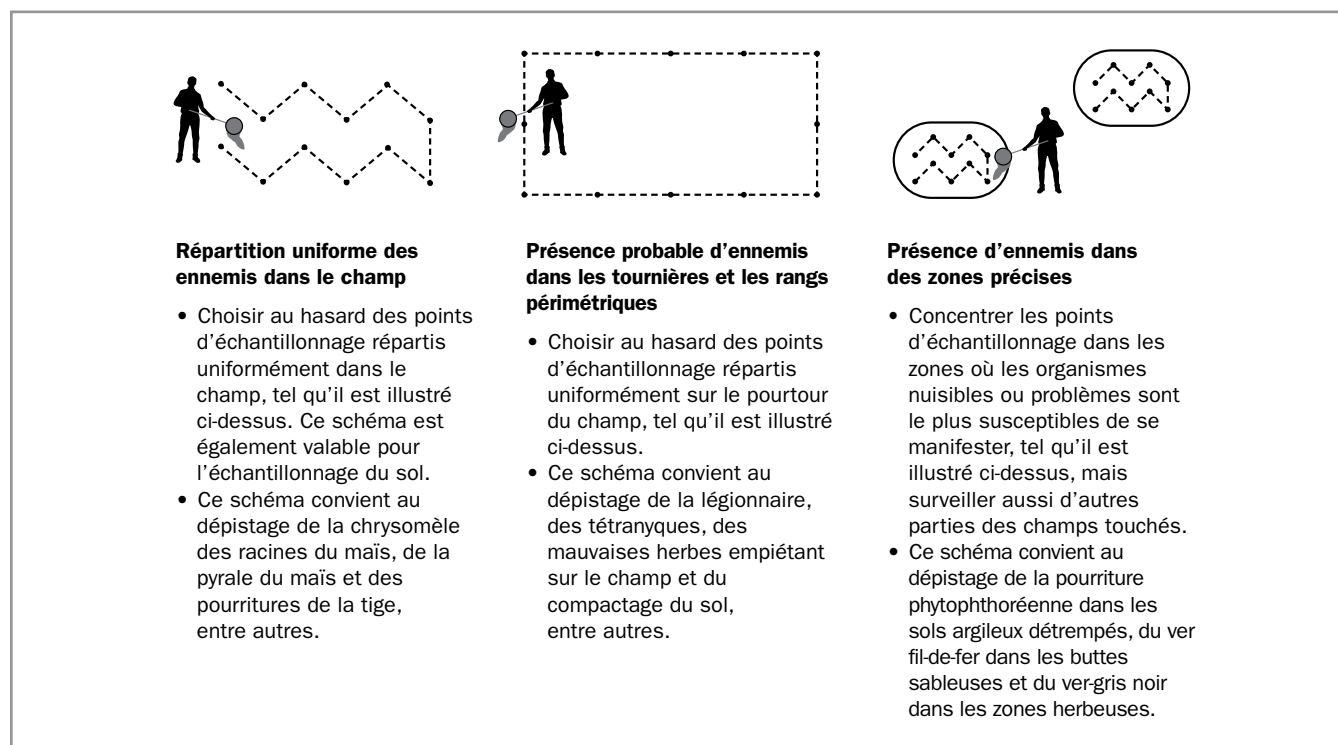


Figure 10-1 – Schémas de dépistage

Densité de peuplement et niveaux d'infestation

On peut déterminer la densité de peuplement de la culture et certains niveaux d'infestation en effectuant un décompte dans une superficie donnée, puis en multipliant ce nombre par un facteur pour obtenir le total par hectare ou acre.

Pour les cultures en rangs bien définis, on peut calculer la densité de peuplement en comptant le nombre de plants dans un rang représentant un millièème (1/1 000) d'hectare ou d'acre, puis en multipliant ce nombre par 1 000 pour obtenir le nombre de plants par hectare ou acre, selon le cas (voir tableau 10-2, *Longueur de rang équivalent à un millièème d'acre*). On peut utiliser une corde ou une chaîne de la longueur indiquée au tableau 10-2 pour faciliter le dénombrement. Les plants qui lèvent tardivement doivent être notés et exclus du compte, et les semences qui ne lèvent pas doivent être inspectées.

Tableau 10-2 – Longueur de rang équivalent à un millièème d'acre

Écartement des rangs	Longueur de rang équivalent à 1/1 000 d'acre ^{1, 2}
18 cm (7 po)	22,8 m (74 pi 8 po)
38 cm (15 po)	10,6 m (34 pi 10 po)
51 cm (20 po)	8,0 m (26 pi 2 po)
56 cm (22 po)	7,2 m (23 pi 9 po)
71 cm (28 po)	5,7 m (18 pi 8 po)
76 cm (30 po)	5,3 m (17 pi 5 po)
91 cm (36 po)	4,4 m (14 pi 6 po)

¹ Pour calculer le nombre de plants sur un millièème d'hectare, multiplier le nombre de plants dans une longueur de rang par 2,47.

² Multiplier le nombre de plants dans la longueur de rang par 1 000 pour déterminer le nombre de plants par acre.

Pour déterminer la densité de peuplement des cultures à rangs étroits ou le degré d'infestation par les mauvaises herbes ou les insectes, on peut utiliser un cadre d'échantillonnage d'une superficie connue. Il suffit alors de l'insérer soigneusement dans le feuillage pour éviter d'endommager les plants et, le cas échéant, de faire tomber les insectes à compter, puis de dénombrer les ravageurs ou mauvaises herbes qui se trouvent à l'intérieur de ses limites. On peut utiliser un cadre carré (p. ex. de $1 \times 1 \text{ m} = 1 \text{ m}^2 = 1/10\,000$ d'hectare [$25 \times 25 \text{ po} = 4,36 \text{ pi}^2 = 1/10\,000$ d'acre]) ou un cadre circulaire (p. ex. un cerceau). Ces deux méthodes sont présentées au tableau 10-3, *Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations d'ennemis à l'aide d'un cadre*.

Bien des seuils d'intervention correspondent à un nombre moyen d'insectes par plant, par balayage, par unité de surface ou par longueur de rang. Certains peuvent aussi être basés sur le taux de défoliation ou de dommages. Peu importe la méthode utilisée, il faut faire suffisamment de décomptes aléatoires par champ pour déterminer les populations moyennes. Le tableau 10-1 indique le nombre de points d'échantillonnage recommandés selon la taille du champ et l'ennemi en question. À partir du résultat de chaque décompte, que l'on consigne, on calcule la moyenne de tous les décomptes pour estimer la population d'ennemis. Les ennemis pourraient être concentrés dans certaines parties du champ, où l'on peut appliquer un traitement localisé. Toutefois, pour assurer la maîtrise de l'ennemi, il importe de surveiller l'entière du champ durant les activités de dépistage subséquentes.

Consignation des observations

Les registres d'observations sont indispensables à la prise de décisions concernant les méthodes de lutte à employer maintenant et plus tard. L'utilisation d'un formulaire de dépistage ou d'une application pour téléphones intelligents ou tablettes facilite l'uniformisation des observations. Une fois consignées, les données de dépistage peuvent être versées au dossier du champ (en version papier, électronique ou les deux). Il existe également des logiciels servant à consigner et à traiter les données provenant des observations sur le terrain.

Voici un aperçu des renseignements à consigner durant les activités de dépistage.

Tableau 10-3 – Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations d'ennemis à l'aide d'un cadre

Compter le nombre de plants qui se trouvent à l'intérieur du cerceau ou du cadre carré et le multiplier par le facteur indiqué pour obtenir la densité de peuplement par hectare ou par acre.

Dimensions intérieures	Superficie	Facteur par lequel multiplier le nombre de plants à l'intérieur du cerceau pour obtenir le :	
		N ^{bre} de plants par hectare	N ^{bre} de plants par acre
Cerceau			
91 cm (36 po)	0,66 m ² (7,1 pi ²)	15 228	6 162
84 cm (33 po)	0,55 m ² (5,9 pi ²)	18 122	7 334
76 cm (30 po)	0,46 m ² (4,9 pi ²)	21 928	8 874
71,8 cm (28,25 po)	0,37 m ² (4,36 pi ²)	24 711	10 000
61 cm (24 po)	0,29 m ² (3,1 pi ²)	34 263	13 866
Cadre carré			
63,6 x 63,6 cm (25 x 25 po)	0,405 m ² (4,36 pi ²)	24 712	10 000
100 x 100 cm (40 x 40 po)	1,00 m ² (11,1 pi ²)	10 000	3 920

Données générales sur le champ

- Nom ou code du champ, emplacement, coordonnées GPS et date du dépistage.
- Cultivars ou hybrides semés et leurs caractéristiques (p. ex. Bt, Roundup Ready)
- Conditions météorologiques.

Données propres à chaque point d'échantillonnage

- État du sol.
- Dates de floraison, de formation des panicules et d'épiaison.
- Mauvaises herbes, maladies et insectes présents (ainsi que le stade de développement et la population de chaque espèce).
- Dommages à la culture.
- Résultats du dépistage et mesures requises par la suite.

Manipulation et soumission des échantillons

Il est parfois difficile d'identifier les ennemis des cultures ou certains problèmes qui surviennent dans le champ. Le cas échéant, il peut être bon d'avoir recours aux outils en ligne accessibles depuis un téléphone intelligent ou une tablette ou d'obtenir de l'aide auprès d'experts ou de laboratoires de diagnostic. L'appareil photo des téléphones intelligents et des tablettes est très utile pour recueillir des données sur un ennemi ou un état que l'on n'arrive pas à identifier, à condition de prendre les photos soigneusement et d'y joindre tous les renseignements pertinents dont on dispose. De plus, les photos du problème doivent toujours être accompagnées de photos de plants normaux. Des applications améliorant la prise de photos et la consignation des données sont offertes sur la plupart des plateformes mobiles. Lorsque l'on prélève des échantillons, il est essentiel de suivre les procédures de manipulation applicables, d'utiliser le matériel adéquat (p. ex. des seaux de plastique propres pour les échantillons de sol et des sacs de papier pour les tissus végétaux) et de conserver les échantillons au frais pour éviter de fausser l'analyse et le diagnostic. De manière générale, les échantillons doivent être envoyés rapidement aux laboratoires d'analyse. De plus amples renseignements sur la méthode de prélèvement des échantillons, l'endroit où se procurer les formulaires de soumission des échantillons et les frais de diagnostic figurent à l'annexe O, *Services de diagnostic*.

Utilisation des degrés-jours de croissance et des unités thermiques de croissance

Degrés-jours de croissance

Les degrés-jours de croissance (DJ), qui sont une estimation de la chaleur accumulée, servent à évaluer, durant la saison de croissance, le développement des végétaux, des insectes et des maladies, qui dépend beaucoup de la température et de l'accumulation quotidienne de chaleur. La quantité de chaleur nécessaire pour qu'un organisme passe d'un stade à un autre reste constante d'année en année, mais selon les conditions atmosphériques, le temps (nombre de jours) nécessaire peut varier considérablement d'une année à l'autre.

Il existe pour chaque espèce une température de base minimale ou un seuil sous lequel elle ne se développe pas. Ces températures de base ont été déterminées de façon expérimentale et diffèrent selon l'organisme. Les DJ sont très utiles pour prévoir le développement de chacun. Pour certaines cultures en Ontario, on utilise encore les DJ alors que pour d'autres, on est passé au système des unités thermiques de croissance (UTC), dont traite la section suivante. Les grandes cultures pour lesquelles on utilise encore les DJ sont les céréales, qui ont une température de base de 0 (c.-à-d. qu'elles ne se développent qu'à partir de 0 °C) ainsi que la luzerne et le canola, qui ont une température de base de 5 (ils ne se développent donc qu'à partir de 5 °C). Pour calculer les DJ d'une journée, il faut d'abord calculer la température moyenne de la journée. Pour ce faire, on additionne généralement les températures minimale et maximale de la journée et on divise la somme par deux. On soustrait ensuite la température de base de la température moyenne pour obtenir la valeur de DJ quotidienne. Si cette valeur est négative, on la ramène à zéro. Les valeurs de DJ quotidiennes sont additionnées (accumulées) pendant la saison de croissance.

Les DJ sont parfois appelés « degrés-jours », tout simplement. Dans certains territoires, on utilise de façon interchangeable « unités thermiques de croissance » et « degrés-jours ». En Ontario, ces deux expressions sont utilisées, mais représentent des modèles de croissance très différents liés à la température.

Équation servant au calcul des DJ

L'équation en usage au MAAARO pour calculer les DJ se lit comme suit :

Valeur de DJ quotidienne = $((T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) \div 2) - T_{\text{base}}$

T_{max} = Température maximale quotidienne

T_{min} = Température minimale quotidienne

T_{base} = Température de base de l'organisme en question

Exemple :

Température maximale : 28 °C

Température minimale : 15 °C

Ravageur : pyrale du maïs

Température de base : 10 °C

Calcul :

Valeur de DJ quotidienne = $((28 + 15) \div 2) - 10 = 11,5$

Le nombre de DJ accumulés au cours de cette journée, selon le modèle des DJ applicable à la pyrale du maïs, est donc de 11,5.

Il faut tenir compte de quatre facteurs pour comparer les accumulations de DJ provenant de sources ou de régions diverses.

1. Les températures de base utilisées dans les équations sont-elles les mêmes?

Les températures de base utilisées pour calculer les DJ varient selon les organismes. Ainsi, 150 DJ pour une température de base de 10 n'égalent pas 150 DJ pour une température de base de 0.

2. Les DJ commencent-ils à s'accumuler à la même date?

De façon générale, les DJ commencent à s'accumuler le 1^{er} avril de chaque année. Toutefois, dans les modèles de DJ applicables à certains insectes, les DJ commencent à s'accumuler à partir d'un repère biologique (biofix) précis, qui correspond à un stade biologique particulier.

3. Les équations servant au calcul de la valeur de DJ quotidienne sont-elles les mêmes?

Au fil des ans, de nombreuses versions du calcul simple des DJ ont vu le jour; elles portent d'ailleurs parfois le même nom.

4. Les températures sont-elles en degrés Celsius ou en Fahrenheit?

Les accumulations de DJ varient de façon importante selon qu'elles sont exprimées en degrés Celsius ou Fahrenheit. Les modèles de DJ sont spécifiquement conçus pour être utilisés dans un système ou dans l'autre, de telle sorte que le passage de l'un à l'autre nécessite des conversions. Le modèle de DJ applicable à la pyrale du maïs est en degrés Celsius.

Unités thermiques de croissance

Les unités thermiques de croissance (UTC) reposent sur un principe semblable à celui des degrés-jours de croissance : les accumulations sont calculées sur une base quotidienne à l'aide des températures minimale et

maximale, mais selon une équation très différente. Le modèle des UTC comprend des calculs différents pour les températures maximale et minimale. On utilise 10 °C comme température de base pour la température de jour ou température maximale, et 30 °C comme plafond, parce que les cultures de saison chaude ne se développent pas à des températures inférieures à 10 °C et connaissent la croissance la plus rapide à environ 30 °C. On utilise 4,4 °C comme température de base pour la température de nuit ou température minimale et on ne spécifie aucune température optimale, car les températures minimales de nuit dépassent très rarement les 25 °C en Ontario. La température de nuit est considérée comme un facteur linéaire, tandis que la température de jour est considérée comme un facteur non linéaire du fait que la croissance des cultures est optimale à 30 °C et commence à ralentir à des températures plus élevées. Les UTC quotidiennes sont calculées à partir des moyennes des deux valeurs quotidiennes tirées des équations ci-dessous ou peuvent être obtenues à partir de la matrice du tableau 10-4, *Accumulations quotidiennes d'unités thermiques de croissance en fonction des températures maximale et minimale*. La figure 1-1, *Unités thermiques de croissance (UTC-M1) pour le maïs*, qui se trouve au chapitre 1 indique sur une carte les accumulations d'UTC totales pour la saison en Ontario.

Les producteurs qui consignent les températures maximale et minimale quotidiennes peuvent utiliser le tableau 10-4 pour calculer l'accumulation d'UTC sur leur exploitation agricole. Dans toutes les régions, les accumulations sont calculées du 1^{er} mai jusqu'à la première journée d'automne où le mercure atteint -2 °C. La croissance du maïs est surtout liée à la température, particulièrement durant la période entre les semis et l'apparition des soies. Contrairement au soya, la longueur du jour a peu d'effet sur la vitesse de croissance du maïs. Le système d'UTC utilisé en Ontario a été élaboré de façon à évaluer les effets de la température sur la croissance du maïs.

L'accumulation d'UTC agit différemment sur le soya que sur le maïs. Culture de saison chaude, le soya est plus sensible au froid, surtout pendant la floraison. En effet, on croit qu'une période de froid prolongé (moins de 10 °C) pendant la floraison nuit à la formation du pollen, et il en résulte des gousses apyrènes (dites « parthénocarpiques »). À noter que les cultivars n'ont pas toute la même tolérance au temps froid.

Tableau 10-4 – Accumulations quotidiennes d’unités thermiques de croissance en fonction des températures maximale et minimale

LÉGENDE : – = sans objet																							
Température maximale quotidienne enregistrée	Température minimale quotidienne enregistrée																						
	< 5 °C	5 °C	6 °C	7 °C	8 °C	9 °C	10 °C	11 °C	12 °C	13 °C	14 °C	15 °C	16 °C	17 °C	18 °C	19 °C	20 °C	21 °C	22 °C	23 °C	24 °C		
< 10 °C	0	1	1	2	3	4	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
11 °C	2	2	3	4	5	6	7	8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12 °C	3	4	5	5	6	7	8	9	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
13 °C	5	5	6	7	8	9	10	11	11	12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14 °C	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
15 °C	7	8	9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16 °C	8	9	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	19	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
17 °C	10	10	11	12	13	14	15	16	16	17	18	19	20	21	–	–	–	–	–	–	–	–	–
18 °C	11	11	12	13	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	–	–	–	–	–	–	–	–
19 °C	12	12	13	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	–	–	–	–	–	–	–
20 °C	12	13	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	26	–	–	–	–	–	–
21 °C	13	14	15	16	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25	26	27	28	–	–	–	–	–
22 °C	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	24	25	26	27	28	29	30	–	–	–	–
23 °C	15	15	16	17	18	19	20	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	29	30	31	–	–	–
24 °C	15	16	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25	26	27	28	29	30	31	32	33	–	–
25 °C	16	16	17	18	19	20	21	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30	31	32	33	34	–
26 °C	16	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	–
27 °C	16	17	18	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
28 °C	16	17	18	19	20	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	29	30	31	32	33	34	35	36
29 °C	16	17	18	19	20	21	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30	31	32	33	34	35	36
30 °C	17	17	18	19	20	21	22	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	31	32	33	34	35	36
31 °C	16	17	18	19	20	21	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30	31	32	33	34	35	36
32 °C	16	17	18	19	20	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	29	30	31	32	33	34	35	36
33 °C	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
34 °C	16	16	17	18	19	20	21	22	23	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	32	33	34	35

Calcul des valeurs d’UTC quotidiennes

L’équation servant au calcul de la valeur d’UTC quotidienne pour un lieu donné se lit comme suit :

Valeur d’UTC quotidienne = (Ymax + Ymin) ÷ 2

Ymax = (3,33 x (Tmax - 10)) - (0,084 x (Tmax - 10)²)

(Si les valeurs sont négatives, ramener à 0)

Tmax = Température maximale quotidienne (°C)
(mesurée de minuit à minuit)

(L’exactitude devrait être < 0,25 °C)

Ymin = (1,8 x (Tmin - 4,4))

(Si les valeurs sont négatives, ramener à 0)

Tmin = Température minimale quotidienne (°C)

Outils cartographiques

Il est possible d'appuyer les observations faites sur le terrain par des cartes de l'exploitation agricole et des champs. Les croquis faits à partir de photos aériennes servent souvent à planifier la gestion des éléments nutritifs. Les cartes donnent divers renseignements propres au site en question (p. ex. texture du sol, drainage, élévation, données d'imagerie aérienne), qui peuvent généralement être affichés sur une seule et même carte. Des cartes de ce genre sont accessibles en ligne. Les Agri Cartes de l'Ontario (ontario.ca/agricartes) offrent

des outils de création de cartes personnalisées pour des exploitations agricoles et des champs individuels. À la figure 10-2, *Exemple de carte créée avec les Agri Cartes de l'Ontario*, se trouve la carte topographique d'une exploitation agricole accompagnée de ses mesures en acres. De plus, on y voit clairement le drainage et l'écoulement des eaux, de même que les endroits où l'eau s'accumule. Les cartes peuvent révéler les endroits nécessitant un dépistage supplémentaire et servir à faire le suivi des répercussions des changements.

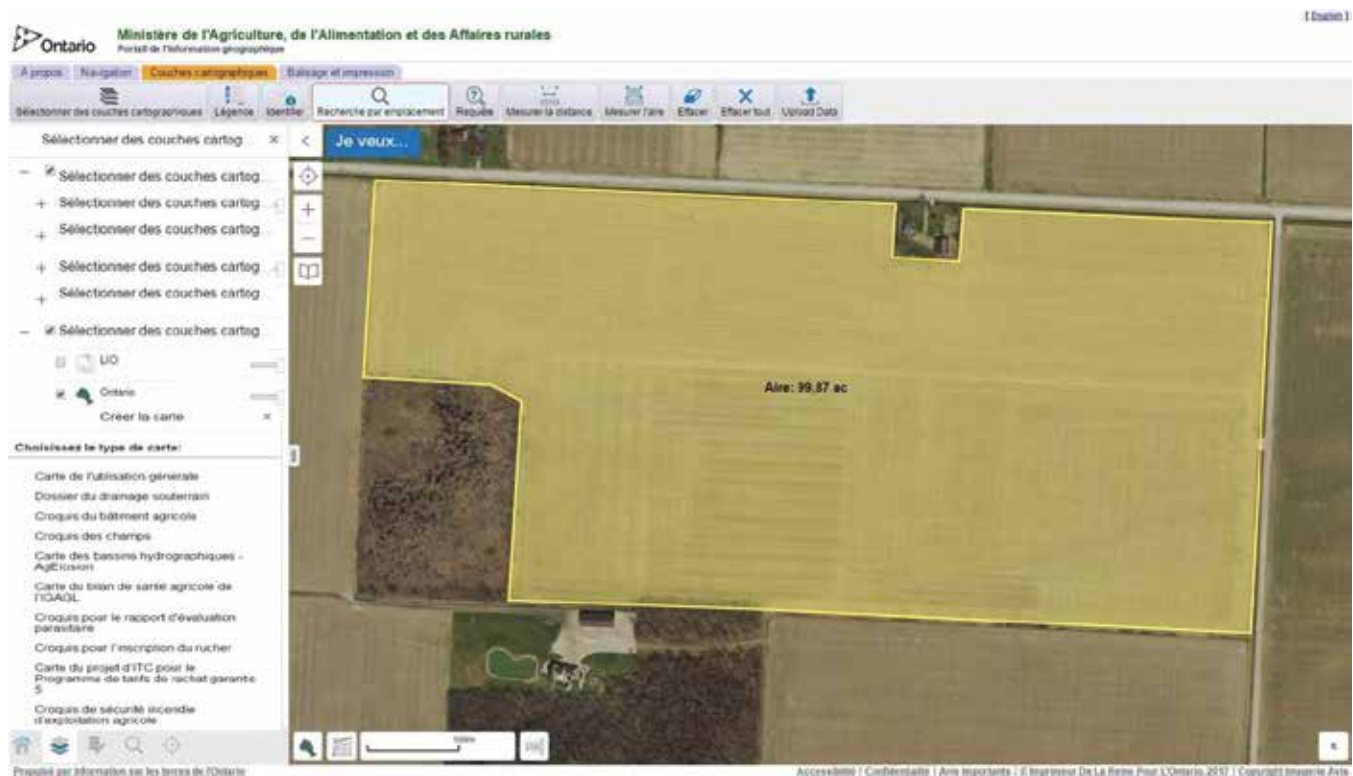


Figure 10-2 – Exemple de carte créée avec les Agri Cartes de l'Ontario (ontario.ca/agricartes)

11. Agriculture de précision

En production culturale, l'agriculture de précision se définit comme un système de gestion :

- axé sur l'information et la technologie;
- adapté à un lieu précis;
- utilisant des données de différente nature pour optimiser la rentabilité, la durabilité et la protection de l'environnement :
 - sols (texture, pH);
 - cultures (intrants, santé et croissance);
 - éléments nutritifs;
 - élévation/topographie;
 - ravageurs;
 - humidité;
 - rendement.

(Source : Département de l'agriculture des États-Unis, Natural Resources Conservation Service (NRCS), *Agronomy Technical Note N° 1*, 2007.)

Ce chapitre traite de certaines notions de base de l'agriculture de précision dans le domaine de la production de grandes cultures sans toutefois en dresser le portrait complet. L'agriculture de précision utilise des technologies servant dans d'autres domaines agricoles (p. ex. élevage, horticulture), qui ne seront pas abordés. Il est fortement recommandé aux lecteurs de consulter fréquemment leurs sources d'information locales. Pour connaître certaines stratégies de l'agriculture de précision, voir le chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*, et le chapitre 10, *Dépistage*.

Outils de précision

Cinématique en temps réel et système de localisation GPS

Les avancées en agriculture de précision découlent de l'adoption du positionnement cinématique en temps réel (RTK) et de la cartographie précise de l'élévation, rendue possible par la technologie géospatiale, notamment les systèmes de localisation GPS. Ainsi, des technologies de plus en plus sophistiquées sont utilisées pour la gestion des champs à une échelle autrefois impossible. Désormais, l'ordinateur de bord du matériel agricole en connaît l'emplacement exact

en tout temps et peut ajuster les intrants (chaux, engrais, densité de peuplement, profondeur du semoir, pression sur le semoir, cultivars, pesticides, profondeur de labour ou agressivité) selon les données chargées dans les contrôleurs du matériel. Puisque l'agriculture de précision englobe l'agronomie, le génie et l'analyse géospatiale, il convient de poursuivre le rapprochement des producteurs, des conseillers et du personnel de vulgarisation agricole œuvrant dans ces disciplines de façon à utiliser ces technologies de manière plus efficace et plus productive.

Les GPS ont permis d'automatiser le guidage du matériel agricole, ce qui comporte plusieurs avantages importants, notamment la réduction de la fatigue et du stress qu'éprouvent les opérateurs après une longue journée dans leur tracteur. De nombreuses études indiquent d'ailleurs que le pilote automatique améliore considérablement l'efficacité, le confort et la précision des opérateurs. Autre avantage des systèmes de guidage automatisé : l'efficacité du matériel. En effet, les machines de grande taille peuvent être utilisées avec une précision centimétrique d'un passage à l'autre, assurant ainsi un emploi efficace du temps, du carburant et des intrants. De plus, comme ces systèmes automatisent le matériel, l'opérateur n'a pas à se soucier de leur trajectoire; il n'a qu'à surveiller les systèmes eux-mêmes et les conditions du champ et à faire des ajustements au besoin.

Applications de l'agriculture de précision

1. L'une des premières mais ô combien importantes applications de l'agriculture de précision est la cartographie du rendement à partir du matériel agricole (surtout des moissonneuses-batteuses). Avant l'arrivée des GPS, on utilisait des capteurs de rendement, mais le mariage de ces deux technologies a amélioré la qualité des relevés. Une fois calibrés, les capteurs révèlent avec une grande fiabilité les variations de rendement dans un champ, qui sont enregistrées pour que le producteur puisse se rendre exactement aux endroits où les capteurs ont relevé un écart important et en déterminer la cause.

Les capteurs de rendement recueillent une quantité phénoménale d'information qui permet de dresser rapidement des cartes montrant les endroits où les variations de rendement nuisent à la productivité globale du champ et dans quelle mesure. Même si ces capteurs existent depuis plusieurs dizaines d'années, on commence à peine à les utiliser à leur plein potentiel grâce à l'amélioration de leur précision, à leur compatibilité avec les GPS et aux nouveaux outils logiciels de traitement de données.

2. Autre avancée en agriculture de précision : l'utilisation de semoirs en ligne, en plus d'épandeurs d'engrais solides et liquides dotés de systèmes d'arrêt différentiels. Comme le matériel détecte sa propre position et enregistre le trajet effectué, il est possible de le programmer pour arrêter l'application d'intrants (p. ex. semences, engrais, pesticides) aux endroits où il est déjà passé afin d'en éviter l'épandage excessif, ce qui entraîne des économies et réduit les risques environnementaux. Ces avantages font des semoirs et des épandeurs dotés de fonctions d'application à taux variable une technologie indispensable et un excellent investissement.
3. La technologie de réglage de la pression sur le semoir est un autre outil d'agriculture de précision qui n'est pas directement lié aux GPS. Théoriquement, elle sert à régler le contact du semoir avec le sol de façon à optimiser la mise en place des semences par l'utilisation de :
 - systèmes pneumatiques et hydrauliques contrôlant la hauteur du semoir tout entier;
 - systèmes similaires contrôlant la hauteur de chaque rayonneur individuellement.

La plupart des producteurs ont de la difficulté à surveiller continuellement les semoirs, la profondeur de semis et la qualité de la raie, entre autres choses, mais la technologie de réglage de la pression facilite le tout. Les producteurs en ont cependant une opinion mitigée : certains considèrent qu'il est déjà suffisant que le système puisse tenir compte des conditions générales du champ et ajuster la pression en conséquence, mais d'autres estiment que le système devrait réagir

rapidement aux variations topographiques et aux conditions du sol pour optimiser et uniformiser le semis. L'utilisation de cette technologie n'empêche pas l'opérateur de vérifier occasionnellement par lui-même l'efficacité des semoirs et ainsi la profondeur, le compactage, l'espacement et la densité de peuplement en déterrants des semences dans chaque rang.

4. Les fabricants de matériel agricole recueillent en temps quasi réel des données sur la machinerie, en plus de compiler et d'analyser les données d'exploitations agricoles à l'échelle individuelle, régionale, provinciale et nationale afin d'évaluer l'efficacité du matériel et son incidence sur les décisions de gestion des cultures. À l'heure actuelle, les fabricants de matériel, les fournisseurs de semences et les fournisseurs d'intrants agricoles s'associent pour mettre leurs données en commun et y trouver réponse à leurs questions d'agronomie.

Application à taux variable

L'utilisation des données recueillies par le matériel pour la gestion intra-parcellaire des champs suscite de plus en plus d'intérêt. Ce type de gestion nécessite au sein d'un même champ la création de zones de gestion distinctes selon le comportement des sols au fil du temps (zones ayant une texture du sol, une topographie, un drainage et un rendement similaires). Comme il est fréquent que plusieurs parties d'un même champ aient un comportement différent, la délimitation de zones ayant une productivité potentielle semblable et l'application d'intrants différents d'une zone à l'autre devraient permettre d'optimiser le rendement. Ainsi, on applique dans chaque zone une quantité d'intrants particulière (p. ex. engrais, pesticides, travail du sol, semences) selon les taux définis dans les contrôleurs de la machinerie. C'est ce que l'on appelle l'application à taux variable (ATV).

L'ATV vise à optimiser l'utilisation d'intrants et le potentiel de rendement des champs. Pour ce faire, il faut souvent faire en sorte que le taux d'application des intrants varie grandement dans un même champ : certaines zones en reçoivent moins, d'autres plus. Ainsi, même si la quantité d'intrants peut être inférieure ou supérieure à celle utilisée avec les méthodes actuelles,

leur distribution géospatiale garantit qu'ils seront utilisés le plus efficacement possible. Globalement, on s'attend à ce que cette pratique réduise la quantité de résidus d'intrants dans l'environnement par rapport aux pratiques actuelles.

La délimitation de zones de gestion s'appuie sur certaines données, comme le rendement, la chimie du sol et la topographie. Une fois les zones définies, des connaissances en agronomie sont nécessaires pour établir la quantité d'intrants qui convient selon les caractéristiques de chaque zone. Un exemple de zones d'échantillonnage du sol définies selon l'élévation se trouve au chapitre 9, à la section *Zones d'échantillonnage du sol*.

Défis technologiques

Suivre l'évolution de la technologie est un défi de taille pour les agronomes et les producteurs, et le manque de normalisation en matière de technologies complique l'utilisation de l'agriculture de précision. En effet, les données sont recueillies et traitées par un ensemble hétérogène de logiciels et de plateformes difficilement compatibles. On cherche actuellement – à plusieurs niveaux – à régler ces problèmes de communication entre les différents systèmes.

L'ATV ne tient pas compte d'un aspect important : la validation des cartes des zones de gestion et de la quantité d'intrants établie pour chacune, sans quoi il est impossible de savoir si les zones et la quantité d'intrants sont appropriées. Cette validation consiste à appliquer différents taux des intrants déterminés dans chaque zone, puis à examiner et à interpréter les résultats pour déterminer la dose optimale, que l'on compare ensuite avec celle appliquée dans l'ensemble de la zone. Malheureusement, tout comme les autres méthodes de validation des pratiques de production culturale, celle-ci se fait rétrospectivement; mais avec le temps, elle garantit l'efficacité optimale de l'agriculture de précision. À l'heure actuelle, l'emploi de procédures de validation et l'examen des résultats demandent beaucoup d'efforts et de temps. On cherche donc à établir des systèmes de validation qui appliquent indépendamment différents taux d'intrants à divers endroits de chaque zone de gestion. Idéalement, de tels systèmes recueilleraient, interpréteraient et compareraient automatiquement les données des sous-parcelles et produiraient des rapports indiquant le taux ayant obtenu les meilleurs

résultats en fonction des intrants et des extrants. Cela permettrait aux producteurs d'établir une base de connaissances et, avec le temps, d'appliquer la quantité optimale d'intrants dans chaque zone de gestion de leurs champs.

Gestion en temps réel

La gestion en temps réel peut aussi être utilisée en agriculture de précision. Jusqu'à présent, elle sert généralement à l'application d'azote à taux variable pour le maïs et le blé. Cette méthode consiste à installer sur les épandeurs des capteurs optiques qui mesurent la biomasse et la santé des plantes, exprimées sous forme d'indice de végétation tel que l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN). Ces indices sont utilisés dans des calculs qui déterminent automatiquement la quantité d'azote à appliquer en temps réel (voir figure 11-1).



Figure 11-1 – Application d'azote à taux variable en temps réel au moyen de capteurs optiques installés sur un doseur d'engrais Y-Drop. Les capteurs GreenSeeker^{MC} utilisés pour la culture du blé et du maïs sont encerclés en rouge sur la rampe.

Photos : Hensall Co-op (gauche) et Claussen Farms (droite).

Téledétection

Les capteurs optiques installés sur du matériel portatif ou des machines servent au dépistage. Le plus souvent, ils sont utilisés pour définir l'IVDN.

On s'attend toutefois à une utilisation de plus en plus grande d'autres types de capteurs, dont les capteurs thermiques, pour détecter le stress occasionné aux plantes et d'autres facteurs actuellement invisibles à l'œil nu. Ces capteurs permettront aux dépisteurs et aux producteurs de déterminer si l'apparition d'une maladie est imminente et, le cas échéant, d'employer des technologies telles que des fongicides à action préventive au bon moment, avant même que les signes ne soient visibles. Ces capteurs peuvent être utilisés

comme des appareils mobiles ou être installés sur le matériel agricole, sur un véhicule aérien sans pilote (UAV) ou sur une plateforme satellitaire.

Véhicule aérien sans pilote / système d'aéronef sans pilote

Communément appelés « véhicules aériens sans pilote » (UAV), les systèmes d'aéronef sans pilote (UAS) gagnent rapidement en popularité dans le domaine de l'agriculture. À voilure fixe (avions) ou à rotor (hélicoptères), les UAV peuvent avoir différentes tailles, capacités de charge utile et durées de vol. Les capteurs qui peuvent y être installés ont un prix et un niveau de sophistication très variés. Les UAV ne peuvent cependant pas être utilisés n'importe où : puisqu'ils partagent l'espace aérien des avions ordinaires, les autorités fédérales doivent veiller à ce qu'ils ne présentent aucun risque pour ceux-ci. Les questions de protection de la vie privée limitent également leur utilisation. Il est donc courant de demander la permission des propriétaires fonciers avant de les employer.

La charge utile variée de ces véhicules peut enregistrer diverses images et données durant les activités de dépistage (photos et vidéos numériques haute résolution, modèles 3D de l'élévation, images infrarouges ou thermiques, IVDN et relevés d'autres types de capteurs). Il est possible de rendre ces données accessibles aux producteurs et aux conseillers, qui pourront s'en servir pour surveiller la culture d'une parcelle ou d'un champ entier, ou même de champs à l'échelle locale, régionale ou nationale. Cette technologie séduit différents groupes qui s'intéressent à l'état et à l'évolution des cultures durant la saison de croissance.

Même si ces précieux outils pourraient, dans un monde idéal, recueillir, interpréter et comparer les données, à l'heure actuelle, ils ne font qu'indiquer les endroits dans un champ où les différences se produisent. Il faut donc en interpréter les résultats soi-même sur place pour prendre des décisions de gestion économiques qui régleront ces différences.

Les avancées de la télédétection et des UAV nécessiteront probablement la vérification au sol des différences relevées (p. ex. semis, culture, mauvaises herbes, couleur du sol) pour que l'on puisse, à l'avenir, détecter les différences, en déterminer la cause et prendre automatiquement des décisions de gestion appropriées. On s'attend à ce que cette technologie évolue au point où il ne sera plus nécessaire de valider les relevés des capteurs en personne.

Un jour, les capteurs détecteront les maladies, les insectes, les sécheresses, les mauvaises herbes, les inondations, etc. Certaines sociétés de communication par satellite évaluent actuellement le rôle qu'elles pourraient jouer en agriculture et le moment où les relevés profitent le plus à la gestion des cultures.

Bon nombre de ces nouvelles technologies élargiront les possibilités d'amélioration de la production culturale sur les plans économique et environnemental.

Mise à l'essai

Il existe de nombreux logiciels et services infonuagiques d'agriculture de précision. Bon nombre d'entre eux permettent aux producteurs d'y téléverser les données de leurs champs (p. ex. données sur la chimie du sol et le rendement) aux fins d'analyse et de télécharger une carte de prescription pour l'application à taux variable. Certains se fondent toutefois sur des résultats modélisés plutôt que sur les données météorologiques et les données sur les sols du champ en question. Il faut donc éviter de se fier aveuglément à ces cartes et mettre en place des stratégies de validation. Par exemple, dans la figure 11-2, *Captures d'écran comparant des bandes et des blocs où ont été appliqués des taux variables d'azote*, on remarque que des passages entiers ou de petits blocs des zones de gestion correspondent à ceux des pratiques courantes d'application uniforme que le producteur aurait normalement utilisées. L'analyse consécutive à la récolte comparerait l'approche de l'agriculture de précision aux résultats de la méthode courante durant la saison de croissance en question; elle permettrait donc de déterminer les zones où le taux appliqué est optimal et celles où il doit être ajusté dans les prochaines années.

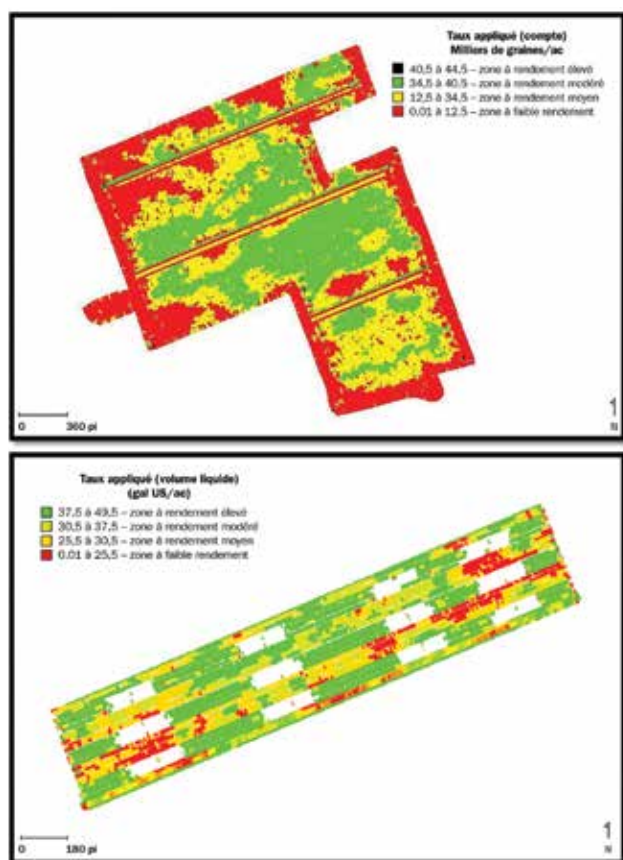


Figure 11-2 – Captures d'écran comparant des bandes et des blocs où a été appliqué un taux variable d'azote

Dans la figure 11-2, la carte du haut représente un champ de maïs où a été appliqué un taux variable; des bandes à taux uniforme traversent toutes les zones de gestion. La carte du bas illustre un champ de maïs où les taux d'azote ont été établis par un capteur optique (GreenSeeker^{MC}) installé sur un tracteur. Aucun azote n'a été appliqué dans les zones blanches. Ces cartes indiquant les taux d'application réels permettent de vérifier que les taux appliqués par le matériel respectent ceux précisés dans les cartes de prescription.

12. Gestion des grains entreposés sur place

Le maintien en bon état des grains entreposés exige des inspections périodiques minutieuses et de bonnes pratiques d'entreposage. Or, ces pratiques ne se limitent pas à mettre des grains de bonne qualité dans un conteneur à l'épreuve des intempéries.

Entreposage des grains dans des cellules

La qualité des grains est optimale au moment où ils sont entreposés : comme elle s'améliore rarement pour ne pas dire jamais, elle ne peut que diminuer au fil du temps. Les stratégies présentées ci-dessous contribueront à maintenir la qualité des grains au même niveau que lors de leur mise en cellule de stockage.

Suggestions pour une bonne gestion des cellules de stockage

- Traiter les cellules de stockage vides contre les ravageurs des grains entreposés qui vivent dans les lézardes et les fissures ou sous le faux-fond perforé.
- Nettoyer les grains avant de les mettre dans une cellule de stockage.
- Enlever les particules fines et les autres matières étrangères pendant ou immédiatement après le remplissage de la cellule pour diminuer la résistance au passage de l'air et éventuellement réduire le risque de détérioration.
 - Les particules fines s'accumulent au centre de la masse de grain pendant le remplissage.
 - Retirer les grains au centre de la cellule (par la vis de déchargement) pendant le remplissage ou dans les deux ou trois jours suivants pour éliminer la colonne de particules fines qui a pu s'y accumuler et créer un couloir vertical de chute.
 - Nettoyer les grains ainsi enlevés et les remettre dans la même cellule. Les particules fines restantes seront redistribuées et nuiront moins au passage de l'air.
- Dans la chambre de répartition d'air, installer un manomètre sous le faux-fond perforé pour surveiller la pression statique de l'air déplacé par le ventilateur. Pour savoir comment fabriquer un manomètre, voir la figure 12-1, *Manomètre de fabrication artisanale*.
- Utiliser la pression statique mesurée et la courbe de rendement du ventilateur (que l'on peut obtenir auprès du fabricant) pour déterminer le débit d'air du ventilateur.
- Bien couvrir les prises d'air de ventilation lorsqu'elles ne sont pas utilisées pour éviter tout déplacement d'air involontaire dans les grains. Indiquer sur les commandes du ventilateur qu'il faut retirer le couvercle avant de démarrer l'aération.

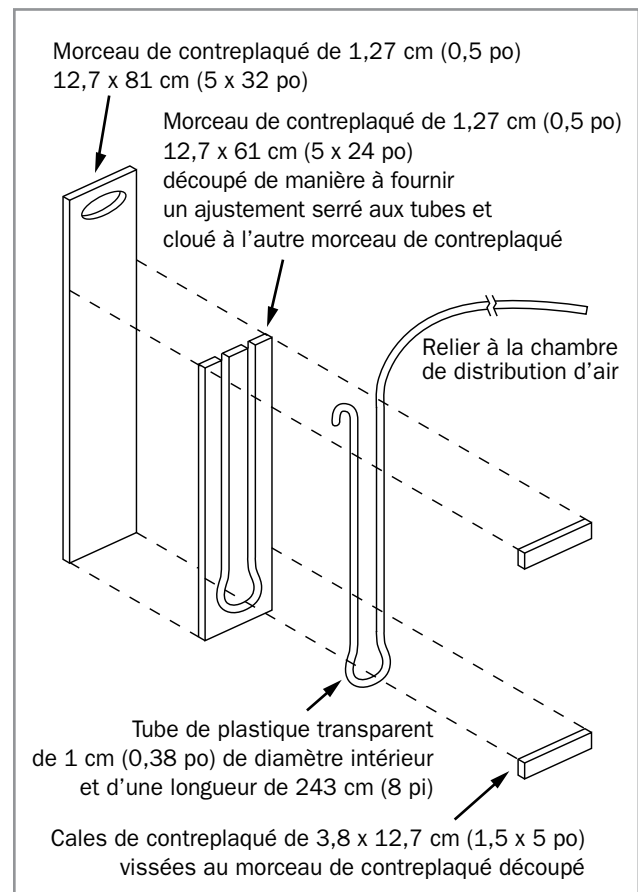


Figure 12-1 – Manomètre de fabrication artisanale

Un manomètre est un appareil rudimentaire qui utilise une colonne de liquide pour mesurer la pression statique. Il peut servir à mesurer la pression statique dans le faux-fond perforé sous la cellule à grain.

Utilité de l'aération des cellules de stockage des grains

L'aération des cellules de stockage :

- retire la chaleur de récolte ou refroidit les grains à la sortie du séchoir;
- égalise la teneur en eau des grains dans la cellule;
- maintient la masse de grain à la bonne température de stockage à long terme;
- prévient la formation de courants de convection dans la masse de grain.

Le réchauffement ou le refroidissement de la surface extérieure de la cellule par le soleil ou l'air ambiant change la température des grains près des parois et entraîne la formation de courants de convection dans la masse de grain. Ces courants ont pour effet de déplacer et de condenser l'humidité contenue dans les grains sur les surfaces froides. Il peut s'agir des parois intérieures de la cellule de stockage (par temps froid) ou des grains eux-mêmes (par temps chaud). Ceux-ci risquent alors de se détériorer si les courants de convection ne sont pas stoppés. L'aération périodique du contenu de la cellule de stockage maintient les grains à une température uniforme et empêche la formation de courants de convection.

L'écart entre la température de la masse de grain et la température extérieure moyenne doit être d'au plus 5°C pour empêcher la formation de courants de convection.

Principes d'aération

- Amener toute la masse de grain à la même température.
- Mettre le ventilateur en marche seulement lorsque le taux d'humidité relative de l'air ambiant n'entraînera pas une augmentation de la teneur en eau des grains.
 - Généralement, un taux d'humidité relative inférieur à 70 % convient à l'aération.
 - La nuit, le taux d'humidité relative est généralement plus élevé et risque d'ajouter de l'humidité aux petites céréales, aux haricots et au maïs séché à l'air ambiant.
- Prendre connaissance des tableaux de teneur en eau à l'équilibre relatifs aux grains ou aux haricots entreposés.
 - La teneur en eau à l'équilibre correspond à la teneur en eau finale du grain selon la température et l'humidité relative de l'air.
 - Les tableaux pertinents figurent à la section *Récolte et entreposage* de chaque chapitre consacré à une culture.

- Faire fonctionner le ventilateur suffisamment longtemps pour changer la température de toute la masse de grain, ce qui peut nécessiter plusieurs jours. Le temps nécessaire dépend du débit d'air par boisseau.
 - Le tableau 12-1, *Temps requis pour que le front d'aération atteigne la surface du grain*, indique le temps d'aération nécessaire au changement de température dans toute la cellule de stockage.

Vérification des cellules de stockage

Si des grains sont entreposés sur place, vérifier les cellules de stockage périodiquement.

Il importe de vérifier périodiquement les grains entreposés pour évaluer son état et repérer tout problème avant qu'il ne soit trop tard. L'état des grains de provende d'usage courant qui se trouvent dans des cellules de stockage peut être vérifié au fur et à mesure de leur utilisation. Il ne faut pas négliger de vérifier également l'état des grains dans les cellules de stockage qui servent moins souvent. Par temps chaud, les grains peuvent se détériorer rapidement; la vérification doit donc se faire au moins une fois par mois, mais préférablement aux deux semaines. Une vérification minutieuse et rigoureuse des cellules de stockage permet aux producteurs de détecter les signes avant-coureurs de problèmes éventuels et de prendre les mesures qui s'imposent pour freiner toute détérioration.

Liste de vérification mensuelle des cellules de stockage

- Mettre le ventilateur en marche.
- Grimper et regarder à l'intérieur de la cellule de stockage. Chercher des signes d'humidité sur la paroi intérieure du couvercle. S'il y a des gouttelettes d'eau ou de la glace, aérer la cellule de stockage immédiatement; l'humidité provenant des grains est montée dans le haut de la cellule et s'est condensée sur la paroi de métal.
- Être à l'affût des odeurs atypiques. L'air doit sentir le grain propre.
- Faire fonctionner le ventilateur si une fine pellicule de neige s'est déposée à la surface du grain. Elle se transformera par sublimation en vapeur d'eau inoffensive. Si la couche de neige est très épaisse, l'enlever à la pelle.

Tableau 12-1 – Temps requis pour que le front d'aération atteigne la surface du grain

LÉGENDE : pi^3/min = pied cube par minute; $1 \text{ pi}^3/\text{min}/\text{bo}$ = 13 l/sec/m ³			
Débit d'air	Refroidissement (heures)		
	Automne	Hiver	Printemps
0,65 l/s/m ³ (1/20 $\text{pi}^3/\text{min}/\text{bo}$)	300	400	240
1,3 l/s/m ³ (1/10 $\text{pi}^3/\text{min}/\text{bo}$)	150	200	120
2,6 l/s/m ³ (1/5 $\text{pi}^3/\text{min}/\text{bo}$)	75	100	60
3,2 l/s/m ³ (1/4 $\text{pi}^3/\text{min}/\text{bo}$)	60	80	48
4,3 l/s/m ³ (1/3 $\text{pi}^3/\text{min}/\text{bo}$)	45	61	36
6,5 l/s/m ³ (1/2 $\text{pi}^3/\text{min}/\text{bo}$)	30	40	24
9,7 l/s/m ³ (3/4 $\text{pi}^3/\text{min}/\text{bo}$)	20	27	16
13,0 l/s/m ³ (1 $\text{pi}^3/\text{min}/\text{bo}$)	15	20	12

- Vérifier que la surface du grain a le même aspect que lors de la dernière inspection. Si elle est décolorée ou de couleur atypique, essayer de trouver la cause du problème.
- Vérifier s'il y a eu un changement de pression statique ou de pression de fonctionnement du ventilateur dans la chambre de répartition d'air qui se trouve sous le faux-fond perforé.
 - S'il y a diminution de pression, il n'y a pas lieu de s'inquiéter.
 - Une augmentation indique que quelque chose a fait augmenter la résistance au passage de l'air dans la masse de grain. Il faut donc examiner l'état du grain.
- Chercher tout signe de présence d'insectes.
- Noter les observations dans un registre de surveillance afin de pouvoir les comparer d'un mois à l'autre.

Maîtrise des insectes dans les grains entreposés sur place

La maîtrise des insectes dans les grains entreposés passe par de bonnes pratiques d'assainissement et d'entreposage.

Les stratégies suivantes sont essentielles pour prévenir les infestations et réduire le recours aux traitements d'urgence par fumigation.

Garder les lieux propres

La stratégie la plus importante pour garder les lieux exempts d'insectes est de nettoyer les cellules de stockage et le matériel avant d'entreposer les grains. Les résidus de grains des récoltes précédentes sont la principale source d'infestation dans les grains entreposés. Il faut donc nettoyer complètement les cellules avec un aspirateur performant au moins deux semaines avant leur remplissage pour retirer tous les résidus et les grains compactés, puis vérifier qu'il n'y a plus de vieux grains dans les lézardes et fissures, derrière les cloisons, entre les doubles parois, sur les surfaces extérieures et en dessous des cellules de stockage, de même que dans le matériel servant à manipuler les grains, dans les canalisations d'aération et sous les faux-fonds perforés. Les résidus de récolte collés au matériel servant à manipuler ou à récolter les grains sont également une source d'infestation. Comme les faux-fonds entièrement perforés ne peuvent être facilement soulevés pour être nettoyés, des particules de grains s'y accumulent et ouvrent la porte aux infestations.

Les grains et le fourrage tombés au sol à proximité du matériel de manipulation et des cellules de stockage doivent être jetés, et les résidus de grains enlevés doivent être brûlés, jetés dans une décharge ou broyés pour nourrir les animaux. De plus, il faut laisser un espace entre les salles de préparation des aliments et les cellules de stockage pour éviter que les ravageurs ne passent de l'une à l'autre. Une fois que l'infestation s'est déclarée, elle peut rapidement se répandre aux installations d'entreposage à proximité.

Les grains ne doivent pas être entreposés dans des bâtiments qui abritent des animaux ou du foin. Les mangeoires, les trémies et les auges sont souvent infestées d'insectes. De plus, ces bâtiments représentent un excellent site d'hivernation, car les insectes y sont au chaud.

Maintenir les installations d'entreposage en bon état

Une fois les installations nettoyées, il faut faire les réparations nécessaires pour qu'elles soient à l'épreuve des ravageurs, soit sceller les lézardes et les fissures où les insectes pourraient s'introduire.

Entreposer des grains propres et secs

Il ne faut jamais entreposer le nouveau grain avec le vieux, car les ravageurs qui pourraient être dans le vieux grain s'attaqueraient alors au nouveau. De plus, il faut veiller à ce que le nouveau grain soit exempt de ravageurs.

Les moisissures et les insectes font beaucoup plus de ravages dans les grains humides. Si les grains entreposés ont une teneur en eau de plus de 15 %, il convient de les vérifier régulièrement. Le blé et certaines autres céréales doivent être séchés jusqu'à ce qu'ils aient une teneur en eau de 12 % s'ils doivent être entreposés pendant plus d'un mois durant les mois chauds de l'été. Le maïs doit quant à lui être amené à une teneur en eau de 14 % pour pouvoir être entreposé sans risque pendant de longues périodes.

Surveiller la température d'entreposage et dépister les insectes

Le blé est la culture la plus susceptible d'être infestée puisqu'elle est récoltée l'été, période chaude où les insectes sont particulièrement actifs à l'intérieur et à l'extérieur des lieux d'entreposage. Une fois dans la cellule de stockage, le grain, encore chaud, peut fournir un excellent habitat aux insectes des grains entreposés. En Ontario, comme l'entreposage du maïs suit habituellement celui du blé, les infestations peuvent facilement se répandre du blé au maïs. Il faut donc surveiller la température des grains en insérant des sondes mobiles ou fixes en divers points de la masse de grain. Les zones chaudes sont souvent un indice d'infestation ou de détérioration.

À l'automne, il est bon d'aérer les grains pour les refroidir afin d'atténuer les infestations et de ralentir la reproduction des insectes. Les insectes ne peuvent proliférer dans les grains à des températures au-dessous de 10 °C et peuvent mourir si les températures sont maintenues sous les -10 °C pendant de longues périodes (selon l'espèce en question).

Le dépistage du cucujide roux et de la pyrale indienne de la farine peut se faire à l'aide de pièges-sondes en plastique (voir photo 12-1). Ces pièges-sondes sont très sensibles et indiqueront une infestation bien avant qu'elle n'atteigne le seuil de nuisibilité économique. Si des cucujides roux ou des pyrales indiennes de la farine sont trouvés dans les grains, une fumigation s'impose. Les fumigants sont des produits à usage restreint convenant uniquement au grain dont la température est supérieure à 5 °C.



Photo 12-1 – Dépistage des insectes à l'aide de pièges-sondes insérés dans le grain

Traiter les cellules vides à la terre de diatomées

La terre de diatomées est une poudre abrasive et naturelle composée de dioxyde de silicium produit à partir de dépôts fossiles d'algues marines appelées diatomées. Lorsqu'elle entre en contact avec les insectes, elle égratigne leur corps et en absorbe la couche cireuse protectrice, entraînant leur mort par déshydratation. Ce produit doit être dispersé dans la cellule de stockage vide à l'aide des ventilateurs au moins deux semaines avant l'entreposage des grains. Il peut aussi être appliqué sur les grains pendant qu'ils sont transvidés dans la cellule ou l'installation d'entreposage. Il faut porter un masque de protection lors de l'application afin de ne pas inhaler la poussière. Le mode d'emploi et les renseignements de l'étiquette des produits figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Il importe de ne pas dépasser les doses indiquées, sans quoi le produit pourrait obstruer la vis sans fin.

L'usage préventif d'insecticides ne remplace pas de bonnes pratiques d'assainissement des installations d'entreposage.

Les cellules doivent être propres avant l'application du produit. Si les parois sont poussiéreuses ou couvertes de grains compactés, la poudre n'atteindra pas tous les insectes rampants et ne pourra donc pas les tuer.

Utiliser des traitements de secours au besoin

Si une infestation survient, il peut être nécessaire de recourir à la fumigation. Le brassage des grains ou leur transfert dans une autre cellule peut réduire les

infestations de ravageurs secondaires sous le seuil de nuisibilité économique. Cependant, si des cucujides roux ou des pyrales indiennes de la farine sont visibles, c'est que le problème est grave. S'il y a des toiles à la surface des grains, il faut râtelier et enlever cette couche avant la fumigation. Des renseignements sur les fumigants figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Les fumigants ne sont efficaces que si la température des grains est supérieure au point de congélation; on ne peut donc pas toujours y recourir. Les fumigants ne peuvent être appliqués que par un exterminateur accrédité. Avant la fumigation, il faut sortir le bétail et la volaille du bâtiment, surtout s'ils se trouvent sous la cellule de stockage.

L'utilisation de malathion n'est plus recommandée pour maîtriser la pyrale indienne de la farine puisque l'insecte a développé une résistance à ce produit, qui s'avère donc souvent inefficace.

Identifier les ravageurs correctement

Les insectes des grains entreposés ne sont pas spécifiques à certaines cultures; ils peuvent s'attaquer à plusieurs types de grains. Il est important de savoir à quels insectes nuisibles on a affaire et de bien évaluer les populations, car les stratégies de lutte peuvent varier selon le ravageur. Une bonne

identification aide aussi à déterminer la source de l'infestation. Certains insectes ne sont que des ravageurs secondaires qui ne causent pas toujours de pertes économiques.

Insectes des grains entreposés

Technique de dépistage des insectes des grains entreposés

On insère dans la masse de grain quatre pièges-sondes en plastique (voir photo 12-1) à mi-chemin entre le centre et la paroi de la cellule de stockage, selon une croix dont le point central correspond au centre de la cellule. On place les pièges à la verticale en veillant à ce que leur sommet arrive à environ 25 cm (10 po) de la surface du grain. On les retire et les examine au moins une fois par semaine. En cas d'infestations importantes, il est possible de capturer des insectes après seulement un jour ou deux. Les pièges-sondes sont très sensibles et indiqueront une infestation bien avant qu'elle atteigne le seuil de nuisibilité économique. Si des insectes se trouvent dans les pièges-sondes, il faut appliquer les stratégies de lutte indiquées au tableau 12-2, *Stratégies de lutte contre les insectes des grains entreposés sur place*. Des lignes directrices sur les insecticides et les fumigants figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Tableau 12-2 – Stratégies de lutte contre les insectes des grains entreposés sur place

Description	Cycle biologique	Domages	Stratégies de lutte
Cucujide roux (voir photo 12-2)			
• L'adulte est un coléoptère plat brun rougeâtre. • Il mesure environ 2 mm de long. • Ses antennes sont au moins aussi longues que sa tête et son thorax réunis. • Il vole à des températures supérieures à 25 °C uniquement. • La larve est blanche, mesure environ 3 mm de long et a deux urogomphes bruns à l'arrière. • La petite taille de l'insecte l'aide à se déplacer facilement dans toute la masse de grain.	• L'insecte tolère le froid. • Il hiberne au stade adulte. • Il peut pondre 500 œufs à la surface des grains. • L'éclosion des larves prend 35 jours. • La pupaison se produit à l'intérieur du grain que la larve pénètre. • L'adulte émerge en laissant un trou de sortie caractéristique.	• Adultes et larves se nourrissent du germe et du son. • L'insecte attaque les grains endommagés et sains. • Il se disperse dans toute la masse de grain. • Les fortes infestations entraînent l'échauffement du grain, qui moisit et se gâte.	• Observer de bonnes pratiques d'assainissement et de dépistage. • Employer la terre de diatomées pour protéger les grains contre une nouvelle infestation. • Consulter la publication 812F du MAAARO, <i>Guide de protection des grandes cultures</i>, pour obtenir de l'information sur les insecticides et les fumigants.

Suite à la page suivante

Suite de la page précédente

Tableau 12-2 – Stratégies de lutte contre les insectes des grains entreposés sur place

Description	Cycle biologique	Dommages	Stratégies de lutte
Pyrale indienne de la farine (voir photo 12-3)			
• L'adulte mesure environ 12 mm (0,5 po) de long et a un corps en forme de « A » quand les ailes sont au repos. • Les ailes sont grises à l'avant et bronze à l'arrière. • L'insecte est nocturne. • La larve mesure environ 8 mm de long. • Elle est crème rosâtre, jaune pâle ou vert pâle tirant sur le jaune avec la tête noire. • Elle a trois paires de pattes thoraciques et cinq paires de fausses pattes abdominales. • La larve mature erre à la recherche d'un site de pupaison.	• Par temps chaud, son cycle biologique dure de 21 à 30 jours, environ. • L'insecte ne tolère pas le froid. • La température limite le nombre de générations par année. • La femelle pond ses œufs sur les grains de céréales se trouvant à la surface de la masse. • On trouve les jeunes larves dans des amas de trois à dix grains retenus ensemble par des fils de soie.	• L'adulte ne s'alimente pas et ne cause pas de dommages. • La larve se nourrit du germe et du son, qu'elle enlève des grains. • Les individus de tous les stades larvaires tissent des toiles (cette activité s'intensifie à l'approche de la pupaison). • L'insecte se trouve généralement à la surface du grain, à 50 cm (20 po) ou moins de profondeur. • Les fortes populations produisent un matelas de grains enchevêtrés de toiles jusqu'à une profondeur de 50 cm (20 po).	• Tenir compte du fait que l'adulte résiste au malathion. • Enlever la couche de grains remplie de toiles avant la fumigation. • Consulter la publication 812F du MAAARO, <i>Guide de protection des grandes cultures</i>, pour obtenir de l'information sur les insecticides et les fumigants.
Charançon du blé (voir photo 12-4)			
• L'adulte est un coléoptère brun foncé. • Il mesure environ 4 mm de long. • La larve, qui mesure environ 4 mm de long, est blanche, ridée et aptère. • La larve se trouve toujours à l'intérieur des grains, qu'elle ne quitte qu'au stade adulte. • L'insecte s'attaque aux grains de céréales, mais pas aux légumineuses. • Il ne vole pas. • Il ressemble au charançon du riz, mais les petits creux qu'il a sur le thorax sont ovales plutôt que ronds. • Il ne survit pas au froid.	• La femelle pond ses œufs dans les trous qu'elle creuse dans les grains avec son rostre. • Elle referme ensuite le trou. • La larve se développe à l'intérieur du grain. • L'adulte peut vivre huit mois.	• Adultes et larves se nourrissent de grains sains. • La larve passe toute sa vie à l'intérieur d'un seul grain dont elle dévore l'endosperme. • Plusieurs larves peuvent se trouver à l'intérieur du même grain. • En sortant, l'adulte laisse un trou de sortie rond dans le grain.	• Consulter la publication 812F du MAAARO, <i>Guide de protection des grandes cultures</i>, pour obtenir de l'information sur les insecticides et les fumigants.
Bruches du pois et du haricot			
• Les deux espèces s'attaquent soit aux pois, soit aux haricots. • Les dommages et les larves ressemblent à ceux du charançon du blé. • L'adulte, court et large, mesure de 3 à 4 mm de long environ. • Il a la tête fuselée vers l'avant. • Il est habituellement chamois avec des rayures longitudinales peu apparentes. • La larve est jaune crème et apode et a une capsule céphalique cuivrée.	• Son cycle biologique est parfois très court.	• La bruche du pois s'attaque aux pois, et la bruche du haricot, aux haricots. • L'adulte pond ses œufs au champ dans les haricots à maturité sans laisser de traces visibles. • Les dommages apparaissent lorsque les adultes émergent des grains et laissent derrière eux des trous ronds.	• Faire le dépistage des bruches dans les haricots entreposés. • Réagir à leur présence par une fumigation. • Trier les haricots pour enlever ceux qui sont piqués. • Tenir compte du fait que les pois ou haricots lourdement infestés peuvent être servis aux animaux. • Consulter la publication 812F du MAAARO, <i>Guide de protection des grandes cultures</i>, pour obtenir de l'information sur les insecticides et les fumigants.

Suite à la page suivante

Suite de la page précédente

Tableau 12-2 – Stratégies de lutte contre les insectes des grains entreposés sur place

Description	Cycle biologique	Dommages	Stratégies de lutte
Petit perceur des céréales (voir photo 12-5)			
• L'adulte est un coléoptère brun-noir. • Il mesure environ 2 mm de long. • Il a un corps cylindrique. • De nombreux petits trous se trouvent à la surface des ailes. • L'adulte se reconnaît par la position de sa tête. • La tête est inclinée vers le bas et recouverte d'un large bouclier prothoracique. • La larve est blanc crème, en forme de « C », et a une tête sombre enfoncée dans le thorax. • Ce ravageur dégage une odeur de moisi.	• La femelle pond ses œufs par grappes à la surface des grains. • Les larves éclosent et creusent des trous dans les grains. • Les larves se développent à l'intérieur du grain.	• L'insecte risque de migrer en Ontario à cause du réchauffement climatique. • Adultes et larves dévorent les grains sains. • Ils percent des trous aux contours irréguliers dans les grains. • Ils ne laissent derrière eux qu'une coquille vide et une poussière poudreuse. • Chaque adulte et chaque larve dévorent plusieurs grains. • Plusieurs individus peuvent s'attaquer au même grain. • L'insecte se nourrit aussi de poussière de grains.	• Signaler la présence de ce ravageur à l'entomologiste provincial spécialisé dans les grandes cultures. • Consulter la publication 812F du MAAARO, <i>Guide de protection des grandes cultures</i>, pour obtenir de l'information sur les insecticides et les fumigants.
Psoque			
• Cet insecte est aussi appelé pou des livres (famille des psocoptères). • L'adulte a le corps mou. • Il mesure de 1 à 2 mm de long, environ. • Il a une grosse tête et de longues antennes. • Il va du brun au blanc et est souvent opaque. • Il peut être ailé ou non. • Il ressemble à un puceron. • Les jeunes sont plus petits et légèrement plus pâles que les adultes.	• Il subit une métamorphose incomplète, de sorte que les nymphes ressemblent aux adultes. • Il y a plusieurs générations par saison. • L'insecte peut se multiplier rapidement par temps chaud.	• Il n'est pas un ravageur direct du grain. • C'est un ravageur secondaire qui se nourrit de poussière de grains et de grains endommagés. • Quand ces insectes pullulent, on les voit courir sur la masse de grain; il faut donc inspecter visuellement la surface du grain à la recherche d'insectes minuscules se déplaçant rapidement. • Ils ne se trouvent généralement qu'à la surface de la masse de grain.	• Brasser et nettoyer le grain. • Rester à l'affût dans les lieux humides. • Réduire le taux d'humidité. • Consulter la publication 812F du MAAARO, <i>Guide de protection des grandes cultures</i>, pour obtenir de l'information sur les insecticides et les fumigants.
Acarien			
• L'adulte est à peine visible à l'œil nu. • Il mesure environ 0,5 mm de long. • Il a huit pattes et est arrondi et brun jaunâtre. • La larve ressemble à l'adulte, mais n'a que six pattes. • Deux stades nymphaux ont quatre paires de pattes, ce qui les fait ressembler aux adultes.	• La présence de cet insecte dépend du taux d'humidité dans la cellule.	• C'est un ravageur secondaire du grain en détérioration. • Il préfère le grain humide. • Il se nourrit de poussière de grains et de moisissures.	• Garder le grain sec et en bon état. • Consulter la publication 812F du MAAARO, <i>Guide de protection des grandes cultures</i>, pour obtenir de l'information sur les insecticides et les fumigants.



Photo 12-2 – Le cucujide roux adulte a des antennes au moins aussi longues que sa tête et son thorax réunis



Photo 12-5 – Dégageant une odeur de moisi, le petit perceur des céréales a la tête inclinée vers le bas et recouverte d'un large bouclier prothoracique



Photo 12-3 – La pyrale indienne de la farine adulte laisse des toiles sur le dessus de la masse de grain



Photo 12-4 – Le charançon du blé est un coléoptère au thorax couvert de petites dépressions ovales

13. Lutte contre les mauvaises herbes

Pertes de rendement dues aux mauvaises herbes

La concurrence exercée par les mauvaises herbes cause les plus grandes pertes de rendement quand :

- on laisse les mauvaises herbes lever avant la culture ou en même temps qu'elle;
- l'infestation est forte;
- le sol est plutôt sec.

La lutte contre les mauvaises herbes est un aspect important des activités culturales puisque ces plantes peuvent facilement causer des pertes de rendement de plus de 80 %. En général, les pratiques agronomiques qui favorisent une culture saine et une croissance rapide sont le meilleur moyen de lutter contre les mauvaises herbes. Différents aspects entrent dans l'élaboration d'un programme de lutte, dont diverses pratiques culturales comme le sarclage et la rotation des cultures, ainsi que les traitements herbicides. L'emploi d'une seule méthode ou l'application continuelle du même herbicide peut entraîner une augmentation des mauvaises herbes, qui auront alors acquis une résistance ou une tolérance à cette méthode ou à ce produit.

L'adoption d'une approche de lutte intégrée contre les mauvaises herbes tirant parti de toutes les stratégies possibles crée un système cultural qui résiste mieux aux échecs des herbicides, car le producteur n'utilise pas que des herbicides pour lutter contre les mauvaises herbes.

Stratégies de lutte intégrée contre les mauvaises herbes

Voici un aperçu des stratégies de lutte intégrée contre les mauvaises herbes.

- **Dépistage** : Le dépistage permet d'identifier les espèces de mauvaises herbes présentes et de déterminer le moment de leur levée, leur densité de peuplement et leur mode de reproduction (p. ex. graines, racines). Ces renseignements aident à l'élaboration d'un plan de lutte qui exploitera les moments de vulnérabilité de chaque espèce.

Le dépistage permet aussi d'évaluer l'efficacité des interventions phytosanitaires effectuées. Il n'y a aucune raison valable de négliger le dépistage, surtout quand l'on pense à toutes les façons simples et précises qu'il existe pour consigner les observations. Par exemple, il suffit de prendre une photo d'une mauvaise herbe avec un téléphone intelligent pour en connaître l'emplacement et enregistrer la date du dépistage. Ce sont là tous les renseignements requis pour faire le suivi de l'apparition de mauvaises herbes et de l'efficacité du plan de lutte.

- **Rotation des cultures** : La rotation des cultures est efficace contre les mauvaises herbes. En Ontario, les échecs de la lutte contre les mauvaises herbes ayant été causés par des résistances aux herbicides ont été observés dans les exploitations agricoles où il n'y avait aucune rotation diversifiée. En effet, chaque culture comprise dans la rotation a des dates et des taux de semis qui lui sont propres, ce qui entraîne la fermeture du couvert végétal à différents moments dans la saison. De plus, chacune nécessite souvent l'emploi de méthodes de travail du sol, de programmes de fertilisation et d'herbicides différents. Ces différences créent un environnement imprévisible nuisant à la prolifération des mauvaises herbes. C'est pourquoi leur densité de peuplement est généralement plus élevée en l'absence de rotation¹.
- **Cultures couvre-sol** : Les cultures couvre-sol peuvent empêcher la croissance des mauvaises herbes et réduire la quantité de graines qui finissent dans le sol. Habituellement, les cultures couvre-sol semées après la récolte de céréales sont les plus efficaces pour réduire la quantité de graines produites et qui se retrouvent dans le sol. Une comparaison des différentes cultures couvre-sol et de leur capacité à empêcher la croissance des mauvaises herbes figure au tableau 13-1, *Classement des cultures couvre-sol en fonction de leur efficacité contre les mauvaises herbes*.

Tableau 13-1 – Classement des cultures couvre-sol en fonction de leur efficacité contre les mauvaises herbes

Tableau adapté à partir des outils de choix de cultures couvre-sol du Midwest Cover Crops Council (mcccddev.anr.msu.edu).

Culture couvre-sol	Efficacité contre les mauvaises herbes
Seigle d'automne	Excellente
Triticale d'automne	Excellente
Sarrasin ¹	Excellente
Moutarde orientale ¹	Excellente
Radis oléagineux ¹	Excellente
Orge de printemps ou d'automne	Très bonne
Avoine	Très bonne
Triticale de printemps	Très bonne
Trèfle rouge	Très bonne
Ray-grass annuel	Bonne
Pois des champs	Bonne

¹ On ne doit pas laisser ces cultures monter en graines, car celles-ci produiront des repousses indésirables la saison suivante.

Une étude menée par l'Université de Guelph² a démontré que l'ajout de cultures couvre-sol dans les cultures de maïs sucré entraîne généralement une hausse des marges de profit, et ce, malgré les coûts rattachés à l'établissement des cultures couvre-sol. De plus, les peuplements de mauvaises herbes se trouvaient réduits ou inchangés (voir le tableau 13-2, *Densité de peuplement de mauvaises herbes au printemps après le semis estival de différentes cultures couvre-sol*²). Dans la plupart des cas, on ne doit pas laisser les cultures couvre-sol monter en graines, car les repousses feront concurrence à la culture le printemps suivant, tout comme le feraient les mauvaises herbes.

Tableau 13-2 – Densité de peuplement de mauvaises herbes au printemps après le semis estival de différentes cultures couvre-sol

Mauvaises herbes dominantes à Bothwell : céréaste vulgaire, érigeron du Canada et lamier amplexicaule

Mauvaises herbes dominantes à Ridgeway : petite herbe à poux, radis oléagineux spontané et oxalis

À Bothwell, un écart de moins de 1 plante/m² est sans importance sur le plan statistique. À Ridgeway, il n'y a aucun écart sur le plan statistique entre l'avoine, le radis oléagineux et l'absence de culture couvre-sol.

LÉGENDE : – = aucune donnée disponible

Culture couvre-sol	Densité de peuplement des mauvaises herbes	
	Bothwell	Ridgeway
Aucune	10,4 plantes/m ²	87,3 plantes/m ²
Avoine	1,9 plante/m ²	70,0 plantes/m ²
Radis oléagineux	–	80,9* plantes/m ²
Radis oléagineux et seigle	0,4 plante/m ²	155,8* plantes/m ²
Seigle	0,5 plante/m ²	64,8 plantes/m ²

Source : Adaptation d'O'Reilly et coll., 2011.

* Le radis oléagineux spontané compte parmi les espèces dominantes relevées à cet endroit. Il est considéré comme une mauvaise herbe aux fins de collecte des données.

- **Engrais :** Les engrais (surtout ceux azotés) ont tendance à stimuler la germination de certaines espèces, ce qui peut avoir une incidence sur la concurrence qui s'exerce entre les cultures et les mauvaises herbes, et ce, même dans les cultures subséquentes. L'application en bandes de phosphore et de potassium concentre généralement les éléments nutritifs là où la culture y a accès. L'épandage d'azote en bandes latérales dérange le sol, ce qui peut stimuler la germination des mauvaises herbes, mais il laisse par contre l'azote en une étroite bande sous la profondeur à laquelle la plupart des mauvaises herbes germent et poussent. Une étude de quatre ans menée dans l'Ouest canadien a démontré que l'application en bandes ou l'injection d'engrais azotés réduit la quantité de graines de mauvaises herbes dans le sol de façon beaucoup plus importante que l'épandage à la volée³.

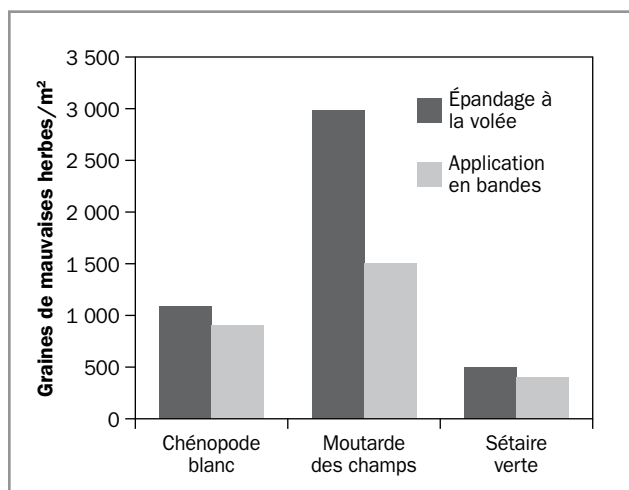


Figure 13-1 – Résultats des différentes méthodes d'application d'engrais azotés après l'étude menée sur quatre années consécutives

- Densité de peuplement et écartement des rangs :**
 Ces deux éléments peuvent nuire à la croissance des mauvaises herbes en provoquant la fermeture du couvert végétal plus tôt dans la saison. Les rangs étroits, les peuplements denses et les cultivars qui poussent rapidement peuvent donner à la culture une longueur d'avance sur les mauvaises herbes. Par exemple, les essais menés par l'Université de Guelph ont révélé une réduction du nombre de mauvaises herbes ayant échappé en fin de saison aux traitements dans les cultures de maïs dont la densité de peuplement est plus élevée que la normale (104 000 plants/ha ou 42 000 plants/ac comparativement à 84 000 plants/ha ou 34 000 plants/ac; voir photos 13-1 et 13-2, respectivement). Plusieurs fournisseurs de maïs de semence offrent des calculateurs de taux de semis servant à déterminer le taux le plus profitable dans les cultures d'hybrides. Si l'hybride réagit bien à l'augmentation du taux de semis, la fermeture du couvert végétal plus tôt dans la saison pourrait alors réduire la présence de mauvaises herbes qui germent après la culture. Si l'on emploie des herbicides, le semis précoce et l'utilisation, suivant les densités de peuplement recommandées, de semences vigoureuses et de grande qualité dans le but d'obtenir un peuplement uniforme donnent à la culture une longueur d'avance sur les mauvaises herbes. Dans les cultures biologiques ou les grandes cultures où l'utilisation d'herbicides est limitée, il est possible de retarder le semis pour éliminer bien des vagues de mauvaises herbes avant l'ensemencement, qui se fera alors dans un sol plus chaud. Ainsi, la culture poussera plus vite et sera avantagée par rapport aux mauvaises herbes. Le semis profond peut retarder la levée et favoriser la

croissance des mauvaises herbes, mais peut aussi donner de bons résultats si l'on effectue un sarclage superficiel avant la levée de la culture pour éliminer la première vague de mauvaises herbes annuelles à racines superficielles.



Photo 13-1 – Mauvaises herbes en quantité nettement moindre au début de septembre après l'application, au stade de 3 à 4 feuilles, de l'herbicide Liberty dans une culture de maïs ayant une densité de peuplement de 42 000 plants/ac



Photo 13-2 – Mauvaises herbes au début de septembre après l'application, au stade de 3 à 4 feuilles, de l'herbicide Liberty dans une culture de maïs ayant une densité de peuplement de 34 000 plants/ac

- Pratiques de travail du sol et lutte mécanique contre les mauvaises herbes :**
 - **Semis direct** – Au total, 75 % des graines de mauvaises herbes présentes dans le sol sont à 5 cm (2 po) et moins de la surface. L'utilisation d'herbicides de contact donne de bons résultats contre un grand nombre de mauvaises herbes vivaces comme le chiendent.
 - **Charrue à socs** – Les graines sont mieux réparties dans toute la profondeur du sol labouré.

- **Hersage en plein** – Cette pratique détruit les plantules de mauvaises herbes juste avant la levée de la culture.
- **Houe rotative** – Les dents de la houe rotative, qui fonctionne à une vitesse de 10 à 20 km/h, soulèvent et malaxent la terre, déracinant ainsi les mauvaises herbes de petite taille juste avant ou peu après la levée de la culture.
- **Travail des entre-rangs** – Le travail entre les rangs déracine les mauvaises herbes de petite taille et coupe les plus grandes. Le succès de l'intervention dépend du moment où elle est effectuée et de la hauteur de la culture par rapport à celle des mauvaises herbes.
- **Fauchage** – Le fauchage contribue à réduire la quantité de mauvaises herbes et la production de graines dans les cultures fourragères nouvellement établies, les cultures de céréales, le chaume de céréales, etc.
- **Lutte durant la récolte** : Les producteurs australiens utilisent différentes techniques pour éliminer les graines de mauvaises herbes durant la récolte. Ces méthodes sont devenues nécessaires après l'apparition de résistances aux herbicides, mais pourraient également être utiles si les conditions environnementales entraînaient l'échec des traitements. L'outil le plus prometteur est le système de désherbage Harrington Seed Destructor, inventé par le producteur Ray Harrington. Il s'agit d'un broyeur à paillettes permettant de détruire 95 % des graines de mauvaises herbes qui entrent dans la moissonneuse-batteuse durant la récolte. On met actuellement à l'essai l'un de ces appareils au Canada pour en vérifier l'efficacité contre les mauvaises herbes d'Amérique du Nord.
- **Lutte après la récolte** : Le décompte des graines de mauvaises herbes six semaines après la récolte du blé d'automne en Ontario a révélé que plus de 50 millions de graines pouvaient être disséminées par la suite. On voit donc l'importance de lutter contre les mauvaises herbes après la récolte afin de réduire leur production de graines. Certaines espèces annuelles d'automne, comme le céraiste, le lamier amplexicaule et le lamier pourpre (voir photos 13-3, 13-4 et 13-5, respectivement), servent d'hôtes de remplacement pour certains ravageurs et doivent donc être éliminées. Plus précisément, le céraiste sert d'hôte de remplacement au ver fil-de-fer, et le lamier amplexicaule et le lamier pourpre, au nématode à kyste du soya. Une étude menée en Indiana a d'ailleurs démontré que les populations de

nématodes à kyste du soya sont plus élevées lorsqu'on laisse le lamier amplexicaule et le lamier pourpre pousser à l'automne⁴.



Photo 13-3 – Le céraiste sert d'hôte de remplacement au ver fil-de-fer



Photo 13-4 – Le lamier amplexicaule sert d'hôte de remplacement au nématode à kyste du soya



Photo 13-5 – Le lamier pourpre sert d'hôte de remplacement au nématode à kyste du soya

- **Lutte contre les mauvaises herbes vivaces :** Lorsque les journées raccourcissent et que le temps se refroidit à la fin de l'été et au début de l'automne, de nombreuses espèces vivaces commencent à emmagasiner des glucides dans leurs racines en prévision de l'hiver. C'est alors que les herbicides systémiques atteignent les racines, ce qui réduit la quantité de mauvaises herbes au printemps suivant. L'utilisation, avant ou après la récolte, de glyphosate comme traitement contre les mauvaises herbes vivaces du début du stade du bouton au début du stade de floraison compte parmi les méthodes de lutte les plus efficaces. L'application doit cependant se faire au moment indiqué sur l'étiquette du produit. Dans les cultures biologiques, le travail du sol visant à remonter les racines à la surface et l'utilisation de cultures couvre-sol pour empêcher la croissance des mauvaises herbes peuvent également contribuer à réduire la persistance d'espèces vivaces.
- **Pratiques liées à l'utilisation du matériel :** Les graines de mauvaises herbes peuvent être transportées d'un champ à l'autre par les instruments aratoires, les moissonneuses-batteuses, les érosions éolienne et hydrique, les animaux et les oiseaux. Les mauvaises herbes peuvent aussi infester un champ à la suite d'un épandage de fumier ou de tout autre amendement du sol. De bonnes pratiques d'assainissement et de nettoyage du matériel, de même que l'entretien du pourtour des champs, sont autant de moyens d'assurer à long terme une lutte efficace contre les mauvaises herbes.

Concurrence de la culture aux mauvaises herbes

Le maïs, le soya, les haricots comestibles et le lin livrent une faible concurrence aux mauvaises herbes, de sorte que des méthodes de lutte efficaces sont nécessaires pour lutter contre les mauvaises herbes durant la période critique si l'on veut réduire au minimum les pertes de rendement. En revanche, le canola, le tournesol et les céréales de printemps et d'automne exercent une plus forte concurrence, comme l'indique la figure 13-2, *Pertes de rendement attribuables à la concurrence des mauvaises herbes dans les grandes cultures*. Peu importe la culture en question, il convient d'éliminer les mauvaises herbes au début de sa croissance pour réduire au minimum les pertes de rendement.

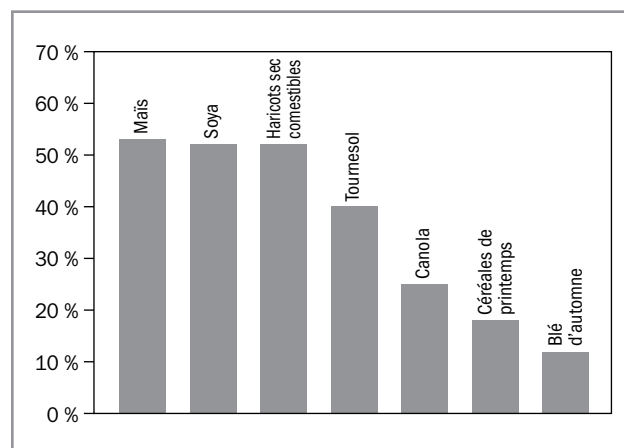


Figure 13-2 – Pertes de rendement attribuables à la concurrence des mauvaises herbes dans les grandes cultures

D'après des données tirées de plusieurs sources⁵ (voir bibliographie)

Période critique de lutte dans les grandes cultures

Il est possible de réduire au minimum les pertes de rendement causées par les mauvaises herbes en éliminant ces dernières durant une certaine période, dite critique. Les espèces qui germent tard ont une incidence négligeable sur le rendement, mais elles produisent tout de même des graines qui se retrouveront dans le sol.

L'étiquette des herbicides de postlevée indique le stade de croissance des mauvaises herbes où ils sont le plus efficaces. Idéalement, l'application de ces herbicides devrait avoir lieu durant la période critique pour la culture et le stade de croissance optimal des mauvaises herbes, mais c'est ce dernier qui prime puisque les produits pourraient être moins efficaces par la suite.

La période critique de chaque grande culture est précisée dans le tableau 13-3, *Période critique d'absence de mauvaises herbes dans les grandes cultures en Ontario*, n'est qu'une indication; le moment de l'intervention durant la période critique diffère d'une année à l'autre et d'une région à l'autre en raison des variations de climat, de type de sol, d'espèces de mauvaises herbes et de densité de peuplement. Par exemple, l'intervention se fait tôt dans les champs ayant un sol à texture légère qui sont soumis à un stress hydrique et fortement envahis de mauvaises herbes. Dans ce cas, le fait de repousser l'intervention à la fin de la période critique entraînerait probablement des pertes de rendement considérables.

Tableau 13-3 – Période critique d'absence de mauvaises herbes dans les grandes cultures en Ontario

Culture	Période critique d'absence de mauvaises herbes	Source
Maïs	De 3 à 10 pointes de feuilles	Swanton (Université de Guelph)
Soya	Stade de 1 à 3 feuilles trifoliées (V2 à V3)	Swanton (Université de Guelph)
Céréales de printemps	Stade de 1 à 3 feuilles (stade 10 à 13 sur l'échelle de Zadok)	Van Dam, Swanton (Université de Guelph)
Blé d'automne	De 500 à 1 000 degrés-jours de croissance (température de base de 0)	Welsh et coll., 1999 (Université de Reading)
Cultures fourragères	Année d'établissement : de 4 à 6 semaines après le semis	Dillehay (Université d'État de Pennsylvanie)
Canola	De la levée au stade 6 feuilles	Van Acker (Université de Guelph)

Incidence de l'humidité du sol sur la concurrence exercée par les mauvaises herbes

Quand l'humidité du sol est élevée, la concurrence exercée par les mauvaises herbes a moins de répercussions sur le rendement. Le tableau 13-4, *Pertes de rendement du maïs et du soya dues aux mauvaises herbes dans différentes conditions d'humidité du sol*, compare les pertes de rendement dans les cultures de maïs et de soya attribuables aux mauvaises herbes à la station de recherche d'Elora au cours d'une saison pluvieuse et au cours d'une saison sèche.

Tableau 13-4 – Pertes de rendement du maïs et du soya dues aux mauvaises herbes dans différentes conditions d'humidité du sol

Précipitations (de mai à août)	Maïs	Soya
458 mm	18 %	23 %
218 mm	96 %	84 %

Source : Weed Science Research Program, département de phytotechnie, Université de Guelph (1986-2015).

Incidence des différentes espèces de mauvaises herbes sur les pertes de rendement

Le dépistage sert à déterminer les espèces de mauvaises herbes présentes et leur densité de peuplement respective. D'ailleurs, dans le cadre d'un sondage mené en 2014 auprès de conseillers en cultures agréés, on a dressé la liste des espèces de mauvaises herbes qu'ils rencontrent le plus souvent lors de dépistages dans les cultures de soya, de céréales d'automne et de maïs (voir tableau 13-5). Certaines mauvaises herbes exercent une concurrence plus forte que d'autres. Le tableau 13-6, *Pertes de rendement attribuables aux mauvaises herbes dans le soya et le maïs en fonction de densités de peuplement connues*, compare les pertes de rendement causées par différentes espèces de mauvaises herbes.

On doit tenir compte de la concurrence exercée par les mauvaises herbes avant de traiter les mauvaises herbes ayant échappé aux traitements antérieurs. Les estimations figurant au tableau 13-6 reposent sur des conditions météorologiques normales, des taux d'humidité convenables et une levée simultanée des mauvaises herbes et de la culture. Les pertes de rendement peuvent augmenter si le sol est sec et varier en fonction des conditions de stress.

Il faut également tenir compte de l'incidence des peuplements de mauvaises herbes sur la qualité de la récolte et sur les méthodes de récolte. Par exemple, la morelle noire de l'Est ne menace pas le rendement outre mesure, mais elle peut avoir des conséquences désastreuses sur la qualité du soya à identité préservée.

Lutte mécanique

Un hersage non sélectif au moyen d'un ensemble de herses légères opérant peu profondément avant la levée de la culture, ou d'une herse-bineuse munie de dents flexibles en équerre lorsque la culture fait de 5 à 10 cm (de 2 à 4 po) de hauteur, procure une certaine maîtrise des plantules de mauvaises herbes annuelles, à condition que les mauvaises herbes soient petites et que la surface du sol soit sèche et meuble. Il est également possible de détruire une partie des plantules par un travail du sol rapide (10 km/h) et peu profond (de 2,5 à 3 cm ou de 1 à 1,5 po) avec une houe rotative quand le maïs fait de 7 à 8 cm (3 po) de hauteur ou quand les haricots sont au stade de 1 à 2 feuilles. Ces techniques ne réduisent pas l'action des herbicides et peuvent, certaines années, accroître l'efficacité du désherbage chimique. Lorsque le sol est sec, le passage de la houe rotative dans une culture de haricots secs comestibles dans les 7 à 10 jours suivant le semis aide

Tableau 13-5 – Les 30 espèces de mauvaises herbes les plus courantes dans les cultures ontariennes de soya, de blé d'automne et de maïs selon un sondage auprès de conseillers en culture agréés mené en 2014

Rang (soya)	Mauvaise herbe	Rang (blé d'automne)	Mauvaise herbe	Rang (maïs)	Mauvaise herbe
1	Chénopode blanc	1	Pissenlit	1	Chénopode blanc
2	Petite herbe à poux	2	Céraiste	2	Amarante à racine rouge
3	Pissenlit	3	Chénopode blanc	3	Petite herbe à poux
4	Amarante à racine rouge	4	Petite herbe à poux	4	Sétaire verte
5	Érigéron du Canada	5	Érigéron du Canada	5	Pissenlit
6	Sétaire verte	6	Laiteron des champs	6	Souchet comestible
7	Morelle noire de l'Est	7	Amarante à racine rouge	7	Sétaire glauque
8	Souchet comestible	8	Asclépiade	8	Pied-de-coq
9	Laiteron des champs	9	Liseron des champs	9	Abutilon
10	Pied-de-coq	10	Vesce jargeau	10	Laiteron des champs
11	Laiteron potager	11	Bourse-à-pasteur	11	Laiteron potager
12	Abutilon	12	Renouée persicaire	12	Prêle des champs
13	Sétaire glauque	13	Carotte sauvage	13	Morelle noire de l'Est
14	Prêle des champs	14	Véronique	14	Érigéron du Canada
15	Grande herbe à poux	15	Prêle des champs	15	Sétaire géante
16	Asclépiade	16	Pâturin annuel	16	Céraiste
17	Liseron des champs	17	Laiteron potager	17	Digitaire sanguine
18	Renouée persicaire	18	Laitue scariole	18	Renouée persicaire
19	Vesce jargeau	19	Bardane	19	Liseron des champs
20	Sétaire géante	20	Sétaire glauque	20	Digitaire astringente
21	Digitaire astringente	21	Grande herbe à poux	21	Panic millet
22	Pâturin annuel	22	Patience crépue	22	Grande herbe à poux
23	Céraiste	23	Pied-de-coq	23	Amarante hybride
24	Carotte sauvage	24	Chiendent	24	Chiendent
25	Panic d'automne	25	Sétaire verte	25	Pâturin annuel
26	Chiendent	26	Renouée liseron	26	Panic d'automne
27	Arroche étalée	27	Abutilon	27	Arroche étalée
28	Digitaire sanguine	28	Moutarde des champs	28	Lampourde glouteron
29	Panic millet	29	Matricaire inodore	29	Renouée liseron
30	Amarante hybride	30	Apocyn	30	Luzerne spontanée

à maîtriser les mauvaises herbes en train de lever, mais peut également activer les herbicides appliqués au sol en les mettant en contact avec l'humidité du sol. Il est peu probable que la houe rotative enlève bien des mauvaises herbes ayant dépassé le stade 2 feuilles vraies.

Le sarclage entre les rangs peut être un complément aux autres méthodes de lutte contre les mauvaises herbes. Il est plus efficace lorsque les mauvaises herbes sont petites. Le sarclage doit se faire en surface pour empêcher la germination de nouvelles mauvaises herbes, diminuer les pertes d'humidité et éviter les dommages aux racines de la culture. Le sarclage entre

les rangs peut être nécessaire lorsque des mauvaises herbes ont échappé au traitement herbicide. On considère que les mauvaises herbes ont échappé au traitement quand elles mesurent de 5 à 7 cm (de 2 à 3 po) de hauteur. Étant donné que le sarclage donne de moins bons résultats contre les mauvaises herbes plus avancées, il faut l'effectuer le plus tôt possible après l'échec du traitement herbicide. Si les mauvaises herbes sont trop avancées, il convient d'envisager d'autres traitements herbicides.

L'application des herbicides en bandes réduit leur coût de moitié aux deux tiers, selon l'écartement des rangs et la largeur des bandes. Il s'agit ensuite de maîtriser les

mauvaises herbes entre les bandes à l'aide d'un sarclage superficiel. Il faut tenir compte de la combinaison des deux opérations au moment d'évaluer s'il est rentable d'appliquer les herbicides de cette manière.

Résistance aux herbicides

Selon l'Université de Guelph, il y a 19 espèces de mauvaises herbes résistantes aux herbicides en Ontario. Ces espèces compromettent l'efficacité de huit modes d'action des herbicides (voir le tableau 13-7, *Mauvaises herbes résistantes aux herbicides en Ontario en date de janvier 2016*).

Les espèces résistantes dominent un peuplement de mauvaises herbes quand on utilise de façon répétée des herbicides ayant le même mode d'action. La vitesse d'apparition de la résistance varie en fonction de la rotation des cultures et des modes d'action des produits employés à répétition. L'application des principes de lutte intégrée contre les mauvaises herbes retarde l'apparition de peuplements de mauvaises herbes résistantes aux herbicides. Voici certaines mesures destinées à prévenir ou à tout le moins à ralentir la prolifération des mauvaises herbes résistantes :

- Identifier les mauvaises herbes, inspecter les champs et tenir des registres;
- Pratiquer la rotation des cultures et utiliser des herbicides ayant différents modes d'action;
- Empêcher la propagation des mauvaises herbes;
- Utiliser des méthodes autres que la lutte chimique.

Blessures causées par les herbicides

Les herbicides ne devraient pas causer de blessures à la culture traitée si l'on en respecte le mode d'emploi, mais ils risquent tout de même d'endommager les cultures dans des conditions défavorables. Les causes les plus fréquentes de blessures par les herbicides sont les suivantes :

- Présence de résidus d'herbicides de l'année précédente, notamment dans les zones où les pulvérisations se sont chevauchées.
- Concentration excessive de produits, par erreur de calcul ou chevauchement des pulvérisations.

Tableau 13-6 – Pertes de rendement attribuables aux mauvaises herbes dans le soja et le maïs en fonction de densités de peuplement connues

Les pertes sont établies dans l'hypothèse où les mauvaises herbes lèvent en même temps que la culture.

Culture	Mauvaises herbes	Perte de rendement	
		1 plante/ m ²	5 plantes/ m ²
Maïs	Dicotylédones annuelles		
	Grande herbe à poux	13 %	36 %
	Chénopode blanc	12 %	35 %
	Amarante	11 %	34 %
	Lampourde glouteron	6 %	22 %
	Herbe à poux	5 %	21 %
	Moutarde des champs	5 %	18 %
	Abutilon	4 %	15 %
	Renouée persicaire	3 %	13 %
	Renouée liseron	2 %	10 %
	Morelle noire de l'Est	2 %	7 %
	Graminées annuelles		
	Sétaire géante	2 %	10 %
	Panic millet	2 %	10 %
	Panic d'automne	2 %	10 %
	Pied-de-coq	2 %	7 %
	Sétaire verte	2 %	7 %
	Sétaire glauque	1 %	5 %
	Panic capillaire	1 %	5 %
	Digitaire	1 %	3 %
Soya	Dicotylédones annuelles		
	Lampourde glouteron	15 %	41 %
	Morelle noire de l'Est ¹	14 %	40 %
	Grande herbe à poux	14 %	40 %
	Chénopode blanc	13 %	38 %
	Amarante	12 %	36 %
	Herbe à poux	10 %	33 %
	Abutilon	6 %	23 %
	Moutarde des champs	5 %	20 %
	Renouée persicaire	4 %	15 %
	Renouée liseron	4 %	15 %
	Graminées annuelles		
	Maïs spontané	4 %	15 %
	Sétaire géante	3 %	12 %
	Panic millet	3 %	12 %
	Pied-de-coq	3 %	12 %
	Panic d'automne	2 %	10 %
	Sétaire verte	2 %	8 %
	Sétaire glauque	1 %	5 %
	Panic capillaire	1 %	4 %
	Digitaire	1 %	4 %

¹ La morelle noire de l'Est réduit la qualité du soja.

Tableau 13-7 – Mauvaises herbes résistantes aux herbicides en Ontario en date de janvier 2016

Mode d'action	Espèces
Inhibition de la synthèse des lipides (ACCCase) (groupe 1) (p. ex. Assure II, Excel, Poast Ultra, Venture)	Une espèce : Digitaire sanguine
Inhibition de la synthèse des acides aminés (groupe 2) (p. ex. Accent, Classic, Pinnacle, Pursuit, Ultim)	Onze espèces : Lampourde glouteron, érigéron du Canada ¹ , petite herbe à poux ² , morelle noire de l'Est, sétaire (verte et géante), grande herbe à poux ¹ , chénopode blanc ² , amarante (à racine rouge et hybride) ² , amarante rugueuse ²
Régulation de la croissance (groupe 4 – acides benzoïques) (p. ex. Banvel II, Distinct)	Une espèce : Carotte sauvage
Inhibition systémique de la photosynthèse, triazines (groupe 5) (p. ex. atrazine, Sencor, Princep Nine-T)	Dix espèces : Pied-de-coq, séneçon vulgaire, petite herbe à poux ³ , chénopode blanc, amarante (à racine rouge et hybride) ³ , amarante rugueuse ³ , moutarde des champs, panic capillaire, sétaire glauque
Inhibition non systémique de la photosynthèse (groupe 6) (p. ex. Basagran, Pardner)	Deux espèces : Amarante (à racine rouge et hybride)
Inhibition systémique de la photosynthèse, urées substituées (groupe 7) (p. ex. Lorox)	Deux espèces : Amarante (à racine rouge et hybride)
Inhibition de la synthèse des acides aminés aromatiques (groupe 9) (p. ex. glyphosate, Roundup, Weathermax, Touchdown Total)	Quatre espèces : Érigéron du Canada ³ , petite herbe à poux, grande herbe à poux ³ , amarante rugueuse ^{2,3}
Dipyridyles (groupe 22) (p. ex. Reglone, Gramoxone)	Trois espèces : Érigéron du Canada, morelle noire de l'Est, cresson des champs

¹ Certaines populations résistent également aux herbicides du groupe 9 (p. ex. glyphosate).

² Certaines populations résistent également aux herbicides du groupe 5 (p. ex. atrazine).

³ Certaines populations résistent également aux herbicides du groupe 2 (p. ex. FirstRate, Pursuit).

- Contamination d'un fongicide ou d'un insecticide par des résidus d'herbicides présents dans le réservoir de mélange (p. ex. la pulvérisation, sur du blé d'automne, de Folicur contenant des résidus d'Ultim endommagera considérablement les plants et entraînera une baisse importante de rendement).
- Embruns d'herbicides sur des cultures voisines.
- Application d'herbicides après le stade de croissance indiqué sur l'étiquette (dans le cas d'une culture céréalière, l'application d'herbicide près du stade d'épiaison risque de nuire à la pollinisation et de réduire le rendement).
- Conditions ambiantes défavorables lors de l'application de l'herbicide ou au moment de la levée de la culture.
- Fluctuation de la température de plus de 20 °C ou maximum diurne dépassant les 30 °C.
- Averse violente immédiatement après l'application au sol d'un herbicide causant des éclaboussures de solution chimique sur les feuilles.
- Concentration inappropriée d'herbicides dans des sols à risque.
- Concentration excessive de certains herbicides (p. ex. métribuzine) par rapport à celle indiquée sur l'étiquette pour les sols à pH élevé et pauvres en

matières organiques (comme les plants assimilent davantage les herbicides dans de telles conditions, leur concentration doit être réduite).

Le stade de croissance de la culture, le type de cultivar, les facteurs de stress, les conditions ambiantes et la nature des produits chimiques et des adjuvants présents dans le mélange herbicide auront aussi une incidence sur l'étendue et la gravité des dommages éventuels. Lorsqu'une culture est soumise à un stress, son aptitude à métaboliser les herbicides s'en trouve réduite : elle est donc plus exposée aux blessures. Le mode d'action de l'herbicide aura également une incidence sur la gravité des blessures. En général, les blessures infligées par les herbicides de contact peuvent paraître plus graves que celles causées par les herbicides systémiques, mais ces derniers, parce qu'ils agissent à long terme, peuvent en définitive s'avérer plus dommageables. Le mode d'emploi de chaque herbicide comprend des mises en garde concernant les différents facteurs de risque. Pour réduire au minimum les risques de dommages aux cultures causés par les herbicides, il importe de prendre connaissance de ces mises en garde et de la section *Signes de dommages causés par différents groupes herbicides*.

Signes de dommages causés par différents groupes herbicides

Cette section comprend une description des signes de dommages généralement causés par différents groupes herbicides. Le mode d'action de chaque groupe herbicide touche une partie différente des plants. Les descriptions sont classées selon la partie touchée et le type de blessure causée par chaque groupe herbicide.

Dommages aux plantules nouvellement levées

Dinitroanilines (groupe 3)

(action systémique – mobilité dans le xylème)

(p. ex. Prowl H₂O, Treflan)

- Les plants ont du mal à lever et sont rabougris.
- Les racines latérales sont courtes et épaisses.
- Les répercussions sur le rendement dépendent de la gravité des dommages et du stade de la culture auquel ils se produisent.

Graminées

- Les pousses sont courtes et épaisses et peuvent avoir une coloration rouge ou violette (voir photo 13-6).
- Le peuplement est clairsemé (voir photo 13-7).

Dicotylédones

- L'hypocotyle (portion de la tige située sous les cotylédons) peut être gonflé et fendillé.

Oxydes de diphényle (groupe 14)

(action systémique – mobilité dans le xylème)

(p. ex. Authority, Authority Supreme, Fierce, Valtera)

- Les racines épaississent et ont des lésions nécrosées (brunes).
- Les répercussions sur le rendement dépendent de la gravité des dommages.
- Les feuilles deviennent déformées ou crispées, leur pourtour brunit et leur point végétatif est endommagé (voir photo 13-8).

Graminées

- Les pousses sont courtes et épaisses, les feuilles sont déformées et l'établissement du peuplement est réduit.

Dicotylédones

- L'hypocotyle (portion de la tige située sous les cotylédons) peut être gonflé et fendillé.
- Les feuilles deviennent déformées ou crispées et ont un pourtour nécrosé (voir photo 13-9).
- Les feuilles sont gravement déformées, leur point

végétatif peut être endommagé et, dans le cas du soya, le peuplement peut être réduit (voir photo 13-10).



Photo 13-6 – Racines de maïs courtes, épaisses et peu développées à la suite d'une application de pendiméthaline (p. ex. Prowl)



Photo 13-7 – Peuplement de maïs clairsemé en raison des abondants résidus de trifluraline (p. ex. Treflan) laissés par les pulvérisations qui se sont chevauchées dans la culture de haricots secs comestibles de l'année précédente



Photo 13-8 – Graves nécrose et déformation des feuilles de soya causées par l'assimilation excessive de flumioxazine (p. ex. Valtera) alors que la culture levait sous de fortes pluies



Photo 13-9 – Grave déformation des feuilles causée par la flumioxazine (p. ex. Valtera)



Photo 13-10 – Conséquences des graves déformation et nécrose des feuilles de soya causées par la flumioxazine (p. ex. Valtera)

Chloroacétamides (groupe 15)

(action systémique – mobilité dans le xylème)

(p. ex. Dual II Magnum, Frontier Max, Pyroxasulfone 85 [ingrédient d'Authority Supreme, de Fierce et de Focus])

- Les tigelles sont rabougries et donnent des plantules difformes qui ne lèvent pas.
- Les répercussions sur le rendement dépendent de la gravité des dommages et du stade de la culture auquel ils se produisent, mais elles sont généralement négligeables, voire inexistantes.

Graminées

- Les feuilles peuvent pousser sous le sol.
- Les pousses prennent un aspect anormal quand les feuilles ne se déploient pas correctement (voir photo 13-11).

Dicotylédones

- Les feuilles sont crispées et leur nervure centrale est courte, ce qui leur donne la forme d'un cœur, comme si elles portaient un lacet trop serré (voir photo 13-12).

- Le pourtour des feuilles inférieures des plants de haricots secs comestibles devient jaune puis brun, mais les nouvelles pousses ne sont pas touchées (voir photo 13-13). Dans les cas extrêmes, la nécrose fait tomber les feuilles inférieures; seules les nouvelles feuilles sont vertes (voir photo 13-14).



Photo 13-11 – Pousses anormales incapables de se déployer après l'application de chloroacétamide (p. ex. Dual II Magnum)



Photo 13-12 – Dommages par le S-métolachlore et le bénoxacor (p. ex. Dual II Magnum) donnant à la feuille de soya la forme d'un cœur, comme si elle portait un lacet trop serré



Photo 13-13 – Jaunissement des feuilles inférieures causé par l'assimilation excessive de chloroacétamide (p. ex. Dual II Magnum) après de fortes pluies



Photo 13-14 – Dommages extrêmes causés aux plants de haricots secs comestibles par le chloroacétamide (p. ex. Dual II Magnum), qui fait tomber les feuilles inférieures, ne laissant que les nouvelles feuilles; dans ce cas-ci, le plant s'est entièrement remis des dommages

Lésions se manifestant sur les tissus foliaires d'un certain âge (susceptibles de progresser vers le haut)

Herbicides systémiques inhibiteurs de photosynthèse
(action systémique – mobilité dans le xylème)

Triazines (groupe 5)

(p. ex. atrazine, Sencor, Princep Nine-T)

Urées substituées (groupe 7)

(p. ex. Lorox)

- Ces herbicides migrent dans le xylème (vers le haut seulement).
- Les dommages se manifestent après la sortie des cotylédons et des premières feuilles vraies.
- Les premiers signes de dommages sont le jaunissement du pourtour ou de la pointe des feuilles et des zones internervaires (voir photo 13-15).
- Les feuilles les plus âgées et les plus grandes sont atteintes en premier (voir photo 13-16).
- Les tissus foliaires lésés finissent par brunir et mourir (voir photo 13-17).
- Les dommages sont plus graves dans les sols à pH élevé (plus de 7,2).
- Les répercussions sur le rendement dépendent de la gravité des dommages et du stade de la culture auquel ils se produisent.



Photo 13-15 – Réaction du soya à des résidus d'atrazine : jaunissement du pourtour des feuilles inférieures s'étendant ensuite vers le centre de celles-ci, qui finissent par brunir



Photo 13-16 – Dommages causés au soya par le linuron (p. ex. Lorox) : les feuilles inférieures brunissent alors que les nouvelles pousses ne sont pas touchées



Photo 13-17 – Réaction du soya à des éclaboussures de métribuzine (p. ex. Sencor) : brunissement très prononcé d'une grande part des feuilles du bas, qui sont entrées en contact avec l'herbicide durant l'application, alors que les nouvelles pousses ne sont pas touchées

Herbicides non systémiques inhibiteurs de photosynthèse (groupe 6)
(herbicides de contact)
(p. ex. Basagran, Pardner)

- Seuls les tissus entrés en contact avec l'herbicide sont endommagés.
- Les adjuvants, dont les concentrés d'huile minérale, peuvent intensifier les dommages.
- Les dommages sont généralement d'ordre esthétique, n'ayant que peu ou pas de répercussions sur le rendement.

Graminées

- Les graminées tolèrent généralement les inhibiteurs de photosynthèse non systémiques, à l'exception du bromoxynil (Pardner) lorsqu'il est appliqué avant le stade 4 feuilles du maïs (voir photo 13-18).

Dicotylédones

- Généralement, les feuilles présentent des mouchetures, des marbrures, un bronzage ou des pointes brûlées (voir photos 13-19 et 13-20).

Acides aminés phosphorylés (groupe 10)
(herbicides de contact à faible mobilité dans le phloème et le xylème)
(p. ex. Liberty, Ignite)

- La chlorose et le flétrissement apparaissent généralement au bout de trois à cinq jours, puis une nécrose se manifeste après une à deux semaines.
- Les signes apparaissent plus vite par temps ensoleillé et très humide.
- Les répercussions sur le rendement sont généralement importantes (voir photos 13-21 et 13-22).



Photo 13-18 – Brûlure des feuilles de maïs par le bromoxynil (p. ex. Pardner)



Photo 13-19 – Soya endommagé par le bentazone (p. ex. Basagran Forte)



Photo 13-20 – Plant de haricots blancs endommagé par le bentazone (p. ex. Basagran Forte)



Photo 13-21 – Brunissement et rougissement des tissus foliaires exposés ayant reçu des embruns de glufosinate (p. ex. Liberty); les nouveaux tissus ne sont pas touchés



Photo 13-22 – Plants de haricots canneberges gravement nécrosés à la suite d’une application accidentelle de glufosinate (p. ex. Liberty)

Oxydes de diphényle (groupe 14)
(herbicides de contact)

(p. ex. Reflex, Blazer, Eragon, Valtera)

- De petites taches bronze-rouge peuvent apparaître à la surface des feuilles peu après le traitement (voir photo 13-23).
- Les taches apparaissent selon la configuration du jet (voir photos 13-24 et 13-25).
- Les plants qui survivent peuvent être rabougris pendant environ une semaine.
- Les adjuvants, dont les huiles minérales, peuvent intensifier les dommages (voir photo 13-26).
- Les produits causent généralement des dommages purement esthétiques aux cultures pour lesquelles ils sont recommandés et n’ont que peu ou pas de répercussions sur le rendement.



Photo 13-23 – Taches bronze-rouge sur les feuilles de soya causées par l’application de fomésafène (p. ex. Reflex)



Photo 13-24 – Maïs endommagé par une faible concentration de fomésafène (p. ex. Reflex) dans le réservoir de mélange



Photo 13-25 – Réaction du maïs au fomésafène (p. ex. Reflex) : grave nécrose ayant entraîné la fusion des nouveaux tissus foliaires, ce qui empêche le développement normal du reste du plant



Photo 13-26 – Dommages causés par les oxydes de diphényle (p. ex. Blazer), qui sont parfois plus graves en présence d’adjuvants, comme les huiles minérales

Dipyridyles (groupe 22)
(herbicides de contact)
(p. ex. Reglone, Gramoxone)

- Les dommages apparaissent très rapidement, soit un jour ou deux après le traitement (voir photo 13-27).
- Les feuilles prennent un aspect flasque et aqueux avant de brunir (voir photo 13-28).
- De petites taches foliaires nécrosées apparaissent sur les plants touchés par les embruns d'herbicide (voir photo 13-29).
- Ces blessures peuvent nuire considérablement au rendement.
- Les plantes vivaces atteintes repousseront.

Adjuvants (aucun groupe précis)

Dommages causés par un surfactant ou du NAU 28 %

- Les dommages se manifestent généralement par un grave brunissement des feuilles ou sous forme de taches vertes ou jaunes (voir photo 13-30).
- Les tissus qui se développent par la suite sont normaux.
- Ces dommages apparaissent souvent quand du NAU 28 % sert de support aux herbicides dans les céréales ou quand la concentration de surfactant utilisée est trop élevée (voir photo 13-31).
- Les lésions sont surtout de nature esthétique et ont peu de répercussions sur le rendement, pourvu qu'elles ne soient pas trop graves.



Photo 13-27 – Dommages causés par un embrun de diquat (p. ex. Reglone) dans un champ de maïs



Photo 13-28 – Graves dommages aux feuilles de maïs causés par une application accidentelle de diquat (p. ex. Reglone); le plant peut s'en remettre à condition que son point végétatif soit encore sous terre (avant le stade V6)



Photo 13-29 – Dommages causés au soya par un embrun de diquat (p. ex. Reglone)



Photo 13-30 – Dommages causés au soya par un surfactant



Photo 13-31 – Brûlure (nécrose) des pointes pouvant avoir différentes causes dans les céréales (p. ex. froid, surfactants); dans ce cas-ci, elle est causée par un herbicide ayant du NAU 28 % comme support

Dommages sur les jeunes pousses susceptibles de se propager des feuilles aux racines

Herbicides inhibiteurs de synthèse des lipides

(ACCase) (groupe 1)

(action systémique – mobilité dans le phloème)

(p. ex. Assure II, Excel, Poast Ultra, Venture)

- Les jeunes tissus foliaires jaunissent ou rougissent, puis brunissent; les feuilles du verticille se décomposent et s'arrachent facilement (voir photos 13-32 et 13-33).
- Les signes apparaissent lentement (au bout de 7 à 14 jours).
- Les répercussions sur le rendement sont importantes.

Graminées

- Ces herbicides n'endommagent que les graminées.

Herbicides inhibiteurs de synthèse des acides aminés (groupe 2)

(action systémique – mobilité dans le phloème)

(p. ex. Accent, Classic, Pinnacle, Pursuit, Ultim)

Graminées

- Les entre-nœuds raccourcissent, et les feuilles se déforment et prennent une coloration jaune ou violacée (voir photos 13-34 et 13-35).

Dicotylédones

- Les entre-nœuds raccourcissent.
- Les feuilles se déforment, et les régions internervaires jaunissent.
- Le revers des feuilles présente parfois des nervures rouges, brunes ou violacées (voir photo 13-36).

- Les signes mettent d'une à deux semaines à apparaître.
- Les répercussions sur le rendement dépendent de la gravité des dommages et du stade de la culture auquel ils se produisent.



Photo 13-32 – Rabougrissement, jaunissement et rougissement des tissus foliaires de maïs causés par un inhibiteur de synthèse des lipides (p. ex. Assure II, Excel)



Photo 13-33 – Nouvelle feuille à l'extrémité brune et décomposée s'arrachant très facilement du verticille de 5 à 10 jours après l'application d'un graminicide (p. ex. Assure II)



Photo 13-34 – Réaction du maïs à l'imazéthapyr (p. ex. Pursuit) : déformation des feuilles et coloration rouge ou violacée des tissus foliaires



Photo 13-35 – Dommages au maïs causés par la sulfonylurée (p. ex. Option, Ultim) se manifestant par la déformation et le jaunissement des nouveaux tissus foliaires



Photo 13-36 – Déformation et jaunissement des tissus foliaires causés par un herbicide du groupe 2 (p. ex. Classic) et brunissement des nervures au revers des feuilles

Régulateurs de croissance (groupe 4 – phytohormones)
(action systémique – mobilité dans le phloème)
(p. ex. 2,4-D, 2,4-DB, MCPA, MCPA/MCPB)

- Les dicotylédones ont des tiges tordues et des feuilles difformes (feuilles à bords courbés, crispées, rubanées, à nervures parallèles).
- Le 2,4-D entraîne un allongement des pétioles des feuilles trifoliées du soya (voir photos 13-37 et 13-38), alors que les herbicides à base d'acide benzoïque (p. ex. Banvel II) provoquent généralement la courbure des feuilles (voir photo 13-39).
- Les plants de maïs ont des feuilles enroulées en « feuilles d'oignon » (voir photo 13-40), des racines échassées soudées (voir photo 13-41), des tiges fragiles et recourbées en « col de cygne » (voir photo 13-42) et des grains manquants sur l'épi.
- Les céréales à paille ont des feuilles d'épi tordues, des

fleurons stériles ou dédoublés, des barbes vrillées et des épis difformes (voir photo 13-43).

- Les répercussions sur le rendement dépendent de la gravité des dommages et du stade de la culture auquel ils se produisent.

Régulateurs de croissance (groupe 4 – acides benzoïques)
(action systémique – mobilité dans le phloème)
(p. ex. Banvel II, Distinct)

- Les lésions causées par le dicamba ressemblent à celles causées par les phytohormones herbicides.
- Les dicotylédones présentent davantage de feuilles courbées que de feuilles rubanées (voir photo 13-44).
- Comparativement au 2,4-D, les acides benzoïques peuvent causer plus de déformation des tiges en « col de cygne » chez le maïs et plus de verse chez les petites céréales (surtout le blé).
- Les répercussions sur le rendement dépendent de la gravité des dommages et du stade de la culture auquel ils se produisent.

Régulateurs de croissance (groupe 4 – acides pyridiniques)
(action systémique – mobilité dans le phloème)
(p. ex. Lontrel, Milestone)

- Les dommages sont semblables à ceux causés par les phytohormones herbicides et les acides benzoïques.
- Les légumineuses (p. ex. soya, luzerne, trèfle) sont extrêmement sensibles aux acides pyridiniques.
- Les répercussions sur le rendement des espèces sensibles sont importantes.



Photo 13-37 – Feuille trifoliée de soya marbrée et allongée à la suite d'une application de 2,4-D; les nouvelles pousses ne sont généralement pas touchées



Photo 13-38 – Dommages causés par le 2,4-D, qui se distinguent de ceux causés par le dicamba par l'élongation du pétiole de la feuille trifoliée, le gonflement des tissus foliaires et le rétrécissement des feuilles trifoliées sur leur largeur



Photo 13-39 – Courbure des feuilles de soya causée par un embrun de dicamba (p. ex. XtendiMax)



Photo 13-40 – Feuilles de maïs enroulées en feuilles d'oignon après l'application d'un régulateur de croissance, le dicamba (p. ex. Banvel II)



Photo 13-41 – Fusion de racines échasses causée par un régulateur de croissance; le risque de dommage est plus élevé si l'on applique une forte concentration après le stade de croissance indiqué sur l'étiquette, surtout dans le cas d'hybrides sensibles



Photo 13-42 – Fragilité et versement causés par l'application de MCPA au stade de 7 à 8 feuilles du maïs, soit bien après celui indiqué sur l'étiquette (stade 4 feuilles)



Photo 13-43 – Torsion et déformation des épis de blé d'automne à la suite d'une application de 2,4-D en automne, avant le semis



Photo 13-44 – Conséquences d’embruns de glyphosate sur le soya non tolérant : jaunissement des jeunes tissus foliaires, signe caractéristique des dommages causés par ce produit

Herbicides inhibiteurs de synthèse des acides aminés aromatiques (groupe 9)

(action systémique – mobilité dans le phloème)

(p. ex. Roundup, WeatherMAX, Touchdown Total)

- Le feuillage commence par jaunir (les jeunes feuilles en premier), puis vire au brun et meurt dans les 10 à 14 jours qui suivent le traitement.
- Les embruns peuvent faire rougir les tissus foliaires des plants de maïs.
- Les répercussions sur le rendement sont importantes.
- Il est extrêmement rare que les hybrides de maïs tolérants au glyphosate soient endommagés, mais c’est tout de même possible si l’on applique une concentration très élevée. Les dommages causent l’apparition de zones transparentes en forme de « V » au pourtour nécrosé (voir photo 13-45).

Herbicides inhibiteurs de pigments (herbicides décolorants), triazoles (groupe 11)

(p. ex. Amitrol 240)

Inhibiteurs de biosynthèse des caroténoïdes (groupe 13)

(p. ex. Command)

Inhibiteurs de l’enzyme p-hydroxyphénylpyruvate dioxygénase (HPPD) (groupe 27)

(p. ex. Callisto, Converge, Impact, Infinity)

- Les dommages se manifestent d’abord par la décoloration des nouveaux tissus foliaires, puis par leur jaunissement et brunissement (nécrose) progressifs.
- Les répercussions sur le rendement sont généralement négligeables, mais peuvent être considérables si les dommages sont importants (voir photos 13-46, 13-47 et 13-48).



Photo 13-45 – Dommages causés par l’application d’une très forte concentration de glyphosate sur du maïs tolérant



Photo 13-46 – Réaction du soya à des embruns de mésotrione (p. ex. Callisto) : décoloration caractéristique des nouveaux tissus foliaires, qui jauniront puis bruniront



Photo 13-47 – Décoloration de tissus foliaires d’une céréale de printemps causée par la rémanence du clomazone (p. ex. Command); les tissus foliaires passent du blanc au mauve rosé puis au brun et ne se remettent généralement pas complètement



Photo 13-48 – Blanchiment du maïs causé par le chevauchement des pulvérisations et l'utilisation d'un adjuvant qui n'était pas recommandé sur l'étiquette

WALL et SMITH. *Canadian Journal of Plant Science*, 2000, vol. 80, n° 2, p. 411 à 447.

MILBERG et HALLGREN. *Field Crops Research*, 2004, vol. 86, p. 199 à 209.

MARTIN et coll. *Critical Period of Weed Control in Spring Canola*, 2001, vol. 49, p. 325 à 333.

VARGA et coll. *Cereal Research Communications*, 2006, vol. 34, n° 1, p. 701 à 704.

Bibliographie

¹ LIEBMAN, M. et T. OHNO. *Crop rotation and legume residue effects on weed emergence and growth: applications for weed management*, 1998, dans BUHLER, D.D., J.L. HATFIELD et B.A. STEWART (dir.). *Integrated Weed and Soil Management*, Ann Arbor Press, Chelsea (Michigan), États-Unis, p. 181 à 221.

² O'REILLY, K.A., D.E. ROBINSON, L.L. VAN EERD et R.J. VYN. *Weed populations, sweet corn yield, and economics following cover crops*, « Weed Technology », 2001, vol. 25, p. 374 à 384.

³ BLACKSHAW, R.E., L.J. MOLNAR et H.H. JANZEN. *Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat*, « Weed Science », 2004, vol. 52, p. 614 à 622.

⁴ CREECH, J. E., J. FAGHIHI, V.R. FERRIS, W.G. JOHNSON et A. WESTPHAL. *Influence of intraspecific henbit (Lamium amplexicaule) and purple deadnettle (Lamium purpureum) competition on soybean cyst nematode (Heterodera glycines) reproduction*, « Weed Science », 2007, vol. 55, p. 665 à 670.

⁵ La figure 13-2 – *Pertes de rendement attribuables à la concurrence des mauvaises herbes dans les grandes cultures* est adaptée des sources suivantes :

UNIVERSITÉ DE GUELPH. Weed Science Research Program, département de phytotechnie, 1986 à 2008.

14. Lutte intégrée contre les ravageurs et protection de leurs ennemis naturels et des pollinisateurs

Lutte intégrée contre les ravageurs

La lutte intégrée contre les ravageurs est une approche qui comprend toutes les pratiques et les technologies disponibles visant à maintenir les populations de ravageurs sous les seuils de nuisibilité économique tout en ayant le moins d'effets possible sur l'environnement. Avec cette approche, on emploie uniquement des traitements chimiques lorsque ces seuils sont atteints et qu'aucune autre méthode de lutte contre les ravageurs n'a donné de bons résultats. Cette approche débute avant tout par la collecte d'information sur les ravageurs en question, leur cycle biologique et leur incidence sur la culture, de façon à ce que l'on puisse effectuer le dépistage et employer des mesures préventives et culturales au bon moment. Les producteurs intègrent souvent de telles mesures culturales à leurs pratiques sans même savoir qu'elles constituent des mesures de lutte contre les ravageurs (p. ex. rotation des cultures, choix du cultivar, travail du sol et récolte précoce pour réduire les problèmes de maladies et de qualité).

Voici les grands principes de lutte contre les ravageurs.

1. Connaissance et identification des ravageurs, des maladies et des mauvaises herbes

- Connaître les principaux ravageurs pour chaque culture et savoir comment les reconnaître, de même que les dommages qu'ils causent.
- Connaître les stades de croissance des cultures et lesquels sont les plus à risque.
- Connaître les conditions météorologiques favorables à la prolifération des ravageurs.
- Connaître les effets de chaque ravageur sur les cultures.
- Savoir que la présence de ravageurs n'a pas nécessairement de conséquences économiques néfastes.
- Connaître le cycle biologique des ravageurs et les stades auxquels ils sont dommageables.
- Savoir reconnaître les ennemis naturels de chaque espèce de ravageurs de même que leur présence.

2. Mesures préventives (lutte culturale)

- Procéder à la rotation des cultures pour que celles à risque ne soient pas au même endroit chaque année, ce qui contribue à briser le cycle biologique de certains ravageurs.
- Préparer le champ de manière à atténuer les risques (lutte contre les mauvaises herbes appropriée avant le semis ou le travail du sol afin d'enlever les résidus de culture pouvant favoriser certaines maladies).
- Planter des semences certifiées et garder le matériel agricole exempt de terre et de débris végétaux.
- Nettoyer les cellules de stockage avant d'entreposer les grains.
- Choisir des cultivars résistant aux maladies et ayant un bon rendement dans des conditions de stress.
- Adapter la période de semis de façon à éviter que les ravageurs n'endommagent les cultures.
- Planter les semences dans de bonnes conditions de croissance pour assurer la réussite de l'établissement des cultures.
- Gérer les éléments nutritifs pour maintenir une bonne qualité de sol et assurer la santé des plants sans entraîner de risques supplémentaires pour l'environnement ni favoriser la prolifération de certains ravageurs.
- Favoriser la biodiversité par l'établissement de l'habitat naturel des ennemis naturels des ravageurs (p. ex. cultures couvre-sol, bandes tampons).

3. Évaluation des populations de ravageurs dans les champs

- Comprendre les modèles de prévision et s'en servir pour connaître le niveau de risque.
- Inspecter les champs régulièrement et en temps opportun pour déceler la présence de ravageurs et de leurs ennemis naturels.
- Installer des pièges et utiliser des outils de surveillance appropriés au besoin (p. ex. filets fauchoirs, loupes, guides de dépistage et d'identification).
- Connaître la différence entre « seuil de dommage économique » et « seuil de nuisibilité économique », et savoir quand une intervention est requise.

- Repérer les autres ravageurs qui pourraient devenir problématiques après l'application d'un traitement chimique et en l'absence d'ennemis naturels.
- Demander de l'aide pour le diagnostic ou l'identification, au besoin.

4. Lutte contre les ravageurs par l'application des méthodes les moins destructives

- Lutte culturale : Retirer les mauvaises herbes ayant résisté aux traitements, maintenir la santé du sol, planter des hybrides de maïs Bt et du maïs servant de refuge, effectuer la récolte au bon moment et employer d'autres mesures préventives.
- Lutte biologique : Attirer les prédateurs, les parasitoïdes et les agents pathogènes qui s'attaquent aux ravageurs et favoriser leur action.
- Lutte chimique : Appliquer des pesticides uniquement lorsque les seuils sont atteints, choisir les produits les moins nocifs pour les ennemis naturels et les pollinisateurs, porter attention aux délais de non-retour et de non-traitement avant récolte, et utiliser en alternance des produits et technologies appartenant à différents groupes chimiques pour réduire le risque d'apparition de résistances.

5. Évaluation et adaptation des mesures

- Retourner dans le champ après l'application des programmes de lutte pour évaluer leur réussite.
- Vérifier si d'autres ravageurs sont présents ou si le ravageur cible est réapparu.
- Surveiller l'apparition de résistances.
- Tenir des registres des observations pour chaque année, qui serviront de documents de référence lorsqu'une culture à risque est plantée de nouveau ou que des ravageurs posent problème.

Utilisation et protection des ennemis naturels

Technique de gestion agricole favorisant la présence d'ennemis naturels et visant l'élimination des infestations de ravageurs, la « lutte biologique de conservation » suscite de plus en plus d'intérêt. Bien que de nombreuses recherches en la matière soient toujours nécessaires, on a constaté que certaines pratiques contribuent à augmenter la présence d'ennemis naturels. Il est bien connu que

la monoculture limite généralement la diversité d'ennemis naturels et fait donc augmenter le nombre de ravageurs. Les cultures vivaces comme les cultures fourragères mixtes ont tendance à attirer une plus grande variété d'ennemis naturels que les cultures annuelles. Par conséquent, l'augmentation de la biodiversité des champs, en particulier des espèces vivaces comme les arbres et arbustes qui les bordent, favorise la présence d'ennemis naturels. Ces bandes tampons ou habitats naturels servent d'abris aux prédateurs et aux parasitoïdes, leur fournissent des sources de pollen et de nectar et leur offrent une certaine protection contre les pesticides épandus dans les champs adjacents. Cependant, le choix des espèces végétales qui s'y trouvent est important, car elles ne doivent pas attirer également des ravageurs. De plus, ces bandes tampons sont à éviter dans les cultures de consommation humaine, car les virus qui pourraient s'y trouver risquent d'être transportés jusqu'aux cultures par des ravageurs (p. ex. pucerons) et de nuire à leur qualité. La culture intercalaire ou culture en bandes alternantes est également prometteuse, mais nécessite une connaissance approfondie des antécédents d'infestation de chaque champ pour éviter que les cultures-abris ne causent de nouveaux problèmes de ravageurs.

Le travail du sol peut avoir une incidence négative sur les ennemis naturels puisque de nombreuses espèces utilisent les résidus de culture comme abris ou habitats d'hivernage. L'adoption du semis direct ou d'une méthode de travail réduit du sol doit être bien planifiée puisqu'elle peut augmenter le risque de présence de ravageurs terricoles et de maladies, selon le type de sol et la rotation des cultures.

Autre aspect important de la protection des ennemis naturels : l'utilisation sélective de pesticides, c'est-à-dire l'épandage de pesticides uniquement lorsque les infestations ont atteint le seuil d'intervention, l'utilisation d'insecticides appartenant à des groupes chimiques moins nocifs pour les ennemis naturels et l'application de traitements localisés dans les endroits infestés. Il a été démontré que l'utilisation fréquente de fongicides foliaires réduit la présence de champignons pathogènes (qui s'attaquent aux insectes); il convient donc de les utiliser uniquement lorsque c'est nécessaire. De plus, le traitement des semences avec des insecticides systémiques peut nuire aux ennemis naturels de deux manières :

- Indirectement, en faisant en sorte que, année après année, il n'y ait pas suffisamment de ravageurs dans les champs pour que les ennemis naturels se nourrissent.
- Directement, en tuant les ennemis naturels qui se nourrissent de ravageurs contaminés par les insecticides.

Les conditions météorologiques peuvent également avoir de grandes répercussions sur les ennemis naturels. Les hivers rudes ont généralement une forte incidence sur certaines espèces et peuvent retarder leur réaction aux infestations printanières. Le temps frais et pluvieux peut également nuire davantage aux ennemis naturels qu'aux ravageurs, alors que le temps chaud et humide, en particulier à la fermeture du couvert, est favorable au développement des champignons pathogènes. Le temps chaud et sec nuit à bon nombre d'ennemis naturels et augmente la vulnérabilité des cultures au stress causé par les ravageurs et les maladies.

La simple connaissance de certains des principaux ennemis naturels des ravageurs permet d'en reconnaître l'importance et de déterminer si et quand la lutte chimique est nécessaire. Par exemple, les ennemis naturels du puceron du soya ont démontré qu'ils peuvent en maintenir la population sous le seuil d'intervention. Voici une description de certains des ennemis naturels les plus courants dans les grandes cultures.

Pour obtenir des renseignements détaillés sur la réglementation des néonicotinoïdes en Ontario et sur la Stratégie pour la santé des pollinisateurs, voir l'annexe G.

Prédateurs

CARABES

(*Pterostichus melanarius*, *Carabus serratus*, espèces d'*Agonum*, de *Bembidion* et autres)

Description : Prédateurs terricoles. Les adultes sont gros (maximum de 25 mm ou de 1 po), plats et oblongs, généralement d'un noir profond ou bruns, mais certains ont des ailes de différentes couleurs (voir photo 14-1). Leur tête est plus étroite que leur thorax, et ils ont de très grandes mandibules (mâchoires). Les adultes vivent de 1 à 4 ans. La couleur des larves varie de beige à noir, et elles ont de très grandes mandibules sur la tête et une paire de cerques (qui ressemblent à des queues) à l'extrémité de leur abdomen.



Photo 14-1 – Carabe adulte

Importance : Les adultes et les larves jouent un rôle important dans la lutte biologique puisqu'ils attaquent tous les insectes ou ravageurs qu'ils rencontrent à la surface du sol. Les carabes ne volent que très rarement. Certains se nourrissent également de graines de mauvaises herbes qu'ils trouvent dans le sol (herbe à poux, chénopode blanc, amarante et sétaires glauques). Ils sont favorisés par les pratiques de conservation des sols et réduisent le recours aux pesticides. Ils se nourrissent principalement de limaces, de chrysomèles des racines du maïs, de chenilles (légionnaires, ver-gris), d'asticots et de vers fil-de-fer, entre autres.

COCCINELLES

(*Coleomegilla maculata*, *Coccinella septempunctata*, *Harmonia axyridis*, *Propylaea quatuordecimpunctata* et autres espèces)

Description : Prédateurs vivant sur les plantes. Les adultes mesurent de 1 à 10 mm (maximum de 0,4 po) et ont généralement une forme ovale, quoique certains soient oblongs. Ils peuvent avoir différentes couleurs (rouge, rose, jaune, orange) et sont habituellement tachetés (voir photo 14-2). Les larves mesurent de 8 à 11 mm (0,4 po) et ressemblent vaguement à de minuscules alligators en raison des bosses sur leur dos. Elles peuvent être de différentes couleurs, mais sont le plus souvent noires ou gris foncé avec des taches orange, rouges ou jaunes (voir photo 14-3).



Photo 14-2 – Coccinelle se nourrissant d'un charançon postiche de la luzerne



Photo 14-3 – Les larves de coccinelles ressemblent vaguement à de minuscules alligators

Importance : Les adultes et les larves comptent parmi les principaux prédateurs de nombreuses espèces de ravageurs, notamment le puceron du soya. Bon nombre de coccinelles passent l'hiver dans les maisons ou dans des zones abritées comme des boisés ou des amas de feuilles mortes.

STAPHYLINS

(*Aleochara bilineata*, *Philonthus fuscipennis* et autres espèces)

Description : Habituellement des prédateurs terricoles. Les adultes peuvent atteindre 35 mm (1,4 po). La plupart ont de très petites ailes ne recouvrant qu'une petite partie de leur abdomen, ce qui leur donne une grande souplesse; ils peuvent d'ailleurs courber l'extrémité de leur abdomen, comme un scorpion, lorsqu'ils se font déranger ou qu'ils courent. Les

larves ressemblent un peu aux adultes, mais en plus petit (maximum de 25 mm ou de 1 po) et sans ailes. Comme elles ont de grandes mandibules à l'avant de la tête, on les confond souvent avec des larves de carabes.

Importance : Les larves et les adultes sont des prédateurs et des charognards qui se nourrissent principalement d'asticots, d'acariens, de petites chenilles, etc. On les trouve dans presque tous les types d'habitats, mais ils aiment particulièrement les champs en semis direct et les épaisses couches de résidus.

ANTHOCORIDES

(*Orius insidiosus* et autres)

Description : Prédateurs vivant sur les plantes. En forme de goutte, les adultes sont très petits (maximum de 5 mm ou de 0,2 po) et ont sur leur dos des motifs noirs et blancs rappelant un drapeau de pirate (voir photo 14-4). Les nymphes ont une taille et une forme similaires à celles des adultes, mais sans ailes, et ont une couleur allant de jaune-orange à rouge.



Photo 14-4 – Anthocoride adulte

Importance : Les anthocorides se nourrissent de ravageurs (pucerons, acariens et petites chenilles) et de nectar. Ils comptent parmi les principaux prédateurs du puceron du soya. Comme ils sont très sensibles aux insecticides, il est recommandé d'en éviter l'utilisation le plus possible.

SYRPHES

(*Allograpta obliqua*, *Toxomerus germinatus*, *T. marginatus* et autres espèces)

Description : Prédateurs vivant sur les plantes. Les adultes de nombreuses espèces ressemblent beaucoup à des abeilles en raison de leurs rayures jaunes et noires, mais, comme toutes les mouches, ils n'ont que deux ailes, alors que les abeilles en ont quatre (voir

photo 14-5). Il n'est pas rare d'apercevoir les adultes volant sur place au-dessus de fleurs et de plantes de différentes espèces pendant qu'ils se nourrissent de nectar et de pollen. Les larves sont des asticots au corps fuselé, sans tête ni pattes, d'un vert ou jaune plus ou moins transparent (voir photo 14-6), qui rampent sur les feuilles et se nourrissent des pucerons ou des autres petites proies qu'elles rencontrent.



Photo 14-5 – Syrphe



Photo 14-6 – Larve de syrphe

Importance : Les syrphes adultes sont de très importants pollinisateurs. Les larves jouent un rôle essentiel dans la lutte biologique contre les pucerons, les thrips et les acariens; elles comptent d'ailleurs parmi les principaux prédateurs du puceron du soja.

CANTHARIDES

(*Cantharis rufa*, *Ancistronycha bilineata* et autres espèces)

Description : Les adultes se trouvent habituellement sur les plantes, et les larves, à la surface du sol. D'une couleur variant du rouge au orange ou brun-chamois, les adultes peuvent atteindre 17 mm (0,7 po) et ont une forme allongée, presque rectangulaire, et légèrement plate. Leurs ailes sont souvent plus courtes que leur abdomen; elles ne recouvrent donc pas tous leurs segments abdominaux. Les larves ont une couleur foncée, de très grandes mandibules clairement visibles et un corps boudiné et velu. Elles ressemblent aux larves de staphylins, mais sans cerques.

Importance : Les adultes se nourrissent principalement de pollen, mais certains sont des prédateurs. Les larves se nourrissent de limaces et d'insectes terricoles.

Vertébrés

Bien des vertébrés, comme des oiseaux (p. ex. étourneaux sansonnets, merles noirs) et des mammifères (moufettes et rats laveurs, en particulier), sont omnivores et peuvent être considérés comme des ennemis naturels des ravageurs. Malheureusement, certains d'entre eux endommagent les cultures lorsqu'ils creusent le sol pour trouver des asticots ou ouvrent les épis de maïs avec leurs griffes pour atteindre les larves de ver-gris occidental du haricot. Leur présence est parfois un signe d'infestation; il n'est pas rare qu'une moufette creuse une tranchée le long des rangs d'un champ de soja infesté d'asticots. De même, les oiseaux qui piquent dans un champ de luzerne ou de blé sont généralement un bon indicateur de la présence de chenilles ravageuses (p. ex. larves de charançons postiches de la luzerne, légionnaires); il convient alors d'inspecter le champ pour déterminer si une intervention est requise.

Parasitoïdes

Les parasitoïdes sont des organismes qui pondent leurs œufs sur ou dans d'autres organismes. Les larves se nourrissent de leur hôte et en émergent une fois adulte pour recommencer ce cycle.

DIPTÈRES (MOUCHES)**(Tachinidae et autres familles)**

Description : Ressemblant généralement à des mouches domestiques ordinaires, les tachinaires adultes sont gris, noirs ou rayés, et de nombreuses espèces ont des soies sur l'abdomen. Leurs œufs blancs peu discrets sont faciles à voir puisque les adultes les pondent directement sur le dos de l'insecte-hôte. Lorsqu'ils éclosent, les minuscules larves se creusent un chemin pour dévorer leur hôte de l'intérieur (voir photo 14-7).

**Photo 14-7** – Légionnaire et parasites

Importance : Les tachinaires jouent un rôle très important en tant que parasitoïdes de la légionnaire, mais ils peuvent également parasiter d'autres ravageurs (p. ex. ver-gris noir, pyrale du maïs, fausse-arpenreuse du chou, sphinx de la tomate, noctuelle de la pomme de terre). D'ailleurs, afin de réduire l'utilisation inutile d'insecticides, qui nuisent aux tachinaires, les seuils d'intervention relatifs à la légionnaire uniponctuée sont basés sur le nombre de larves non parasitées lorsque le taux de parasitisme est élevé.

HYMÉNOPTÈRES (GUÊPES)**(Aphelinidae, Braconidae, Campopleginae, Ichneumonidae et autres familles)**

Description : Mesurant rarement plus de 15 mm (0,6 po), les adultes sont généralement d'une couleur foncée, mais certains sont d'un orange ou d'un rouge vif. Les guêpes pondent leurs œufs sur ou dans un hôte (voir photo 14-8). Lorsqu'ils éclosent, les larves dévorent leur hôte de l'intérieur, ce qui entraîne sa mort.

**Photo 14-8** – Puceron et guêpe parasite

Importance : Certaines guêpes s'attaquent à différents ravageurs, mais la plupart sont très spécialisées et adaptées pour parasiter une espèce précise à un certain stade. Les guêpes jouent un rôle essentiel dans la lutte biologique contre de nombreuses espèces de ravageurs, notamment le charançon postiche de la luzerne, la pyrale du maïs et le puceron du soya. Il existe de nombreux cas classiques de lutte biologique où une espèce de guêpe parasite a été introduite en Amérique du Nord pour combattre les ravageurs en provenance de son pays d'origine. D'ailleurs, deux braconidés (*Microctonus aethiopoides* et *M. colesi*) sont considérés comme les plus efficaces agents de lutte biologique contre le charançon postiche de la luzerne en Ontario et dans l'Est de l'Amérique du Nord depuis leur introduction dans les années 1960 et 1970.

Agents pathogènes

Ces organismes (champignons, nématodes, bactéries et virus) pénètrent à l'intérieur des insectes pour les infecter et les tuer rapidement dans des conditions environnementales optimales.

CHAMPIGNONS**(Entomophthora muscae, Beauveria bassiana et autres espèces)**

Plusieurs champignons pathogènes peuvent infecter les insectes nuisibles. Ils sont plus efficaces lorsque ces insectes sont nombreux, car le manque d'espace et les contacts fréquents favorisent la sporulation. Les champignons ont généralement besoin de temps

chaud et humide pour se propager sous le feuillage. Les champignons pathogènes des espèces *Pandora* jouent un rôle très important dans la lutte contre le puceron du soya, en particulier à la fin de la saison, lorsque celui-ci entame sa migration vers le nerprun (voir photo 14-9) : les pucerons infectés répandent l'agent pathogène parmi les pucerons colonisateurs, réduisant ainsi leur chance de survie hivernale. Malheureusement, certaines études ont démontré que l'application foliaire de fongicides peut avoir des effets négatifs sur les champignons pathogènes, ce qui augmente le risque d'infestation.



Photo 14-9 – Prolifération fongique

BACTÉRIES

(*Bacillus thuringiensis*, *B. cereus*, *Burkholderia cepacia* et autres espèces)

Les bactéries qui s'attaquent aux insectes se trouvent naturellement dans le sol et servent à lutter contre un groupe précis d'insectes. La plus commune, *Bacillus thuringiensis* (Bt), produit des cristaux qui, après leur ingestion, se transforment en molécules protéiques toxiques détruisant les parois de l'estomac. Les insectes cessent de se nourrir à peine quelques heures après l'ingestion et meurent généralement de deux à cinq jours plus tard. Les produits foliaires à base de Bt sont sécuritaires pour les systèmes de production biologique. Le maïs transgénique Bt a été modifié afin qu'il fabrique les protéines insecticides produites naturellement par la bactérie. Ces hybrides de maïs Bt contiennent soit une souche de Bt s'attaquant à la pyrale du maïs, soit une souche s'attaquant à la chrysomèle des racines du maïs, soit les deux.

NÉMATODES

(*Steinernema feltiae* et autres espèces)

Les nématodes parasites sont des vers microscopiques naturellement présents qui pénètrent dans un hôte pour y pondre leurs œufs, ce qui entraîne la mort de ce dernier. Les nématodes ont besoin de conditions du sol particulières pour proliférer, ce qui limite parfois leur utilité. Comme ils survivent mieux dans des sols chauds et humides, il faut souvent irriguer la terre pour maintenir le bon taux d'humidité. Les nématodes sont devenus une méthode de lutte biologique contre les asticots couramment utilisée pour l'entretien des pelouses.

VIRUS

Les virus mortels pour les insectes se trouvent naturellement à la surface du sol et des plantes. Après l'ingestion, l'insecte infecté grimpe généralement tout en haut d'une plante, où il meurt et se désintègre, contribuant ainsi à la propagation du virus. Les baculovirus sont ceux qui infectent le plus couramment les insectes, en particulier les chenilles. Les légionnaires que l'on retrouve mortes, collées à un épi de blé ou à une autre plante, ont été tuées par un virus (voir photo 14-10).



Photo 14-10 – Légionnaires tuées par un virus

Protection des pollinisateurs et des insectes utiles

En Ontario, les abeilles mellifères, les abeilles indigènes et les autres insectes pollinisateurs jouent un rôle important pour bien des cultures. Les insectes utiles contribuent grandement à maintenir les populations de ravageurs sous les seuils d'intervention. La protection des pollinisateurs et des insectes utiles nécessite donc une utilisation réfléchie des insecticides.

Il convient de suivre les pratiques de lutte intégrée contre les ravageurs et d'employer des insecticides uniquement lorsque c'est nécessaire. Cette approche peut comprendre des méthodes culturales visant à repousser les ravageurs par la détermination précise du problème et des facteurs de risque.

- Inspecter les champs pour déterminer si la population de ravageurs excède les seuils ou si les champs sont très à risque avant de décider d'utiliser un traitement insecticide des semences, d'appliquer des insecticides dans la raie de semis ou d'employer des insecticides foliaires. Utiliser uniquement des insecticides lorsque c'est nécessaire.
- Si un traitement insecticide est justifié, utiliser la plus petite dose efficace.
- Utiliser des insecticides moins toxiques pour les abeilles et les autres insectes utiles dans la mesure du possible.

Il faut également réduire le risque de dérive et choisir soigneusement le moment de l'application.

- Appliquer les insecticides à un moment où les abeilles sont peu exposées (p. ex. après la floraison).
 - Les traitements de jour sont les plus dangereux pour les abeilles, car c'est à ce moment qu'elles butinent.
 - Les traitements de soir sont les plus sécuritaires, à moins qu'il y ait un cas de forte inversion de température.
 - Dans des conditions normales, les insecticides appliqués après 20 h ont le temps de sécher avant que les abeilles n'y soient exposées le lendemain.
 - Les insecticides peuvent aussi être appliqués de manière sécuritaire tôt le matin, bien avant 7 h.
 - Les abeilles mellifères et la plupart des autres insectes pollinisateurs ne butinent habituellement pas en dessous de 13 °C, mais les bourdons le font.
- Ne pas appliquer d'insecticides sur les cultures en floraison où les abeilles butinent.
- Pour éviter la dérive vers les ruches à proximité, ne pas appliquer d'insecticides les jours venteux.
- Prendre des mesures pour éviter que la poussière contaminée par des insecticides produite par les semoirs à pression négative n'atteigne les plantes et les arbres en floraison qui se trouvent à l'intérieur ou à proximité du champ.

- Éviter que les insecticides et la poussière contaminée par ceux-ci n'atteignent les mauvaises herbes (pissenlit) et les cultures couvre-sol (p. ex. trèfle) en floraison qui se trouvent à l'intérieur ou à proximité du champ, car les abeilles et les autres pollinisateurs pourraient s'y empoisonner.
- Si possible, couper les cultures couvre-sol ou les plantes en floraison qui se trouvent à l'intérieur ou sur le périmètre du champ avant d'appliquer des insecticides pour protéger les abeilles. Lutter contre les mauvaises herbes en floraison telles que les pissenlits avant d'épandre des insecticides ou de planter des semences traitées avec des insecticides.
- Consulter le blogue *Field Crop News* (<http://fieldcropnews.com/>) pour obtenir des renseignements à jour sur la réduction du transport des poussières produites par les semoirs.
- Les insecticides systémiques peuvent également être très dangereux pour les abeilles, qui risquent d'être exposées aux résidus se trouvant sur les feuilles et dans les fleurs, le pollen, le nectar et les eaux de surface.
- Réduire ou contrôler les poussières contenant de l'insecticide produites par les semoirs à pression négative, car des études indiquent que leur utilisation pose un risque d'exposition considérable pour les pollinisateurs.
 - Suivre les instructions des fabricants des semoirs et se tenir au fait des nouvelles consignes d'utilisation.
 - Nettoyer et entretenir les semoirs régulièrement, y compris le boîtier du ventilateur et la trémie des semoirs pneumatiques (p. ex. utiliser un aspirateur pour enlever les poussières qui pourraient s'y trouver).
 - S'il y a lieu, utiliser des déflecteurs pour diriger la poussière vers le sol et ainsi en réduire la dérive vers les plantes et les arbres en floraison.

Pour assurer la protection des abeilles mellifères, il est important que les producteurs, les entrepreneurs, les personnes chargées de l'épandage et les apiculteurs communiquent et collaborent ensemble. Avant l'application d'insecticides (p. ex. traitement des semences, insecticides foliaires), il faut aviser tous les apiculteurs se trouvant à cinq kilomètres et moins du champ afin qu'ils protègent leurs ruches temporairement ou les placent – ou déplacent, si

possible – à des endroits stratégiques. Les apiculteurs doivent également indiquer aux producteurs où se trouvent les ruches par rapport à leurs champs pour que ces derniers puissent bien les informer des applications d'insecticides.

Les coordonnées des associations d'apiculteurs de la province figurent sur le site Web de l'Ontario Beekeepers' Association, au <http://www.ontariobee.com/community/local-beekeepers-associations>.

Par ailleurs, des sites Web et des applications pour téléphones intelligents ont été développés pour faciliter la communication. Par exemple, CropLife et le Conseil canadien du miel ont développé BeeConnected, une plateforme de communication bilatérale au sujet de l'emplacement des ruches et des activités de protection des cultures. Cette application permet aux apiculteurs, aux producteurs et aux entrepreneurs inscrits de communiquer au moyen d'un système de messagerie interne. Pour en savoir plus, visiter le www.beeconnected.ca.

Renseignements connexes

Des renseignements supplémentaires, notamment sur les pratiques exemplaires de gestion, figurent à la page « Protection des insectes pollinisateurs » du site Web de Santé Canada, à l'adresse santecanada.gc.ca/pollinisateurs.

D'autres renseignements sur la lutte intégrée contre les ravageurs se trouvent sur le site Web du MAAARO, à l'adresse ontario.ca/cultures.

15. Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures

La publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, complète la publication 811F. On y trouve de l'information sur les méthodes de lutte intégrée contre les ravageurs ainsi que sur les produits à utiliser pour combattre les insectes et animaux nuisibles et les maladies. Le site du MAAARO est accessible à l'adresse ontario.ca/cultures.

Plusieurs ennemis naturels contribuent à la lutte contre les ravageurs. D'ailleurs, de plus amples renseignements sur les principaux ennemis naturels et sur la façon de favoriser leur présence et de les protéger figurent au chapitre 14, *Lutte intégrée contre les ravageurs et protection de leurs ennemis naturels et des pollinisateurs*.

Ravageurs terricoles des grandes cultures

Plusieurs ravageurs se nourrissent sous terre et sont fortement associés à certains types de sol, à la rotation des cultures et aux stratégies de lutte contre les mauvaises herbes et de gestion des éléments nutritifs. Les dommages surviennent lorsque les plantes-hôtes sont plantées dans les bonnes conditions durant le stade larvaire des ravageurs terricoles des grandes cultures, qui sont présentés dans ce chapitre. Sous le nom de chacun figurent leurs principales plantes-hôtes, leur description, leur cycle biologique et les dommages qu'ils causent. De plus, les techniques de dépistage, les stratégies de lutte et les seuils d'intervention correspondants sont indiqués séparément dans chaque section.

ASTICOTS

(Hanneton européen, hanneton commun et scarabée japonais)

Cultures à risque : maïs, soya, fourrages et céréales d'automne

Plusieurs types d'asticots s'attaquent aux grandes cultures. Les asticots du hanneton européen et du hanneton commun sont ceux qui causent le plus de problèmes en Ontario, mais les asticots du scarabée japonais sont aussi à surveiller. Il faut bien identifier les espèces d'asticots à combattre puisque les stratégies

de lutte doivent être adaptées au cycle biologique de chaque espèce.

Description : Les asticots sont des larves blanches en forme de « C », avec une tête brun-orange et un postérieur noir (voir photos 15-1 et 15-2). Lorsqu'ils se déplacent, leur postérieur traîne sur le sol. Pour identifier correctement l'espèce, il faut examiner les soies de l'écusson anal de la larve à l'aide d'une loupe. Ces soies sont situées sous la larve, sur son dernier segment abdominal. Chaque espèce a un écusson anal de forme différente. L'identification de l'espèce permettra de déterminer à quel moment elle se nourrit, combien de temps elle demeure dans le sol et à quel moment on pourra la combattre le plus efficacement.



Photo 15-1 – Aspect général d'un asticot
Source : A. Schaafsma, Université de Guelph, campus de Ridgetown.



Photo 15-2 – Asticot se nourrissant d'une plantule de maïs
Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.



Photo 15-3 –
Aperçu



Photo 15-4 –
Aperçu



Photo 15-5 –
Aperçu

La description de chaque espèce comprend des renseignements sur son apparence physique, son cycle biologique et les dommages qu'elle cause.

Dommages : Les asticots se nourrissent des racines fibreuses des plants, à une profondeur de 3 à 5 cm (1 à 2 po) de la surface. Les larves coupent les racines de sorte que le plant ne peut atteindre son plein développement et finit par dépérir (voir photo 15-2). Les infestations importantes se traduisent par un faible taux de levée des plants et la mort de ceux-ci. Les dommages aux cultures dépendent de la période des semis et de la levée des plants par rapport aux besoins alimentaires des larves. En reportant le semis après le stade larvaire de l'espèce en question, on pourra protéger les cultures de ses attaques. On évitera aussi les dommages connexes causés par divers prédateurs, comme les moufettes et les rats laveurs, qui creusent le sol pour y trouver les asticots dont ils se nourrissent, bien que ces dommages aient rarement une incidence économique.

Facteurs de risque : Les champs ayant des buttes sableuses ou limoneuses et qui sont situés près d'une zone boisée sont des lieux de ponte privilégiés. Ceux

qui suivent une sole de gazon ou des cultures de soya, de luzerne, de céréale fourragère ou de pomme de terre sont plus à risque. Les cultures sensibles adjacentes à des pâturages, à des gazonnières, à des parcs et à des terrains de golf sont particulièrement menacées. Une description du cycle biologique et de la période d'alimentation des principaux asticots se trouve à la figure 15-1.

Technique de dépistage : Le meilleur moment pour dépister les asticots est à l'automne, mais il est également possible de le faire au printemps avant ou après le semis. La température du sol et le cycle biologique des asticots déterminent à quel moment chaque espèce se nourrit à la surface du sol (voir la section *Cycle biologique* dans la description de chaque espèce d'asticots pour savoir à quel moment effectuer le dépistage). Il convient de prêter davantage attention aux buttes sableuses, aux endroits près de zones boisées et aux zones ayant déjà présenté des marques d'infestation ou qui en présentent actuellement.

Pour pouvoir utiliser des semences de maïs ou de soya traitées aux néonicotinoïdes afin de lutter contre les asticots, il faut effectuer une évaluation parasitaire suivant les exigences de la réglementation sur les pesticides de catégorie 12, énoncées à l'annexe G.

Technique générale de dépistage sans lien avec les exigences relatives aux pesticides de catégorie 12 : À l'aide d'une pelle, on creuse un carré d'environ 30 cm² (1 pi²) qui fait environ 7,5 à 10 cm (3 à 4 po) de profondeur, dans au moins cinq zones distinctes

Insecte	Janv.-mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.-déc.
Hanneton européen	Hivernation des larves du 3 ^e stade larvaire	Alimentation et pupaison des larves du 3 ^e stade larvaire		Sortie des adultes, accouplement et ponte; absence d'alimentation		Alimentation des larves du 1 ^{er} stade larvaire	Alimentation des larves du 2 ^e stade larvaire	Alimentation des larves du 3 ^e stade larvaire	Hivernation des larves du 3 ^e stade larvaire
Hanneton commun	An 1	Hivernation des adultes dans le sol		Sortie des adultes, accouplement et ponte		Éclosion des œufs; alimentation des larves du 1 ^{er} stade larvaire	Alimentation des larves du 2 ^e stade larvaire		Hivernation des larves du 2 ^e stade larvaire
	An 2	Hivernation des larves du 2 ^e stade larvaire	Alimentation des larves du 2 ^e stade larvaire			Alimentation des larves du 3 ^e stade larvaire			Hivernation des larves du 3 ^e stade larvaire
	An 3	Hivernation des larves du 3 ^e stade larvaire	Alimentation des larves du 3 ^e stade larvaire						
Scarabée japonais	Hivernation des larves du 3 ^e stade larvaire		Alimentation des larves du 3 ^e stade larvaire		Sortie des adultes, accouplement et ponte	Alimentation des larves du 1 ^{er} stade larvaire	Alimentation des larves des 2 ^e et 3 ^e stades larvaires		Hivernation des larves du 3 ^e stade larvaire

Figure 15-1 – Cycles biologiques et périodes d'alimentation des principaux asticots (hanneton européen, hanneton commun et scarabée japonais); les zones ombrées indiquent les stades nuisibles

du champ. On ameublit le sol à la main de manière à briser les mottes, puis on compte le nombre d'asticots présents dans chaque échantillon. Si la culture a déjà levé, il faut chercher des trous dans le peuplement ou des plants flétris, puis déterrer les racines du plant en santé le plus près pour voir si des asticots sont en train de les manger.

Seuil d'intervention : Pour pouvoir utiliser des semences de maïs ou de soya traitées aux néonicotinoïdes, il faut trouver en moyenne deux asticots par point d'inspection. Cette moyenne est calculée sur cinq points d'inspection (voir annexe G). Si les populations sont élevées (au moins quatre larves par zone de 30 cm² ou de 1 pi²), il convient d'utiliser la dose supérieure de l'insecticide pour traiter les semences.

Pour les autres méthodes de lutte, la présence d'au moins deux larves par zone de 30 cm² (1 pi²) indique qu'une intervention est nécessaire.

Stratégies de lutte :

- Le travail du sol et le passage des disques (au moins trois passages) comptent parmi les méthodes de lutte culturale qui ramènent les asticots à la surface, où ils sont exposés aux éléments et aux ennemis naturels (p. ex. oiseaux, mouffettes, rats laveurs). Pour de bons résultats, le labour d'automne doit se faire avant que les asticots migrent sous la semelle de labour.
- Le semis doit se faire dans des conditions de sol idéales afin que la culture s'établisse rapidement et soit à même de tolérer des infestations légères ou moyennes.
- Il convient de traiter les semences avec un insecticide ou d'appliquer un insecticide dans la raie de semis. En Ontario, l'utilisation de néonicotinoïdes pour traiter les semences de maïs et de soya est restreinte et nécessite une évaluation parasitaire (voir annexe G).
- Il faut éviter de planter des cultures fourragères ou d'autres cultures sensibles dont les semences n'ont pas été traitées aux insecticides ou ne seront pas traitées après le semis dans les champs ayant des antécédents d'infestation. Si les populations d'asticots sont élevées ou que le hanneton commun est dans la deuxième année de son cycle (soit la principale période d'alimentation), les cultures fourragères sont également à éviter en faveur de cultures pouvant être traitées avec des insecticides radiculaires ou dont les semences ont été traitées avec des insecticides. Après la mise en œuvre de cette mesure, il faut réévaluer les populations d'asticots pour savoir si le champ pourra être ensemencé d'une culture fourragère l'année suivante.

- Un pâturage bien géré comportant un bon mélange de légumineuses et de graminées peut contribuer à freiner les pertes de densité de peuplement, puisque les asticots ont tendance à se nourrir davantage des racines des espèces de graminées. Une reprise des semis ou un sursemis pourrait être indiqué pendant quelques années pour compenser les pertes dues aux asticots.
- Certains prédateurs, parasitoïdes et agents pathogènes peuvent contribuer à réduire les populations d'asticots dans des conditions idéales, mais ils sont loin d'être aussi efficaces que les méthodes de lutte chimique.
- Aucun traitement de secours n'est actuellement disponible.

Espèces d'asticots nuisibles

HANNETON EUROPÉEN

(*Rhizotrogus majalis*)

Cultures à risque : maïs; cultures parfois à risque : cultures fourragères et céréales

Description : Les larves du hanneton européen se distinguent des autres asticots par le motif en « Y » que forment les soies de l'écusson anal (voir photo 15-3). Elles mesurent 4 mm (0,2 po) au premier stade larvaire et de 25 à 30 mm (1 à 1,2 po) au troisième. Les adultes sont des hannetons de taille moyenne, soit d'environ 13 mm (0,5 po). Ils sont brun-beige et ont une ligne brun foncé à la jonction des ailes. Le hanneton européen est plus petit que le hanneton commun, mais plus grand que le scarabée japonais.



Photo 15-3 – Écusson anal de l'asticot du hanneton européen

Source : A. Schaafsma, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Cycle biologique : Ce ravageur ne produit qu'une génération par an. Il hiverne à l'état de larve (asticot) dans le sol, sous la ligne de gel. En avril, les larves remontent vers la surface et se nourrissent des racines des plantes. Elles résistent davantage au froid que les autres espèces d'asticots, de sorte qu'elles peuvent commencer à se nourrir sitôt le sol dégelé, avant même la fonte complète des neiges. Leur dépistage doit se faire avant la mi-mai, moment où elles se transforment en pupes, mais peut également se faire pendant une bonne partie de l'automne (de la fin août à la mi-novembre), car elles demeurent près de la surface du sol jusqu'à ce qu'il gèle. Les hannetons adultes sortent du sol entre le début juin et le début juillet pour s'accoupler. Ils se rassemblent pour le vol nuptial et forment alors des essaims visibles sur les arbres et d'autres grandes structures à la brunante. Les femelles adultes cherchent ensuite des sols humides et frais dans les pelouses ou les champs avoisinants pour y pondre leurs œufs. Les larves nouvellement écloses se nourrissent de racines du début d'août jusqu'à ce que le sol gèle. Elles s'enfoncent alors sous la ligne de gel pour y hiverner.

Dommages : Au printemps, les dommages causés par l'alimentation des larves sont à craindre d'avril à la moitié ou à la fin de mai. Le maïs et les fourrages sont les cultures les plus à risque durant cette période. Le soya est généralement épargné lorsqu'il est semé après la mi-mai. À l'automne, les dommages causés par les larves se manifestent surtout dans le blé d'automne. Les hannetons adultes ne s'attaquent pas aux cultures.

HANNETON COMMUN

(*Espèces de Phyllophaga*)

Cultures à risque : maïs, soya, fourrages et céréales

Description : Les larves se distinguent des autres asticots par la forme ovale de leur écusson anal, où l'on relève deux rangées parallèles d'épines (voir photo 15-4). Le hanneton commun est la plus grande des trois espèces d'asticots qui s'attaquent aux grandes cultures : les larves mesurent de 4 à 40 mm (0,16 à 1,6 po), et les adultes, de 20 à 25 mm (0,75 à 1 po). Les adultes sont d'une couleur allant de brun rougeâtre à noir. Les larves sont aussi appelées « ver blanc ».



Photo 15-4 – Écusson anal de l'asticot du hanneton commun

Source : A. Schaafsma, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Cycle biologique : Le hanneton commun a un cycle biologique de trois ans. Les adultes sortent du sol de la mi-mai à la mi-juin pour pondre leurs œufs. Généralement, ils se rassemblent en grand nombre sur les arbres ou arbustes à la nuit tombante pour s'accoupler. Les œufs sont déposés dans un sol humide et éclosent quelques semaines plus tard. Les larves du premier stade larvaire se nourrissent à même les racines des plants et muent pour passer au deuxième stade larvaire avant de s'enfoncer profondément dans le sol pour l'hiver. Le printemps suivant, une fois le sol réchauffé, les larves du deuxième stade larvaire recommencent à se nourrir et restent à l'état larvaire pendant toute cette deuxième année, mais muent une nouvelle fois pour passer au troisième stade larvaire. Cette deuxième année de leur cycle est donc la plus nuisible aux cultures. Les larves se préparent de nouveau à hiverner en s'enfonçant profondément dans le sol dès l'arrivée du froid; elles y restent jusqu'au printemps. La troisième année, les larves du troisième stade larvaire se nourrissent de racines pendant quelque temps avant de se transformer en pupes et de devenir adultes. Les hannetons adultes resteront en diapause dans le sol pendant le reste de la saison et n'en sortiront qu'au printemps suivant. Comme le hanneton commun résiste moins au froid que le hanneton européen, la meilleure période de dépistage est de la mi-mai au début juin, ou au début de l'automne (de septembre à la mi-octobre). Selon la période de l'année, il peut parfois être difficile de repérer les larves des première et troisième années du cycle (voir figure 15-1).

Dommages : La gravité des dommages dépend de l'année du cycle de vie de la majorité des larves actives. La deuxième année est la plus préjudiciable aux cultures puisque l'insecte vit une pleine saison de croissance au stade larvaire. Les cultures fourragères et de soya semblent les plus touchées, surtout si les plants sont jeunes. Les adultes peuvent se nourrir d'arbres et de plantes ornementales (comme les rosiers), mais ne s'attaquent pas aux grandes cultures.

SCARABÉE JAPONAIS

(*Popillia japonica*)

Cultures à risque : soya, cultures fourragères

Description : L'asticot du scarabée japonais se distingue des autres asticots par le motif en « V », large et peu profond, de son écusson anal (voir photo 15-1). Il est aussi beaucoup plus petit que l'asticot du hanneton européen et celui du hanneton commun. Les adultes sont également les plus petits des trois espèces : ils mesurent environ 13 mm (0,5 po) de longueur et se reconnaissent facilement à leur tête vert métallique et à leurs ailes d'un reflet cuivré, teintées de vert aux extrémités (voir photo 15-6). Douze touffes de poils blanchâtres garnissent le bord de leur abdomen.

Cycle biologique : Le scarabée japonais n'a qu'une génération par année. L'insecte hiverne dans le sol, sous la ligne de gel, au troisième stade larvaire. Ces asticots sont les moins résistants au froid. Le printemps suivant, une fois que la température du sol dépasse 15 °C, les larves se rapprochent de la surface et se nourrissent de racines de plantes jusqu'à la mi ou la fin juin, moment où elles se transforment en pupes et deviennent adultes. Les adultes s'extirpent du sol au début juillet et vivent une quarantaine de jours, durant lesquels ils se nourrissent de diverses plantes, comme les feuilles de soya et parfois les soies de maïs. Après l'accouplement, les femelles pondent leurs œufs dans le sol. Ceux-ci éclosent quelques semaines plus tard. Les larves commencent alors à se nourrir de racines et passent par trois stades larvaires avant de se préparer à hiverner, au début octobre, en s'enfonçant sous la ligne de gel.

Dommages : Les larves et les adultes peuvent s'en prendre aux grandes cultures. Ce ravageur, qu'on trouve partout en Ontario, est surtout présent dans la région de Niagara/Hamilton. Ce sont particulièrement les champs de soya et de foin qui souffrent des dommages aux racines causés par les larves. Les adultes, de leur côté, se nourrissent aussi de



Photo 15-5 – Écusson anal de l'asticot du scarabée japonais

Source : H. Russell, Université d'État du Michigan.



Photo 15-6 – Scarabée japonais adulte

soya, de haricots secs comestibles, de cultures fruitières et de plantes ornementales, laissant derrière eux des feuilles qui ne possèdent plus que des nervures. Pour connaître les lignes directrices concernant les seuils et le dépistage de scarabées japonais adultes, voir la section sur les insectes défoliateurs du soya, plus loin dans ce chapitre.

VER FIL-DE-FER

(Espèces de *Limonius*, d'*Agriotes*, d'*Hemicrepidius* et autres)

Cultures à risque : maïs et céréales; cultures parfois ou rarement à risque : soya, cultures fourragères, haricots secs comestibles et canola

Description : Le ver fil-de-fer (ou larve de taupin) est une larve de 2 à 40 mm (0,1 à 1,6 po) à exosquelette dur. Il a une forme cylindrique, une couleur brun cuivré et une tête plate distinctive (voir photo 15-7).



Photo 15-7 – Larve mature de ver fil-de-fer

Il ne faut pas confondre le ver fil-de-fer et le mille-pattes. Le mille-pattes a de nombreuses pattes tout le long du corps (voir photo 15-11), alors que le ver fil-de-fer n'a que trois paires de pattes à l'avant du corps (voir photo 15-8).



Photo 15-8 – La larve de ver fil-de-fer a un corps dur et trois paires de pattes à l'avant du corps
Source : A. Schaafsma, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Les adultes sont des coléoptères au corps allongé de couleur foncée (brun, charbon ou noir) mesurant de 8 à 20 mm (0,3 à 0,8 po). Ils ont la capacité de se redresser lorsqu'ils sont mis sur le dos (voir photo 15-9), ce qui produit un bruit sec leur valant en anglais le nom de « click beetles ».



Photo 15-9 – Les adultes sont aussi appelés « click beetles » en anglais

Cycle biologique : Selon l'espèce, le ver fil-de-fer peut mettre jusqu'à 6 ans pour passer de larve à adulte. Il passe la plus grande partie de sa vie à l'état larvaire. Il hiverné à l'état de larve dans le sol sous la ligne de gel. Lorsque la température du sol atteint 10 °C au printemps, les larves migrent vers la surface pour s'alimenter. En raison de leur long cycle de vie, les larves peuvent endommager plusieurs cultures successives, en dévorant des racines de mauvaises herbes, de graminées et de plantes cultivées. Quand la température du sol atteint environ 26 °C et que l'humidité diminue, les larves s'enfoncent dans le sol; elles sont donc parfois difficiles à trouver en été. Lorsque le sol refroidit à l'automne, les larves remontent parfois à la surface pour se nourrir de racines avant de s'enfoncer de nouveau pour hiverner. Les larves qui ont atteint la fin de leur cycle de vie se transforment en pupes et deviennent adultes durant l'été. Ces adultes pondent ensuite des œufs à la base de graminées adventices.

Dommages : Les vers fil-de-fer sont surtout actifs d'avril à juin. Ils sont en plus grand nombre dans les champs peu dérangés. Les larves s'attaquent aux racines, aux semences et aux plantules en germination de nombreuses cultures (p. ex. maïs, soya, céréales de printemps, haricots secs comestibles, pommes de terre). Une croissance non uniforme ou un peuplement clairsemé peut avoir été causé par le ver fil-de-fer qui s'est nourri de semences en germination (voir photo 15-10). Les plantules atteintes sont rabougries et flétries. La pointe des feuilles devient parfois violacée ou bleue. Les vers fil-de-fer sont rarement problématiques dans les céréales semées à l'automne, mais peuvent causer de graves dégâts dans les céréales semées au printemps.



Photo 15-10 – Les dommages causés aux plantules de maïs par le ver fil-de-fer se traduisent par une croissance non uniforme ou un peuplement clairsemé
Source : A. Schaafsma, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Facteurs de risque : Sont à risque les sols sableux ou limoneux où il y a une très fréquente rotation de cultures de graminées (céréales et fourrages mixtes, en particulier s'ils font suite à du gazon), de canola ou de légumes (p. ex. carottes, pommes de terre et patates douces), de même que les champs de graminées adventices et les champs après la jachère d'été. Les dommages sont plus fréquents au printemps, lorsque les temps frais et pluvieux ralentissent la levée des plants.

Technique de dépistage : Le meilleur moment pour procéder au dépistage est à l'automne ou au printemps, lorsque la température du sol est tout juste au-dessus de 10 °C, mais inférieure à 26 °C. Les appâts sont plus efficaces à environ 10 °C, puisqu'ils fermentent et dégagent du CO₂ qui attire le ver. À des températures plus élevées, le ver est davantage attiré par d'autres végétaux dans le sol. Pour pouvoir utiliser des semences de maïs ou de soya traitées aux néonicotinoïdes afin de lutter contre les vers fil-de-fer, il faut effectuer une évaluation parasitaire suivant les exigences de la réglementation sur les pesticides de catégorie 12, énoncées à l'annexe G.

Technique générale de dépistage sans lien avec les exigences relatives aux pesticides de catégorie 12 : On installe deux pièges-appâts à chacun des endroits du champ les plus à risque (p. ex. buttes sableuses ou limoneuses, zones où poussent des graminées adventices et endroits où le peuplement est clairsemé) en creusant à chaque endroit un trou d'une profondeur et d'une largeur d'environ 15 cm (6 po), dans lequel on verse une tasse de farine tout usage ou une tasse d'une quantité égale de semences de maïs, de blé et de haricots non traitées ayant trempé dans de l'eau pendant la nuit. On enterre l'appât en brisant les mottes et en prenant soin de faire un tas de terre pour éviter la formation d'une flaque d'eau. Si le sol est encore frais, on place un sac de plastique noir sur le piège et on en recouvre les bords de terre ou de roches. On place un ruban de marquage à l'emplacement du piège pour faciliter son repérage par la suite. On déterre les pièges sept jours plus tard pour vérifier la présence de vers. Note : il est possible que les appâts aient aussi attiré des mille-pattes. Voir la section *Mille-pattes* pour savoir comment les reconnaître.

Seuil d'intervention : Pour pouvoir utiliser des semences de maïs ou de soya traitées aux néonicotinoïdes, il faut trouver en moyenne un ver par point d'inspection. Cette moyenne est calculée sur cinq points d'inspection (voir annexe G). Pour les autres cultures ou les méthodes de lutte chimique, la présence d'au moins

un ver par piège indique qu'il est nécessaire de traiter les semences avec un insecticide ou d'appliquer un insecticide radicaire.

Stratégies de lutte dans toutes les cultures :

- Dans les champs où les infestations ont atteint le seuil d'intervention, qui ont déjà été infestés par des vers fil-de-fer ou à la suite d'une couverture gazonnée, il convient de traiter les semences avec un insecticide ou d'appliquer un insecticide dans la raie de semis. Pour pouvoir utiliser des semences de maïs ou de soya traitées aux néonicotinoïdes, il faut effectuer une évaluation parasitaire puis en soumettre le rapport au moment de passer la commande de semences (voir annexe G).
- Éviter de planter des céréales ou du maïs après du gazon ou des cultures fourragères; les cultures de luzerne, de légumineuses et de sarrasin ne sont pas à risque.
- Lutter contre les graminées adventices des cultures de l'année précédente lorsque des cultures sensibles les suivent.
- Augmenter le taux de semis d'au plus 10 % pour compenser les pertes de rendement possible.
- Effectuer le semis par temps chaud et humide, car cela accélère la levée et l'établissement des cultures.
- Tenir compte du fait que les prédateurs et les agents pathogènes ne jouent qu'un rôle mineur dans la lutte contre le ver fil-de-fer.
- Ne pas compter sur un traitement de secours, car aucun n'est actuellement disponible.

MILLE-PATTES

(Diverses espèces)

Cultures à risque : maïs, soya

Description : Le mille-pattes n'est pas un insecte, mais un arthropode à carapace. De forme cylindrique, le mille-pattes fait environ de 2,5 à 5 cm (1 à 2 po) de longueur (voir photo 15-11). Il tient son nom de ses très nombreuses pattes : deux courtes paires par segment corporel au stade adulte. Le mille-pattes adulte est de couleur brun rougeâtre foncé à gris-noir et possède une carapace dure. Son apparence à l'état immature est semblable, mais il est blanc, possède moins de pattes et a le corps mou (voir photo 15-12). Plus le mille-pattes se développe, plus il acquiert un grand nombre de pattes et devient foncé. Autre caractéristique notable : il se recroqueville lorsqu'il est dérangé.



Photo 15-11 – Mille-pattes adulte



Photo 15-12 – À l'état immature, le mille-pattes a moins de pattes et a le corps mou

Source : A. Schaafsma, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Il ne faut pas confondre le mille-pattes et le ver fil-de-fer, car ce dernier est de couleur brun cuivre et possède seulement trois paires de pattes (voir photo 15-8).

Cycle biologique : Aux stades immature et adulte, le mille-pattes hiverne dans le sol sous des débris et des pierres, entre autres choses. Il peut y demeurer plusieurs années et mettre cinq ans pour parvenir à maturité. La popularité du semis direct et du travail réduit, qui entraîne l'accumulation de résidus en surface, a favorisé la propagation de l'espèce. Les femelles pondent leurs œufs dans le sol, près de résidus de culture. Les mille-pattes nouvellement éclos ont seulement trois ou quatre paires de pattes, mais ce nombre, tout comme celui de segments corporels, augmente à mesure qu'ils muent pour atteindre leur taille adulte.

Domages : En général, le mille-pattes joue un rôle utile : il facilite la décomposition de la matière organique et se nourrit d'insectes. Cependant, les semis effectués tôt au printemps, durant une période fraîche et pluvieuse, incitent le mille-pattes à se nourrir des semences gonflées et des racines de plantules, surtout le maïs et le soya.

Facteurs de risque : Les champs en semis direct, qui sont couverts d'une couche de résidus et sont riches en matière organique, sont plus à risque, bien que le problème ait aussi été constaté dans des champs travaillés selon des méthodes traditionnelles. Des semis profonds peuvent entraîner plus de dommages, tandis qu'un temps sec peut les atténuer.

Technique de dépistage : Il convient d'examiner les racines, les semences en germination et le sol dans les zones où le peuplement est clairsemé. Des mille-pattes pourraient se trouver sur les racines ou dans les semences. Si des dommages apparaissent tôt dans la saison sans qu'on puisse déceler la présence de ravageurs, l'installation d'un piège à vers fil-de-terre représente un moyen efficace de vérifier la présence de mille-pattes.

Seuil d'intervention : Aucun seuil n'a encore été établi.

Stratégies de lutte dans les cultures de maïs et de soya :

- Le traitement insecticide des semences n'est pas efficace contre les mille-pattes.
- Aucun traitement de secours n'est actuellement disponible.
- Il faut faire le semis dans des conditions idéales, de façon à favoriser la germination des semences, surtout si on prévoit un printemps frais et pluvieux.

MOUCHE DES LÉGUMINEUSES (*Delia platura*)

Cultures à risque : maïs, soya, haricots secs comestibles

Description : Au stade larvaire, la mouche des légumineuses est petite (de 6 à 10 mm ou 0,2 à 0,4 po), acéphale et apode (sans tête ni pattes), et de couleur blanc jaunâtre (voir photo 15-13); son corps est fuselé vers l'avant et ses pièces buccales sont deux crochets rétractiles. L'adulte ressemble à une petite mouche domestique élancée, de couleur gris pâle et d'environ 5 mm (0,2 po) de long.



Photo 15-13 – Larve de mouche des légumineuses
Source : Centre de recherche sur les grains inc. (CÉROM).

Cycle biologique : La mouche des légumineuses donne de deux à quatre générations par année, mais les premières sont les plus dommageables pour les plantules. Elle hiverne au stade de pupes dans le sol, à une profondeur de 7 à 13 cm (0,3 à 0,5 po). La mouche adulte sort des pupes au début du printemps et est active lorsque la température atteint entre 16 et 29 °C. Après l'accouplement, soit entre le début avril et la mi-juin, la femelle cherche un site de ponte. Elle est attirée par des sols humides qui dégagent une odeur de matière organique en décomposition (p. ex. résidus de culture, mauvaises herbes retirées avant le semis, fumier solide fraîchement épandu ou incorporé, sol fraîchement travaillé). Elle pond ses œufs dans les trous qu'elle trouve dans les sols humides. Une fois écloses, les larves pénètrent dans les semences en germination. Les adultes sont surtout actifs au début du printemps et à l'automne; les larves entrent en diapause à l'été, lorsque la température excède 29 °C.

Dommages : Les larves creusent une galerie dans les semences en germination (voir photo 15-14), les racines, les cotylédons, les embryons ou les hypocotyles, affaiblissant ainsi les plantules. Dans des conditions idéales, elles peuvent aussi creuser dans la tige des plantules. Dans les cultures dont la levée est lente, ces dommages se traduisent par un peuplement clairsemé. Contrairement au ver fil-de-fer, la mouche des légumineuses cause des dommages qui sont normalement perceptibles dans une bonne partie du champ (voir photo 15-15).



Photo 15-14 – Plantule de haricot endommagé par une larve de mouche des légumineuses
Source : J. Gavloski, gouvernement du Manitoba.



Photo 15-15 – Champ endommagé par la mouche des légumineuses

Facteurs de risque : Les larves sont surtout nuisibles durant les printemps frais et pluvieux, quand la germination est retardée. Les sols à texture lourde et ceux qui retiennent l'humidité sont à risque. La mouche aime particulièrement les sols fraîchement travaillés, où l'on a récemment épandu du fumier ou enterré des résidus verts, juste avant le semis printanier. Le semis profond augmente les dommages, puisqu'il ralentit la levée de la culture et allonge donc la période où la mouche se nourrit.

Technique de dépistage : Dès que la culture lève, il faut vérifier la présence de signes de dommages (problèmes de levée) dans 10 parties du champ. On déterre ensuite des semences et des plantules pour voir si elles ont des marques ou si elles ont été creusées.

Pour pouvoir utiliser des semences de maïs ou de soya traitées aux néonicotinoïdes afin de lutter contre les mouches des légumineuses, il faut effectuer une évaluation parasitaire suivant les exigences de la réglementation sur les pesticides de catégorie 12, énoncées à l'annexe G.

Seuil d'intervention : Aucun seuil n'a encore été établi. Rien ne permet de r  chapper un champ endommagé. Il faut parfois reprendre les semis.

Stratégies de lutte :

- Dans les champs à risque selon les facteurs indiqués ci-dessus, envisager de traiter les semences avec un insecticide ou d'appliquer des insecticides radiculaires dans la raie de semis.
- Utiliser des semences de bonne qualité qui lèveront rapidement et les planter à une profondeur appropriée.
- Après avoir incorporé du fumier ou des résidus verts au printemps, le cas échéant, attendre au moins deux semaines pour procéder au semis.
- Faire les semis plus tard, dans de bonnes conditions édaphiques, quand on ne prévoit aucun temps frais et pluvieux, afin de garantir une levée rapide des plantules.
- Tenir compte du fait qu'aucun traitement de secours n'est actuellement disponible.

LIMACE

(*Deroceras reticulatum* et autres espèces)

Cultures à risque : maïs, soya, nouveaux semis fourragers, canola

Description : Jeunes et adultes ont le corps mou, sont apodes, grisâtres ou mouchetés et recouverts d'une substance visqueuse ou gélatineuse qui les empêche de se dessécher. Ce sont ni plus ni moins que des escargots sans la coquille. La tête est pourvue de deux paires de tentacules; sur l'une d'elles se trouvent les yeux. Les limaces mesurent habituellement de 1 à 3 cm (0,4 à 1,2 po) de longueur, mais peuvent atteindre 10 cm (4 po) (voir photo 15-16).



Photo 15-16 – Limace adulte

Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Cycle biologique : Il y a une génération par année, mais on compte deux populations qui arrivent à maturité au printemps et à l'automne, respectivement. Par conséquent, les limaces ont deux occasions d'endommager les jeunes plants. Les œufs et les adultes hivernent. Les jeunes limaces sont les plus nuisibles aux cultures. Elles éclosent au printemps ou à l'automne et sont surtout actives par temps frais et pluvieux. Les limaces préfèrent les milieux caractérisés par une forte humidité et des températures relativement fraîches. Les débris (p. ex. résidus de culture, fumier) leur procurent un abri contre le soleil.

Domages : Les limaces se nourrissent dans le sol ou hors du sol, selon l'humidité. Elles se nourrissent de semences en germination et de plantules sans afficher de préférence réelle pour une partie de la plante en particulier. Sur les plantes plus grosses, les limaces dévorent les feuilles du bas en totalité ou en partie, laissant sur les dicotylédones des trous aux pourtours déchiquetés qui donnent aux feuilles un aspect squelettique (voir photo 15-17). Les limaces peuvent dévorer ou endommager le cotylédon des plants de soya, en tuant le point végétatif. Pour ce qui est du maïs, elles dévorent les feuilles en bandelettes, laissant des dommages semblables à ceux causés par la grêle, mais s'attaquent rarement au point végétatif. En grand nombre, les limaces se nourrissent de semences en germination et les vident de leur contenu avant la levée des plants. Elles peuvent laisser des traces visibles sur le sol ou les feuilles (voir photo 15-18).



Photo 15-17 – Jeune plant de soya endommagé par des limaces

Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.



Photo 15-18 – Traces visibles laissées par des limaces sur une feuille de soya

Facteurs de risque : Les champs à risque sont les champs de soya, de canola et de maïs en semis direct (surtout ceux qui ont une épaisse couche de résidus), les champs de blé contre-ensemencés de trèfle rouge, les nouveaux peuplements de luzerne et les champs qui suivent des cultures fourragères mixtes (en particulier de graminées). Les raies de semis ouvertes représentent un habitat de choix. Le risque d'infestation est plus grand lorsque l'hiver est doux et accompagné de neige abondante, et qu'il est suivi d'un printemps frais, pluvieux et nuageux et d'un automne doux. L'évaluation des populations dans chaque champ à l'automne donne une bonne idée de l'ampleur du problème qu'elles poseront le printemps suivant : la population qui hiverne est la même qui dévorera les plants le printemps venu.

Technique de dépistage : Le dépistage automnal permet de prévoir les problèmes qui surviendront au printemps suivant. Les limaces étant nocturnes, leur dépistage se fait la nuit ou au petit matin, lorsqu'elles sont actives. Les indices à surveiller sont des trous dans le peuplement, des bandelettes de tissu foliaire disparues ou de petits trous mâchouillés dans les feuilles. Il faut aussi examiner les débris et les mottes de terre. Des traces visqueuses de couleur argent sur les plants ou le sol sont un indice indéniable de la présence de limaces. Pour évaluer leur population, on installe des pièges à une dizaine ou une quinzaine d'endroits répartis dans tout le champ. Ces pièges consistent en deux morceaux de matériau de couverture blanc (idéalement), de bardeau, de contreplaqué ou de carton mouillé de 30 cm² (1 pi²) que l'on place directement sur le sol après avoir retiré les résidus de culture. Pour éviter qu'ils ne partent au vent, on y dépose une roche. Ensuite, il s'agit de les

soulever tous les cinq jours pendant environ un mois et de compter les limaces qui s'y trouvent. Le matin est le meilleur moment pour faire cette inspection, car les limaces s'y trouveront encore avant que le temps se réchauffe.

Seuil d'intervention : Aucun seuil n'a encore été établi. Si la méthode décrite ci-dessus révèle fréquemment la présence de limaces, celles-ci risquent fort de causer des dommages au printemps. Une inspection printanière confirmera le tout.

Stratégies de lutte :

- Un bon point de départ pour réduire au minimum les dommages causés par les limaces est d'effectuer le semis dans des conditions qui favorisent une croissance rapide.
- Il importe de bien fermer les sillons.
- Le travail du sol aide à combattre les limaces, car l'élimination des résidus les expose à la déshydratation et aux prédateurs (mammifères, oiseaux). Le travail du sol par bandes en profondeur ou le passage de socs bineurs accélère l'assèchement sur le rang et diminue le risque de dommages par les limaces. Le fait d'éloigner les débris des plantules peut aussi contribuer à réduire les dommages.
- Les prédateurs (p. ex. carabes) peuvent grandement contribuer à la lutte contre les limaces. Selon des recherches récentes, le traitement des semences de soya aux néonicotinoïdes est préjudiciable pour les carabes, qui se nourrissent de limaces contenant ces insecticides. Comme ceux-ci n'ont aucun effet sur les limaces, il convient d'utiliser des semences traitées uniquement avec des fongicides pour favoriser la présence de carabes lorsque les limaces posent problème.
- Il n'existe actuellement aucun traitement chimique rentable contre les limaces qui soit homologué pour les grandes cultures. Les insecticides (appliqués aux semences, aux feuilles ou au sol) sont inefficaces contre les limaces. On trouve sur le marché des appâts à limaces (granulés de phosphate de fer), mais ils ne sont pas rentables et ne sont recommandés que pour de petites zones. Pour qu'ils soient pleinement efficaces, ces appâts doivent être posés peu après le 24 mai.
- Les expériences réalisées à l'aide de mélange d'azote 28 % et d'eau ou d'applications foliaires de potasse ont donné des résultats inégaux, de sorte que l'utilisation de ces produits n'est pas encouragée.

Ravageurs du maïs

Le tableau 15-1, *Signes d'infestation dans les champs de maïs*, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les signes décrits.

Tableau 15-1 – Signes d'infestation dans les champs de maïs

LÉGENDE :		0 = compte parmi les signes d'infestation – = ne compte pas parmi les signes d'infestation															
Signes		Ravageurs															
		Asticots (p. 343)	Ver fil-de-fer (p. 347)	Mille-pattes (p. 349)	Mouche des légumineuses (p. 350)	Limace (p. 352)	Ver-gris noir (p. 355)	Altise du maïs (p. 357)	Légionnaire uniponctué (p. 358)	Pentatomes (p. 360, 380)	Pyrale du maïs (p. 361)	Chrysomèle des racines du maïs, larve (p. 363)	Chrysomèle des racines du maïs, adulte (p. 364)	Ver-gris occidental du haricot (p. 367)	Ver de l'épi du maïs (p. 369)	Légionnaire d'automne (p. 370)	Puceron du maïs (p. 366)
Dommages aux semences et aux plantules	Semence dévorée ou vidée	–	0	0	0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Peuplement clairsemé	0	0	0	0	0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Plant rabougri ou flétri	0	0	0	–	–	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Racines endommagées ou manquantes	0	0	0	–	–	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–
	Plants coupés au niveau du sol ou sous le niveau du sol	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Galerie dans la tige de la plantule	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Plant déformé ou qui talle	–	–	–	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–	–
Dommages aux feuilles	Piqûres ou trous irréguliers	–	–	–	–	–	0	–	0	–	0	–	–	–	–	–	–
	« Fenêtres » parallèles aux nervures des feuilles	–	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	0	–	–	–	–
	Dommages semblables à ceux causés par la grêle	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Feuilles entières dévorées sauf la nervure principale	–	–	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–	–	–
Dommages à la tige	Galerie dans la tige	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–
	Courbure en col de cygne et verse	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–
Dommages à l'épi	Dommages en surface sur les grains ou galerie	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	–	–	0	–	0	–
	Grains peu développés ou percés	–	–	–	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	0	–	–
	Grande partie de grains manquante	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0	0	–
	Soies coupées	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0	0	–	–
	Affaissement des épis	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–
Dommages aux panicules	Traces d'alimentation sur les panicules	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0	–	–	–
	Panicules brisées	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–
	Panicules décolorées ou collantes	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0

Ravageurs du maïs terricoles

Un certain nombre de ravageurs se nourrissent de semences et de plantules de maïs. Pour obtenir plus d'information à ce sujet, voir la section *Ravageurs terricoles des grandes cultures* en début de chapitre.

On traite couramment les semences de maïs aux insecticides pour les protéger contre les ravageurs terricoles, mais le semis de semences traitées au moyen d'un semoir à pression négative pose un risque pour les pollinisateurs. Voir le chapitre 14, *Lutte intégrée contre les ravageurs et protection de leurs ennemis naturels et des pollinisateurs*, pour obtenir de l'information sur les méthodes de lutte optimales et les mesures à prendre pour réduire ce risque.

ASTICOTS — VOIR PAGE 343

VER FIL-DE-FER — VOIR PAGE 347

MILLE-PATTES — VOIR PAGE 349

MOUCHE DES LÉGUMINEUSES — VOIR PAGE 350

RAVAGEURS DU MAÏS DE SURFACE

Les abeilles butinent le maïs; certaines précautions s'imposent donc pour protéger les pollinisateurs durant l'application d'insecticides foliaires. Voir la section *Protection des pollinisateurs et des insectes utiles* du chapitre 14 pour en savoir plus.

LIMACE — VOIR PAGE 352

VER-GRIS NOIR (*Agrotis ipsilon*)

Description : Les vers-gris noirs (larves de la noctuelle ipsilon) sont noir grisâtre sur le dos et plus pâles sur le ventre (voir photo 15-19). Ils ont deux paires de taches noires sur chaque segment corporel; la paire la plus à l'extérieur est deux fois plus grande que celle la plus à l'intérieur. Lorsqu'elles sont dérangées, les larves se recroquevillent. À maturité, elles mesurent environ 3,5 cm (1,25 po) de long et se cachent dans le sol durant le jour. On les trouve près de plants fraîchement coupés, sous des mottes de terre ou le long de raies mal refermées. Les adultes sont des papillons nocturnes gris-brun dont les ailes antérieures sont marquées d'un petit triangle effilé traversant une tache en forme de graine de haricot (voir photo 15-20).



Photo 15-19 – Ver-gris noir

Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.



Photo 15-20 – Noctuelle ipsilon

Cycle biologique : On compte deux ou trois générations de ce ravageur par année, mais c'est la première qui cause des dommages économiques aux cultures de maïs. Les noctuelles ipsilon n'hivernent pas en Ontario, mais sont transportées depuis le sud par des fronts atmosphériques puissants. Les migrations les plus importantes se produisent en avril et en mai, mais parfois aussi dès le mois de mars. Les nuits douces, claires et calmes au début du printemps fournissent des conditions idéales pour la ponte, qui a lieu dans la végétation dense, au ras du sol et habituellement avant le labour de printemps. Les larves éclosent de cinq à dix jours plus tard et se nourrissent de feuilles environ jusqu'à ce qu'elles atteignent le quatrième stade larvaire. Ensuite, elles s'enfoncent dans le sol et coupent les plantes au niveau du sol ou en dessous.

Dommages : Ce ravageur peut causer des dommages en surface ou sous le niveau du sol. Les feuilles des plants attaqués par les jeunes larves présentent de petits trous ou de petites entailles (voir photo 15-21). Parfois, les plants se flétrissent soudainement parce que la tige a été vidée ou dévorée sous le niveau du sol. Les plus grosses larves coupent le plant au niveau

du sol ou juste en dessous (voir photo 15-22). Dans les champs peuplés de mauvaises herbes ou de végétation au début du printemps, les larves se développent sur les mauvaises herbes jusqu'à ce que la culture lève et que les mauvaises herbes soient traitées. Les larves migrent alors vers la culture et deviennent plus grosses et plus difficiles à maîtriser. Les larves passent par six stades larvaires au total et sont nocturnes, c'est-à-dire qu'elles se nourrissent uniquement la nuit. Durant leur croissance, qui prend de 20 à 40 jours, chaque larve coupe en moyenne cinq plants de maïs. Lorsque le maïs atteint le stade V5, son point végétatif est situé au-dessus du sol et ses racines sont bien établies, ce qui lui permet de survivre aux dommages causés par les larves. Durant une saison de croissance normale, les larves sont alors sur le point de se transformer en pupes.



Photo 15-21 – Feuilles endommagées par le ver-gris noir



Photo 15-22 – Ver-gris noir et plant coupé
Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Facteurs de risque : Les champs qui bordent le lac Érié sont souvent la proie d'infestations par le ver-gris noir, mais tous les champs peuplés de végétation basse en début de saison, durant la migration des noctuelles (fin mars à mai), sont à risque. Sont les plus à risque les champs en semis direct ayant une épaisse couche de résidus, les cultures de maïs suivant une culture de soya dans des champs où se trouvent des mauvaises herbes annuelles hivernantes (p. ex. céréaste vulgaire, moutardes, blé spontané) avant le semis, et les champs travaillés et ensemencés tardivement.

Technique de dépistage : Dès que le maïs lève, on procède au dépistage tous les cinq jours jusqu'à ce que la culture atteigne le stade V5. Il faut inspecter au moins cinq points par tranche de 10 ha (25 ac) de champ en portant une attention particulière aux zones lourdement infestées de mauvaises herbes juste avant le travail du sol et le semis. Les feuilles piquées de trous d'épingle sont le premier indice de la présence des jeunes larves sur le plant. Il faut aussi vérifier la présence de plants flétris, de feuillage dévoré ou de plants coupés au sol. Si l'on trouve des plants endommagés, on creuse autour à une profondeur de 5 cm (2 po) pour examiner le sol, étant donné que les larves aiment s'y cacher le jour, puis l'on note la taille des larves trouvées et le stade foliaire de la culture.

Seuil d'intervention : L'emploi d'insecticides est justifié si 10 % des plants aux stades de 1 à 4 feuilles ont des feuilles endommagées ou percées, ou si au moins 3 % des plants ont été coupés et que les larves mesurent moins de 2,5 cm (1 po). Les larves ne posent plus de risque si elles mesurent plus de 2,5 cm ou si le maïs a atteint le stade 5 feuilles. Les vers-gris noirs presque parvenus à maturité (plus de 2,5 cm de long) sont difficiles à maîtriser à l'aide d'insecticides et cessent de s'alimenter quelques jours après avoir atteint leur plein développement.

Stratégies de lutte :

- Il importe de lutter contre les mauvaises herbes et de retirer les résidus de culture avant le semis. Les champs doivent rester à nu au moins deux à trois semaines avant le semis.
- Le travail du sol et le semis tardifs sont à éviter.
- Dans les champs souvent infestés, on peut semer des hybrides de maïs Bt renfermant une protéine insecticide (p. ex. Cry 1F, Vip3A).
- En Ontario, le traitement des semences aux néonicotinoïdes dans le seul but de lutter contre le ver-gris noir est interdit par la réglementation sur les pesticides de catégorie 12. Il n'est pas justifié de traiter

les semences avec un insecticide contre le ver-gris noir spécifiquement, puisqu'il s'agit d'un ravageur périodique. Le traitement des semences et le semis de maïs Bt sont plus efficaces contre les jeunes larves.

- Des insecticides foliaires sont offerts sur le marché. Ils sont le plus efficaces lorsqu'ils sont appliqués à la culture peu après l'éclosion des larves. Comme celles-ci sont surtout actives le soir, on applique les insecticides en soirée ou de nuit, puis on évite de perturber le sol pendant cinq jours. Les insecticides foliaires sont inefficaces contre les larves de plus de 2,5 cm (1 po).
- Il n'est pas nécessaire de traiter le champ au complet, mais uniquement les zones qui présentent des signes d'infestation.

ALTISE DU MAÏS (*Chaetocnema pulicaria*)

Description : Il s'agit d'un coléoptère minuscule de 1,8 mm (0,1 po) noir et brillant. Ses pattes postérieures allongées lui permettent de sauter lorsqu'il est dérangé (voir photo 15-23).

Dans les champs en semis direct, il importe d'éliminer la végétation qui attire les noctuelles au début du printemps. À l'automne, la destruction chimique des céréales spontanées et des mauvaises herbes est recommandée.



Photo 15-23 – Vue rapprochée d'une altise du maïs

Cycle biologique : Ce ravageur hiverne au stade adulte à la base des graminées, à 5 cm (2 po) et moins de la surface du sol. Lorsque la température atteint 18 °C au début du printemps, les altises émergent, et les femelles fécondées pondent leurs œufs dans le sol, près de la base des plants de maïs. En moins de six jours, les œufs éclosent, puis les larves se nourrissent

de racines. Ces dommages sont rarement perceptibles et n'ont aucune conséquence économique. Les larves se transforment ensuite en pupes. Moins de deux semaines plus tard, les adultes émergent du sol pour s'attaquer aux cultures. Trois ou quatre générations se chevauchent chaque année. Seules les générations présentes du début mai à la fin juin (durant la levée du maïs) sont considérées comme étant un problème potentiel. Comme les adultes transportent la bactérie *Erwinia stewartii* (causant la maladie de Stewart) dans leur appareil digestif, ils transmettent cette maladie aux plants lorsqu'ils se nourrissent.

Dommages : Les dommages causés aux feuilles par les altises prennent la forme de longues égratignures ou de « fenêtres » généralement parallèles aux nervures. Ceux-ci n'ont aucune répercussion économique. Le véritable problème des altises, c'est qu'elles transmettent la maladie de Stewart, qui se manifeste sur les feuilles par des lésions linéaires aux contours ondulés (voir photo 15-24). Les plants atteints peuvent se flétrir ou voir leur croissance s'arrêter. Les plans sont plus à risque de contracter cette maladie du stade de plantule au stade 5 feuilles, mais la transmission peut aussi avoir lieu durant les stades reproductifs du maïs.



Photo 15-24 – L'altise du maïs transmet la maladie de Stewart

Facteurs de risque : Seuls les cultivars sensibles à la maladie de Stewart et les lignées de maïs de semence affichent des pertes de rendement, sauf en cas de sécheresse extrême, car les hybrides non sensibles peuvent alors subir des dommages dus à l'alimentation et contracter la maladie. L'altise du maïs est plus active les printemps qui suivent des hivers doux (surtout décembre, janvier et février). Les champs peuplés ou bordés de graminées à l'automne sont plus à risque.

Technique de dépistage : Le dépistage consiste à inspecter le champ tous les quatre à cinq jours une fois que la culture a levé, et ce, jusqu'à ce qu'elle atteigne le stade 5 feuilles. On examine alors 10 plantules de 10 zones du champ pour vérifier la présence de traces d'alimentation ou d'altises adultes, et l'on installe des pièges jaunes encollés en périphérie du champ.

Des modèles de prévision, disponibles dans certains États américains voisins, aident à prévoir chaque année le risque d'activité intense des adultes en fonction des températures hivernales et de la survie des adultes. Le risque est plus élevé après les hivers doux.

Seuil d'intervention : Dans le cas d'hybrides ou de lignées sensibles, six altises par cent plants avant le stade 5 feuilles justifient une intervention. Dans le cas de cultivars tolérants, une moyenne d'au moins cinq altises par plant avant le stade 4 feuilles peut justifier une intervention, surtout en cas de sécheresse, lorsque les dommages et la maladie peuvent avoir des conséquences plus graves.

Stratégies de lutte :

- Il est recommandé de planter des hybrides tolérants, en particulier après un hiver doux.
- Le semis précoce d'hybrides sensibles est à éviter, surtout après un hiver doux.
- Il ne faut pas négliger la lutte contre les mauvaises herbes, en particulier les graminées en début de saison, car elles attirent l'altise.
- En Ontario, le traitement aux néonicotinoïdes des semences de maïs-grain ou de maïs à ensilage dans le seul but de lutter contre l'altise est interdit par la réglementation sur les pesticides de catégorie 12. Il faut utiliser des insecticides pour traiter les lignées de maïs de semence plantées dans des champs ayant déjà été infestés par l'altise.
- Les insecticides foliaires sont efficaces contre l'altise. Des pulvérisations foliaires supplémentaires peuvent être nécessaires pour protéger le maïs de semence et les cultivars sensibles si les populations sont très fortes. Les traitements insecticides destinés à prévenir la transmission de la maladie de Stewart ne sont rentables que pour les hybrides et les lignées très sensibles.

LÉGIONNAIRE UNIPONCTUÉE (*Mythimna unipuncta*)

Description : À maturité, la légionnaire uniponctué mesure 4 cm (1,5 po) de long. La larve va du vert terne au brun et peut facilement être confondue avec d'autres chenilles, dont le ver-gris panaché et la légionnaire d'automne. Le ver-gris panaché se distingue toutefois par les points jaunes qui se trouvent au haut de ses premiers segments abdominaux. La légionnaire uniponctué et la légionnaire d'automne ont toutes deux des bandes latérales bordées de blanc le long du corps, mais seule la légionnaire uniponctué a des bandes diagonales sombres au haut de chaque fausse-patte abdominale (voir photo 15-25). Elle a une tête brun-jaune réticulée de lignes brun foncé. La légionnaire adulte est un papillon de nuit de couleur sable qui possède deux taches blanches caractéristiques au centre de chaque aile antérieure.

Cycle biologique : On compte deux générations de ce ravageur par année, mais c'est la première génération qui a tendance à faire le plus de dégâts dans les cultures de maïs en Ontario. La légionnaire uniponctué hiverne aussi loin au nord que la Pennsylvanie. Les adultes émergent au début du printemps et migrent en Ontario, portés par des masses d'air. Ils préfèrent pondre leurs œufs dans les herbages, notamment les graminées adventices, les céréales, les herbes fourragères et le seigle utilisé comme culture couvre-sol. Les larves éclosent et se nourrissent la nuit ou les jours couverts pendant approximativement un mois. En Ontario, la deuxième génération de larve a déjà causé des dommages aux cultures de maïs à la fin juin, mais uniquement dans de rares cas d'infestation massive. Les infestations surviennent généralement après un printemps frais et pluvieux, soit des conditions difficiles pour les parasites qui maîtrisent normalement les légionnaires.



Photo 15-25 – Larve de légionnaire uniponctué

Dommages : Les larves de la légionnaire uniponctuée se nourrissent la nuit. La plupart des dommages causés par leur alimentation surviennent en juin et au début juillet, mais certains peuvent se produire dès la fin mai. Dans les champs de maïs soumis à des méthodes traditionnelles de travail du sol, les dommages surviennent habituellement d'abord dans les rangs périmétriques, tandis que dans les cultures de maïs en semis direct qui suivent des graminées adventices ou des cultures de petites céréales, de gazon ou de fourrages mixtes, les dommages apparaissent un peu partout dans le champ. Ce ravageur envahit fréquemment les champs de maïs depuis des champs de céréales avoisinants. Les larves rongent le pourtour des feuilles, puis se déplacent vers le haut des plants pour se nourrir des panicules et des fleurs, ne laissant que les nervures principales (voir photo 15-26). Tant que le point végétatif n'est pas endommagé, le plant de maïs peut se remettre de dommages de gravité moyenne.



Photo 15-26 – Dommages causés par la légionnaire uniponctuée aux feuilles d'un plant de maïs

Facteurs de risque : Sont particulièrement à risque les cultures suivant une sole de gazon, des fourrages mixtes ou des graminées adventices dans un champ soumis à un travail réduit du sol, de même que les champs à proximité de cultures de céréales.

Technique de dépistage : Le meilleur moment pour inspecter les champs est juste après la brunante, lorsque la larve se nourrit. Pour ce faire, on examine vingt plants en cinq points du champ (cent plants au total) et on note le nombre de larves et leur taille. Le jour, on peut trouver les larves dans le verticille, à l'aisselle des feuilles, parmi les débris de culture qui jonchent le sol ou sous des mottes de terre. Il est possible que des excréments bruns,

souvent confondus avec des œufs, se trouvent dans le verticille ou sur le sol près du plant. Pendant l'observation sur le terrain, il convient de vérifier si les larves portent des œufs de mouche parasite sur leur dos. Ces petits œufs, ovales et blanc jaunâtre, se trouvent habituellement juste derrière la tête de la larve (voir photo 15-73). De ces œufs vont naître des asticots qui pénétreront dans les larves de légionnaires uniponctuées et les tueront. Si le champ est bordé de champs de céréales, de gazon, d'étendues herbeuses ou de maïs, il faut en inspecter le pourtour pour y détruire les larves qui proviennent des champs avoisinants avant qu'elles envahissent la culture.

Seuil d'intervention : L'application d'insecticides foliaires sur les plantules de maïs peut être justifiée s'il y a au moins deux larves non parasitées par plantule ou si au moins 10 % des plants sont endommagés et que les larves mesurent moins de 2,5 cm (1 po). Dans les cultures de maïs qui ont passé le stade 6 feuilles, si 50 % des plants ont des feuilles endommagées et sont infestés par des larves de moins de 2,5 cm (1 po), un traitement insecticide peut être justifié. Tant que le point végétatif du plant n'est pas endommagé, le plant de maïs peut habituellement se remettre de dommages de gravité moyenne.

Stratégies de lutte :

- Si les larves mesurent plus de 2,5 cm (1 po) de long, il n'y a aucun avantage à appliquer un insecticide puisque le gros des dommages est déjà fait et que les insecticides n'ont plus aucun effet sur elles.
- Il est possible de restreindre le traitement aux zones infestées. Si les légionnaires uniponctuées migrent depuis des champs de maïs ou de céréales adjacents, il peut être suffisant de pulvériser l'insecticide sur le pourtour du champ.
- Des parasites et d'autres organismes utiles réussissent habituellement à maintenir les populations de légionnaires sous le seuil de nuisibilité, sauf durant les printemps frais et pluvieux qui nuisent à ces parasites. L'application d'un traitement insecticide en présence d'un grand nombre de larves parasitées est donc à éviter.
- Il importe d'éliminer les graminées adventices, qui sont un lieu de ponte privilégié des légionnaires uniponctuées. Cependant, la lutte contre les graminées adventices n'est pas toujours une bonne solution tard dans la saison, car les larves risqueraient alors de délaissier les graminées mortes pour migrer vers la culture.

PENTATOMES

PUNAISE FÉTIDE

(*Euschistus servus*)

PUNAISE VERTE

(*Chinavia hilaris*)

PUNAISE MARBRÉE

(*Halyomorpha halys*)

Description et cycle biologique : Voir page 380.

Dommages : Diverses espèces de pentatomes peuvent se nourrir de maïs, en particulier la punaise fétide, qui s'attaque parfois aux plants de maïs tôt dans la saison. Il arrive également que la punaise fétide et la punaise verte se nourrissent des épis en formation. Les pentatomes utilisent leurs pièces buccales en forme d'aiguille pour percer les plants et en sucer la sève. Pendant qu'ils se nourrissent, ils injectent dans les tissus végétaux un enzyme qui facilite leur digestion et qui déforme le plant. **En début de saison**, chaque perforation dans les feuilles déroulées des jeunes plants (avant le stade V5) donne plusieurs trous allongés, parfaitement alignés et entourés d'un halo jaune (voir photo 15-27), lorsque les feuilles s'ouvrent. Les dommages sont plus évidents lorsque les perforations sont plus près du verticille en début de formation : comme leur point végétatif est endommagé, les plants peuvent se déformer, se rabougrir et produire de multiples talles (voir photo 15-28). **En fin de saison**, les pentatomes peuvent perforer les grains de maïs, et par le fait même les détruire et augmenter le risque de moisissure.



Photo 15-27 – Trous allongés laissés par des pentatomes



Photo 15-28 – Multiples talles causées par des pentatomes

Facteurs de risque : Les dommages sont généralement plus fréquents dans les cultures tardives par semis direct, surtout en périphérie du champ. Dans les champs de maïs envahis par les mauvaises herbes, l'application d'herbicide après l'établissement de la culture peut entraîner plus de dommages, puisque les pentatomes se déplacent alors des mauvaises herbes mourantes vers la culture. Les dommages en début de saison sont plus fréquents dans l'Est de l'Ontario, alors que ceux en fin de saison y sont plus rares.



Photo 15-29 – Punaise marbrée adulte

NOUVELLE ESPÈCE ENVAHISSANTE : La punaise marbrée (voir photo 15-29) est une nouvelle espèce envahissante très problématique pour les cultures de maïs et de soya aux États-Unis. Elle se confond facilement avec les autres pentatomes, dont la punaise fétide (voir photo 15-30). Bien que l'on sache qu'elle hiverne en Ontario, on n'a pas encore relevé sa présence dans les champs. En cas de découverte potentielle de punaises marbrées, il faut communiquer avec le Centre d'information du MAAARO par téléphone au 1 877 424-1300 ou par courriel à l'adresse ag.info.maaaro@ontario.ca. Des renseignements à jour concernant l'identification et l'incidence potentielle des punaises marbrées, ainsi que les stratégies de lutte, sont accessibles à l'adresse ontario.ca/punaise.



Photo 15-30 – Punaise fétide adulte

Technique de dépistage : Le dépistage des pentatomes consiste à inspecter 10 plants dans 10 endroits différents du champ et le long des rangs périmétriques. En début de saison, on cherche des signes de dommages ou d'extraction de sève sur les feuilles, alors que durant les stades reproductifs du maïs, on porte une attention particulière aux épis.

Seuil d'intervention : Aucun seuil n'a été établi pour le maïs. Les dommages aux plantules surviennent généralement avant qu'ils deviennent apparents.

Stratégies de lutte :

- Pour favoriser l'établissement de la culture, la lutte contre les mauvaises herbes doit se faire en début de saison, et le semis, dans de bonnes conditions de croissance.
- Les sillons doivent être bien fermés pour réduire le risque que les pentatomes attaquent les plantules sous terre.

PYRALE DU MAÏS (*Ostrinia nubilalis*)

Description : Les masses d'œufs de la pyrale du maïs sont plates et blanc crème. Les œufs sont empilés les uns sur les autres comme des écailles de poisson. Les larves à maturité sont de blanc crème à gris pâle et ont deux petites taches par segment abdominal. Elles mesurent environ 2,5 cm (1 po) de long et ont la tête noire (voir photo 15-31). Les adultes sont des papillons brun clair d'environ 2 cm (0,8 po) de long, dont les lignes sombres et sinueuses des ailes antérieures rappellent un échocardiogramme (voir photo 15-32). Les papillons mâles sont plus sombres et plus petits que les femelles.



Photo 15-31 – Larve de pyrale du maïs



Photo 15-32 – Pyrale du maïs adulte

Cycle biologique : Il existe deux souches distinctes en Ontario. Au sud d'une ligne allant de Sarnia à Simcoe, une souche bivoltine peut donner de multiples générations (en général deux) selon la longueur de la saison. Au nord de cette ligne, on trouve une souche univoltine qui ne produit qu'une génération par année. Sur une bande large de 50 à 80 km le long de cette ligne, les deux souches se chevauchent. L'insecte hiberne à l'état de larve dans les tiges de maïs et d'autres résidus laissés à la surface du sol la saison précédente. À mesure que les journées rallongent et que les températures moyennes s'élèvent à plus de 10 °C le jour, les larves amorcent leur pupaison. On trouve les pupes à l'intérieur des galeries creusées par les larves. Il faut compter deux semaines avant que les adultes émergent des pupes. Même si, plus au sud de la province, les adultes commencent à émerger des pupes vers la troisième semaine de mai, il faut habituellement attendre la mi-juin pour que les papillons apparaissent dans l'Est de l'Ontario. Après leur émergence, les pyrales se dirigent vers les « sites d'action » (des habitats végétatifs) les plus proches, par exemple le long des clôtures, des haies et des fossés en bordure de champ. Après l'accouplement, les femelles quittent les sites d'action pour pondre leurs œufs sur

les plantes-hôtes, en général sur le revers des feuilles, près de la nervure principale. Les larves de pyrales du maïs univoltines se développent tout au long de la saison jusqu'à l'automne, moment où, parvenues au cinquième stade larvaire, elles se préparent à hiberner. Les larves de pyrales du maïs bivoltines de la première génération se transforment en pupes au milieu de l'été, émergent sous forme d'adultes et engendrent une deuxième génération avant d'entrer en diapause à l'automne.

Dommages : Les larves de début de saison se nourrissent de feuilles, qu'elles couvrent de petites piqûres et quittent tôt ou tard pour migrer dans le verticille et s'attaquer aux panicules. Les larves de fin de saison se nourrissent brièvement de feuilles, puis s'enfoncent dans la nervure principale et migrent dans la tige du plant et les spathes. Parfois, les larves se nourrissent directement des grains en formation. Des infestations graves peuvent entraîner la verse des plants et l'affaîssement des épis. Ce ravageur peut être un vecteur de pourritures de la tige et de l'épi.

Facteurs de risque : Grâce à l'usage répandu des hybrides de maïs Bt, la pyrale du maïs est désormais très peu présente dans les champs de maïs et risque davantage de s'attaquer à d'autres types de cultures. Ainsi, seuls les champs de maïs non-Bt sont à risque, de même que les champs en semis direct ayant une couche épaisse de résidus, les rotations comprenant plusieurs cycles de maïs, les régions où le maïs est prépondérant (au moins 50 % des cultures) et les régions où les souches univoltines et bivoltines sont toutes deux présentes.

Technique de dépistage : En début de saison, les pyrales adultes sont attirées par les champs de maïs d'une bonne hauteur qui ont été ensemencés tôt. Les femelles adultes de deuxième génération sont quant à elles attirées par les soies et les panicules des champs ensemencés plus tard. L'inspection doit porter sur au moins cinq ensembles de vingt plants par champ (cent plants au total).

Dépistage des individus de la première

génération : Il faut être à l'affût de dommages sur les feuilles. On tire et déroule le verticille des plants endommagés à la recherche de larves et l'on fend la tige des plants de haut en bas pour localiser les larves plus vieilles, puis l'on note le pourcentage de plants endommagés et le nombre et la taille des larves trouvées.

Dépistage des individus de la deuxième

génération : On cherche des masses d'œufs sur le revers des feuilles, près de la nervure principale, en particulier sur les trois feuilles qui se trouvent au-dessus et en dessous de l'épi, et l'on note le pourcentage de plants qui comportent des masses d'œufs. On procède au dépistage tous les cinq à sept jours jusqu'à ce que les pics de vol soient passés (soit pendant environ un mois).

Seuil de nuisibilité économique pour les hybrides de maïs non-Bt :

Voir l'annexe H, *Calculs afférents à la détermination du seuil de nuisibilité économique de la pyrale du maïs*, pour savoir comment calculer le seuil de nuisibilité économique de la pyrale dans les champs de maïs. Pour le maïs de semence, voir la publication *Seed Corn Best Management Practices for Ontario*, accessible à l'adresse www.scgo.ca/seed-corn-ontario-research/.

Stratégies de lutte applicables aux hybrides de maïs non-Bt :

- En général, les insecticides ne combattent pas de manière rentable les pyrales dans le maïs de grande culture.
- S'il n'est pas possible de combattre la pyrale du maïs à l'aide d'hybrides de maïs Bt, il importe de choisir des hybrides de maïs non-Bt qui ont une résistance ou une tolérance à la pyrale du maïs, de bonnes valeurs agronomiques et une tige vigoureuse.
- Le déchiquetage des débris après la récolte est un moyen efficace de détruire les pyrales qui hivernent dans les tiges et le chaume; il faut donc laisser le moins possible de tiges.
- Les stades immatures de la pyrale du maïs sont la proie d'ennemis naturels. Certains prédateurs (p. ex. coccinelles, anthocorides) se nourrissent des œufs et des jeunes larves. Des guêpes parasites et des acariens prédateurs peuvent aussi contribuer à maîtriser ce ravageur.

Stratégies de lutte applicables aux hybrides de maïs Bt :

- L'Agence canadienne d'inspection des aliments exige que les producteurs qui comptent utiliser du maïs Bt appliquent des stratégies de lutte contre les résistances. La Coalition canadienne contre les ravageurs du maïs appuie cette exigence.
- La quantité de cultures-refuges à semer et leur emplacement dépendent du type d'hybride de maïs Bt. Le sélecteur d'hybrides refuges (www.refugeselector.ca/refuge_fr.php) permet de déterminer la quantité de cultures-refuges requises selon l'hybride de maïs Bt et le type d'hybride refuge disponible dans une certaine région.

- Les semences de maïs Bt et non-Bt ne doivent pas être mélangées, que ce soit avant ou pendant le semis.
- Les hybrides de maïs ordinaires et les hybrides de maïs à caractère unique résistants aux herbicides peuvent servir de cultures-refuges s'ils parviennent à maturité à peu près au même moment que l'hybride de maïs Bt et s'ils ont des valeurs agronomiques similaires (écart de moins de 100 à 150 unités thermiques de croissance [UTC]). De plus, ils doivent être semés en même temps que le maïs Bt pour que les pyrales femelles les trouvent tout aussi attrayants comme lieu de ponte.
- Le traitement des semences des cultures-refuges ou l'application d'insecticides radiculaires pour lutter contre les larves de chrysomèles des racines du maïs peut être justifié selon le seuil de nuisibilité économique.
- Si le seuil indique qu'une intervention est justifiée, les cultures-refuges non-Bt peuvent être traitées avec un insecticide foliaire (qui ne contient pas de Bt) pour lutter contre les autres chenilles ravageuses (p. ex. ver-gris occidental du haricot). Si l'on traite les cultures-refuges, on doit également traiter le maïs Bt.

Des renseignements détaillés sur la biologie des insectes, les produits Bt homologués au Canada et les exigences relatives aux cultures-refuges sont accessibles sur le site Web de la Coalition canadienne contre les ravageurs du maïs (www.cornpest.com) et depuis le sélecteur d'hybrides refuges (www.refugeselector.ca/refuge_fr.php).

Les producteurs semant des hybrides de maïs Bt à gènes empilés qui possèdent des transgènes Bt donnant la résistance à la pyrale du maïs et à la chrysomèle des racines du maïs doivent respecter les exigences liées aux cultures servant de refuge aux chrysomèles des racines du maïs.

CHRYSMÈLE DES RACINES DU MAÏS (*Diabrotica virgifera* et *Diabrotica barberi*)

Description : Il existe en Ontario deux espèces de chrysomèles des racines du maïs (CRM) : la chrysomèle occidentale des racines du maïs (CORM) et la chrysomèle septentrionale des racines du maïs (CSRM). La CORM adulte va du jaune au vert et a trois bandes noires sur les ailes (voir photo 15-33); celles des femelles sont généralement sinueuses, tandis que celles des mâles se fondent en une seule. Les mâles adultes sont un peu plus petits, et leurs antennes sont plus longues. Les CSRM adultes, d'un vert ou beige jaunâtre uniforme, sont dépourvus de marques particulières qui permettent

de distinguer les mâles des femelles (voir photo 15-34). Les adultes des deux espèces mesurent environ de 4 à 7 mm (0,125 à 0,25 po). Les larves sont blanches et ont la tête brune, ainsi qu'une plaque sombre distinctive à l'extrémité de l'abdomen. Elles mesurent environ 1 cm (0,5 po) de long (voir photo 15-35).



Photo 15-33 – Chrysomèle occidentale des racines du maïs adulte



Photo 15-34 – Chrysomèle septentrionale des racines du maïs adulte



Photo 15-35 – Larves de chrysomèles des racines du maïs sur des racines de maïs
Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Il ne faut pas confondre la chrysomèle occidentale des racines du maïs et la chrysomèle rayée du concombre. Cette dernière est noire sous l'abdomen et a des bandes bien définies et droites.

Cycle biologique : Il y a une génération par année. La CORM et la CSRM sont réparties uniformément en Ontario. Dans le Sud-Ouest de la province, la CORM prédomine selon un ratio supérieur à quatre pour un. Dans l'Est de la province et au Québec, la situation est inversée avec la CSRM qui prédomine selon un ratio de huit pour un. Les œufs hivernent dans le sol et éclosent au début juin. Les larves passent par trois stades larvaires sur une période de trois semaines, durant laquelle elles se nourrissent de racines, puis se transforment en pupes. Les adultes émergent à la fin juillet et se nourrissent des soies et des panicules. Les œufs sont déposés dans le sol de la fin juillet jusqu'à la première gelée meurtrière à l'automne, mais la plupart sont déposés à la mi-août. Chaque femelle CSRM peut pondre au plus 300 œufs, tandis que la femelle CORM peut en pondre 1 000.

Dommages : Les adultes et les larves ravagent le maïs. Les larves s'attaquent à l'extérieur et à l'intérieur des racines de la mi-juin à la mi-juillet, nuisant à l'absorption des éléments nutritifs et de l'eau et causant un stress aux plants. Les plus grosses larves s'attaquent aux racines échantées, réduisant ainsi la stabilité du plant, qui verse ou forme un col de cycle (voir photo 15-36). Les adultes consomment le pollen et coupent les soies, entravant la pollinisation. Si les panicules et les épis ne sont pas sortis, les chrysomèles s'alimentent des feuilles, dévorant les tissus internervaires du revers et laissant ainsi des « fenêtres » dans les feuilles.



Photo 15-36 – Dommages aux racines causés par la chrysomèle des racines du maïs
Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Facteurs de risque : Sont les plus à risque les cultures de maïs suivant une culture de maïs dans des sols à texture lourde, surtout si la population d'adultes de l'année précédente était élevée, ce qui arrive habituellement dans les derniers champs de la région à avoir été ensemencés. Les champs où se trouvent d'autres plantes-hôtes (p. ex. alpiste roseau, pied-de-coq, sétaire verte ou maïs spontané dans les cultures de soya) sont également plus à risque.

Technique de dépistage :

Pour pouvoir utiliser des semences de maïs traitées aux néonicotinoïdes afin de lutter contre la chrysomèle des racines du maïs, il faut effectuer une évaluation parasitaire suivant les exigences de la réglementation sur les pesticides de catégorie 12, énoncées à l'annexe G.

Adultes : Il est préférable de procéder au dépistage avant que 70 % des plants aient atteint le stade R1 (apparition des soies). À partir du moment où les adultes émergent (de la mi-juillet à la fin août), on inspecte chaque semaine vingt plants en cinq points différents du champ en portant une attention particulière aux soies coupées et en comptant le nombre d'adultes par plant, à la hauteur de l'épi.

Larves et dommages aux racines : Comme les larves sont difficiles à voir, leur dépistage est peu efficace. Il est donc plus simple d'évaluer les dommages aux racines. Les inspections doivent avoir lieu de la mi-juillet au début août. On ne peut le faire à la fin août ou en septembre, car à cette période de l'année, les racines peuvent se remettre des dommages ou commencer à se décomposer, ce qui nuit à la reconnaissance des dommages causés par la chrysomèle. Le dépistage consiste à couper la tige du plant de maïs à environ 30 cm (12 po) du sol, puis à utiliser une pelle pour déterrer l'ensemble des racines, qui mesurent de 20 à 25 cm (8 à 10 po) de diamètre et de 15 à 20 cm (6 à 8 po) de haut. Ensuite, en faisant bien attention de ne pas les briser, on secoue les racines pour retirer un peu de terre, puis on les trempe dans l'eau. Enfin, on les lave avec une lance d'arrosage ou une laveuse à haute pression pour enlever le plus de terre possible. À l'aide du tableau 15-2, *Échelle des dommages aux nœuds de l'Université d'État de l'Iowa*, on détermine la catégorie à laquelle correspondent les dommages.

Seuil d'intervention : Une intervention est requise pour protéger les racines des plants de maïs qui seront plantés dans le champ l'année suivante si l'on trouve une CORM ou deux CSRM adultes par plant, à la

hauteur des épis, en août. **Pour ce qui est des épis**, le maïs de grande culture peut supporter de fortes populations d'adultes; habituellement, il faut au moins 10 adultes par épi avant qu'une intervention s'impose. Dans le maïs de semence, toutefois, des traitements peuvent être nécessaires si les populations d'adultes ont cassé beaucoup de soies, car cela nuit à la pollinisation. Des conditions sèches empêchent parfois le plant de produire des soies pour compenser les dommages causés par l'alimentation de la chrysomèle. Un traitement foliaire est justifié quand les soies sont cassées en moyenne à moins de 1,25 cm (0,5 po) de la pointe de l'épi. Une fois la pollinisation terminée, les dommages causés par l'alimentation des chrysomèles ne sont plus menaçants.

Tableau 15-2 – Échelle des dommages aux nœuds de l'Université d'État de l'Iowa

Cote	Description
0,0	Aucun dommage causé par l'alimentation
1,00	Un nœud, ou l'équivalent d'un nœud, a été dévoré
2,00	Deux nœuds ont été entièrement dévorés
3,00	Au moins trois nœuds ont été dévorés

Note : « Dévoré » signifie que la racine mesure désormais moins de 3,75 cm (1,5 po) à partir de la tige.

Stratégies de lutte :

- La rotation des cultures est la meilleure stratégie de lutte; son efficacité à réduire les populations de chrysomèles est supérieure à celle des insecticides. Comme le maïs est le principal hôte, il faut éviter de semer du maïs après du maïs et opter plutôt pour des espèces qui ne sont pas des hôtes (p. ex. soya, cultures fourragères, betterave à sucre, blé). La monoculture de maïs peut engendrer quatre millions de chrysomèles par hectare.
- Si on ne peut procéder à une rotation des cultures et que le champ comporte des facteurs de risque, les hybrides de maïs Bt peuvent être un moyen de lutte efficace.
- Pour pouvoir utiliser des semences de maïs traitées aux néonicotinoïdes afin de lutter contre la chrysomèle, il faut effectuer une évaluation parasitaire puis en soumettre le rapport au moment de passer la commande de semences (voir annexe G). Bien que le traitement des semences avec des insecticides puisse protéger les cultures, il ne réduit l'émergence des adultes que de 25 % en moyenne.

La chrysomèle des racines du maïs fait partie des insectes nuisibles qui possèdent une rare capacité d'adaptation. Elle a développé une résistance à de multiples méthodes de lutte. Il est par conséquent important de n'utiliser les produits destinés à combattre spécifiquement cette espèce qu'en cas d'absolue nécessité et d'employer des méthodes de lutte chimique ou transgénique différentes d'une année à l'autre.

Stratégies de lutte avec des hybrides de maïs Bt résistants à la chrysomèle des racines du maïs et avec des hybrides Bt à gènes empilés donnant une résistance à la pyrale du maïs et à la chrysomèle des racines du maïs :

- Si l'on sème des hybrides de maïs Bt pour contrer la chrysomèle des racines du maïs, il faut semer une culture-refuge pour réduire les risques de voir apparaître une résistance à Bt. Il s'agit là d'une exigence de l'Agence canadienne d'inspection des aliments, appuyée par la Coalition canadienne contre les ravageurs du maïs.
- L'emplacement de cette culture-refuge et sa superficie par rapport à la culture d'hybride Bt dépendent de l'hybride Bt utilisé et du ravageur visé. Le sélecteur d'hybrides refuges (www.refugeselector.ca/refuge_fr.php) permet de déterminer la quantité de cultures-refuges requises selon l'hybride de maïs Bt et le type d'hybride refuge disponible dans une certaine région.
- Dès que l'on utilise un hybride de maïs Bt pour contrer la chrysomèle des racines du maïs, il faut se conformer à l'exigence d'offrir un refuge à l'insecte, même si l'hybride combat également la pyrale du maïs, car le risque d'apparition d'une résistance aux produits à base de Bt est beaucoup plus grand chez la chrysomèle.
- Le maïs servant de refuge et l'hybride de maïs Bt doivent parvenir à maturité à peu près au même moment (écart de moins de 100 à 150 UTC) et les deux cultures doivent avoir les mêmes antécédents culturaux. Aucune pulvérisation d'insecticide foliaire n'est autorisée ni dans les peuplements de maïs Bt ni dans la culture-refuge.
- Le traitement insecticide des semences et les insecticides radiculaires sont permis à la fois dans la culture-refuge et dans la culture Bt.

Des renseignements détaillés sur la biologie des insectes, les produits Bt homologués au Canada et les exigences relatives aux cultures-refuges sont accessibles sur le site Web de la Coalition canadienne contre les ravageurs du maïs (www.cornpest.com) et depuis le sélecteur d'hybrides refuges (www.refugeselector.ca/refuge_fr.php).

PUCERON DU MAÏS (*Rhopalosiphum maidis*)

Description : Ces pucerons sont de petits insectes bleu-vert faisant moins de 2 mm. Ils ont un corps ventru, des pattes noires et des cornicules noires et courtes (les cornicules sont des protubérances) près de l'extrémité arrière de l'abdomen (voir photo 15-37). Les nymphes ressemblent aux adultes, mais en plus petit. La plupart n'ont pas d'ailes, mais certaines générations en développent pour redistribuer la population. Les pucerons ont des pièces buccales de type perceur-suceur et se nourrissent de la sève (éléments nutritifs) des tissus des jeunes plants (panicules et verticille). Leurs cornicules sécrètent une substance collante appelée « miellat ». Les panicules sur lesquelles les pucerons la déposent se recouvrent de plaques de moisissure et de fumagine.



Photo 15-37 – Pucerons du maïs sur un épi

Cycle biologique : On compte plusieurs générations de pucerons par année. Ce ravageur n'hiverné pas en Ontario, mais est plutôt porté chaque année par les courants d'air venant du sud, généralement en juillet et en août. Les premiers individus à arriver au printemps se nourrissent de céréales jusqu'à ce que le maïs devienne attractant. Les populations migrantes sont composées uniquement de femelles ailées. Une fois qu'elles sont établies, ces femelles se reproduisent sans s'accoupler et donnent naissance à des nymphes dépourvues d'ailes. Sont ainsi produites des générations d'adultes à la fois ailés et non ailés, selon la qualité des éléments nutritifs du plant. Les pucerons ailés s'envolent ensuite vers les champs de maïs à proximité et pénètrent dans le verticille.

Dommages : En Ontario, il est rare que les populations de pucerons du maïs justifient une intervention. L'ampleur des dommages dépend de la taille de la population et des conditions météorologiques. Les nymphes et les adultes se nourrissent d'abord du verticille en aspirant les éléments nutritifs du plant. Les dommages ainsi causés passent habituellement inaperçus jusqu'à ce qu'ils deviennent graves et donc apparents. Par temps sec, les signes de dommages comprennent le jaunissement, le flétrissement et l'enroulement des feuilles. Si le temps sec se poursuit, les surfaces foliaires et les panicules peuvent devenir noires et fuligineuses à mesure que les populations augmentent et que la moisissure envahit le miellat. Les panicules peuvent devenir collantes, ce qui nuit à la pollinisation. Les pucerons sont également des vecteurs du virus de la mosaïque nanisante du maïs et du virus de la jaunisse nanisante de l'orge.

Facteurs de risque : Le temps sec qui augmente le stress hydrique aggrave les dommages.

Technique de dépistage : Il suffit d'examiner cinq ensembles de vingt plants par champ.

Seuil d'intervention : Une intervention est nécessaire si 50 % des plants comptent 400 pucerons entre la fin du stade du verticille et le début de la floraison mâle et que les plants souffrent de stress hydrique. Aucune intervention n'est requise après le début de la floraison mâle.

Stratégies de lutte :

- La lutte chimique est uniquement justifiée si les ennemis naturels et les parasites du puceron du maïs sont absents, si les plants souffrent de stress hydrique et si les populations de pucerons dépassent le seuil d'intervention indiqué ci-dessus. Plusieurs ennemis naturels sont assez efficaces contre les pucerons du maïs, notamment certaines guêpes parasites ainsi que les adultes et les larves de la coccinelle et de la chrysope.
- La lutte chimique tue les ennemis naturels, ce qui peut mener à une recrudescence des populations de pucerons.

INSECTES S'ATTAQUANT AUX ÉPIS

PYRALE DU MAÏS

(*Ostrinia nubilalis*)

— VOIR PAGE 361

CHRY SOMÈLE DES RACINES DU MAÏS

(*Diabrotica virgifera* et *Diabrotica barberi*)

— VOIR PAGE 363

PENTATOMES

(*Euschistus servus*, *Chinavia hilaris* et *Halyomorpha halys*)

— VOIR PAGE 360

VER-GRIS OCCIDENTAL DU HARICOT

(*Striacosta albicosta*)

Description : La larve du ver-gris occidental du haricot est d'une couleur variant de chamois à rose. Lorsqu'elle éclot, elle ressemble à une pyrale du maïs à tête sombre et au corps beige. Au troisième stade larvaire, elle commence à ressembler davantage à la légionnaire uniponctuée en raison de ses bandes le long du corps, mais elle n'a aucune bande sur les fausses-pattes (voir photo 15-38). De plus, en raison de l'espace entre ses pattes avant et ses fausses-pattes, plus grand que celui de la légionnaire uniponctuée, la larve du ver-gris occidental du haricot doit se déplacer en rampant comme une chenille arpenreuse aux troisième et quatrième stades larvaires. Aux cinquième et sixième stades larvaires, elle n'a plus aucune caractéristique distinctive; il ne lui reste que deux larges bandes brun foncé sur son pronotum (voir photo 15-39). Les adultes se distinguent facilement des autres ravageurs du maïs : chaque aile du papillon est bordée d'une bande blanche et porte une tache ronde et une marque en forme de virgule près de son extrémité (voir photo 15-40). Les femelles pondent des masses de 5 à 200 œufs blanc perle, de la taille d'une tête d'épingle et en forme de minuscule cantaloup (voir photo 15-41). Dans les jours qui suivent la ponte, les œufs prennent une teinte chamois, puis mauve. L'éclosion a lieu au bout de cinq à sept jours.



Photo 15-38 – Jeune ver-gris occidental du haricot



Photo 15-39 – Ver-gris occidental du haricot à maturité



Photo 15-40 – Papillon du ver-gris occidental du haricot

Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.



Photo 15-41 – Œufs du ver-gris occidental du haricot

Le papillon du ver-gris terne ressemble à celui du ver-gris occidental du haricot, mais sans les taches rondes sur les ailes.

Cycle biologique : On compte une génération de cet insecte par année. Le ver-gris occidental du haricot est natif d'Amérique du Nord. Son aire de répartition se limitait surtout aux États de l'Ouest des grandes plaines jusqu'à son expansion récente en direction du Nord-Est, vers les Grands Lacs, depuis le Corn Belt des États-Unis. Le ver-gris hiverne au stade de pré-pupe dans des chambres souterraines, dans les comtés du Sud-Ouest de l'Ontario. Les adultes émergent de la terre et envahissent les airs du début juin au début septembre. Le pic de vol se produit généralement dans les dernières semaines de juillet et la première semaine d'août, selon les conditions météorologiques. Les adultes peuvent aussi être transportés par le vent depuis les États voisins. Bien qu'ils soient surtout nocturnes, on les trouve parfois dans les aisselles des feuilles des plants de maïs durant le jour. Ils pondent sur la face supérieure des plus hautes feuilles des plants qui sont toujours bien droits et préfèrent les champs de maïs au stade verticille et à ceux précédant la floraison mâle. Après ces stades, ils préfèrent pondre leurs œufs dans les champs de haricots secs comestibles ou de maïs ensemencés plus tard, où les cultures sont encore aux stades précédant la floraison mâle. Les œufs éclosent au bout d'une semaine. Les larves nouvellement écloses montent vers les panicules pour se nourrir avant de redescendre vers les soies et l'épi lorsque les panicules commencent à sécher. Les larves, très mobiles, peuvent se déplacer en hauteur et en périphérie et s'attaquer ainsi aux rangs de maïs voisins.

Domages : Les jeunes larves se nourrissent des panicules et des soies jusqu'à ce qu'elles soient assez grosses pour creuser un tunnel dans l'épi et dévorer les grains (voir photo 15-42). Au stade verticille, les larves consomment le pollen en formation. Les trous d'entrée sont parfois visibles à l'extérieur des spathes, mais les larves peuvent aussi passer par les canaux des soies. Contrairement au ver de l'épi du maïs, le ver-gris occidental du haricot n'est pas cannibale, de sorte que plusieurs larves peuvent se nourrir du même épi. Des dommages secondaires sont à prévoir en raison de la pourriture des épis, de l'accumulation de mycotoxines telles que le déoxynivalénol (DON ou vomitoxine) et la fumonisine, et des autres ravageurs qui profitent de la situation pour s'attaquer aux épis endommagés.



Photo 15-42 – Larve de ver-gris occidental du haricot dans un épi de maïs

Facteurs de risque : Chaque année, on relève des dommages économiques dans les champs aux sols sableux situés entre Thamesville et Strathroy (en particulier près de Bothwell) et entre Tillsonburg et Simcoe, mais le ver s'en prend parfois aussi aux champs ensemencés tardivement situés dans d'autres régions. Sont le plus à risque les champs aux sols sableux dont les cultures sont aux stades précédant la floraison mâle durant le pic de vol (généralement les dernières semaines de juillet et la première semaine d'août).

Technique de dépistage : On inspecte vingt plants à cinq endroits différents en portant une attention particulière aux trois ou quatre feuilles supérieures, où pourraient se trouver des masses d'œufs et de jeunes larves. On peut utiliser des pièges à phéromones pour surveiller le vol des papillons, ce qui permet de déterminer le moment de la ponte et l'opportunité du dépistage. Il est possible de communiquer avec un entomologiste provincial pour savoir comment disposer les pièges, où se les procurer et quels protocoles de surveillance appliquer.

Seuil d'intervention : Une pulvérisation est justifiée si des œufs ou de petites larves se trouvent sur 5 % des plants. La pulvérisation doit avoir lieu lorsque 95 % des panicules sont déployées ou, si elles le sont déjà toutes, lorsque la plupart des œufs sont sur le point d'éclore.

Stratégies de lutte :

- Dans les champs ayant déjà été infestés par le ver-gris occidental du haricot, il convient de semer des hybrides de maïs Bt contenant la protéine Vip3A, qui, jusqu'à présent (2016), offre une protection presque parfaite. Les hybrides Bt contenant la protéine Cry1F sont moins efficaces depuis quelques années, ce qui laisse croire que le ver y devient résistant ou que ces hybrides deviennent moins tolérants.
- Si l'on ne peut ou ne souhaite pas utiliser d'hybrides contenant la protéine Vip3A, il faut procéder au dépistage et appliquer un insecticide foliaire dès que le seuil d'intervention est atteint.
- Il faut choisir des hybrides qui contiennent rarement du DON (vomitoxine).
- Le moment choisi pour appliquer l'insecticide foliaire est crucial : une fois que les larves ont pénétré dans l'épi, elles sont à l'abri des insecticides. Il importe de choisir des insecticides ayant un certain effet résiduel ou qui tuent les œufs et les larves.
- L'application de l'insecticide doit coïncider avec l'éclosion des œufs et le moment où les jeunes larves se nourrissent de la plante-hôte.
- Le travail du sol en profondeur peut perturber et éliminer les larves qui s'y sont réfugiées pour l'hiver, mais il est peu probable que cela réduise considérablement les populations.
- Des pluies abondantes peuvent réduire le taux de survie des jeunes larves.
- Plusieurs ennemis naturels se nourrissent des œufs et des jeunes larves, notamment les coccinelles et les araignées.

VER DE L'ÉPI DU MAÏS (*Helicoverpa zea*)

Description : De couleur très variable (vert clair à jaune), ce ver peut atteindre 4 cm (1,5 po) de long. Son corps est parcouru longitudinalement de bandes proéminentes et de tubercules sombres (verrues) hérissés de poils (voir photo 15-43). L'adulte est un papillon de nuit de couleur fauve ou chamois. Ses ailes antérieures sont marquées d'un point brun central, visible du revers. Ses ailes postérieures sont pâles,

bordées d'une large bande d'un brun plus foncé (voir photo 15-44). Les masses d'œufs sont difficiles à voir, étant de couleur et de largeur similaires aux soies.



Photo 15-43 – Larve de ver de l'épi du maïs sur des soies de maïs



Photo 15-44 – Papillons du ver de l'épi du maïs

La taille du ver de l'épi du maïs et la présence de bandes sur son corps permettent de le différencier de la pyrale du maïs, et sa tête de couleur chamois, de la légionnaire d'automne. De plus, il se distingue du ver-gris occidental du haricot par l'absence de bandes sur le pronotum.

Cycle biologique : Le ver de l'épi du maïs, aussi appelé noctuelle de la tomate, s'attaque également aux champs de coton. Il n'hiverne pas en Ontario; au stade adulte, la noctuelle migre du Sud des États-Unis, portée par des fronts orageux, et arrive habituellement en Ontario en août, mais peut arriver aussi tôt que la fin juin. La noctuelle pond ses œufs un à un sur les soies fraîches. Après l'éclosion, les larves consomment soies et grains à la pointe de l'épi. Généralement, chaque épi ne compte qu'une larve, puisque les larves sont cannibales et dévorent également les larves d'autres vers de l'épi du maïs et les larves du ver-gris occidental du haricot plus petites qu'elles. Elles amorcent ensuite la pupaison dans le sol, mais meurent peu après l'arrivée du gel.

Dommages : Le ver de l'épi du maïs cause rarement de dommages économiques en Ontario. Les larves se nourrissent de feuilles et de panicules, mais surtout de soies et de grains en formation. Elles endommagent les panicules, nuisant ainsi à la pollinisation, et consomment les soies, ce qui nuit au développement de l'épi.

Contrairement à la pyrale du maïs, au ver-gris occidental du haricot et à la légionnaire d'automne, le ver de l'épi du maïs ne laisse pas de trous d'entrée dans les spathes, car il pénètre directement dans les canaux des soies et se nourrit surtout dans le tiers supérieur de la pointe de l'épi.

Facteurs de risque : Sont à risque les champs ensemencés tardivement et les cultures au début du stade d'apparition des soies, qui présentent des soies fraîches durant le pic de vol de la noctuelle.

Technique de dépistage : On choisit cinq ensembles de dix plants par champ, dont on ouvre les épis pour vérifier la présence de dommages, de larves ou de moisissures, dont elles sont un vecteur, puis l'on calcule le pourcentage d'épis infestés. Le ver de l'épi du maïs est cannibale, ce qui explique qu'il n'y ait habituellement pas plus d'une larve par épi. Les œufs étant de grosseur et de couleur similaires aux soies de maïs, ils sont difficiles à distinguer.

Seuil d'intervention : Ce ravageur n'entraîne habituellement de pertes économiques que dans le maïs sucré, mais il peut être nuisible dans le maïs de semence qui a été semé tardivement et qui est au stade de l'apparition des soies pendant la ponte.

Stratégies de lutte :

- Le maïs semé précocement peut échapper aux pics de population du ravageur si les soies apparaissent assez tôt.
- En général, il n'est pas rentable de recourir aux insecticides pour combattre le ver de l'épi du maïs dans les champs de maïs de grande culture, mais il peut être avantageux de traiter les semences pour préserver la qualité des grains.
- On trouve dans le champ plusieurs ennemis naturels, dont les trichogrammes (guêpes parasitoïdes), les coccinelles, les chrysopes et les mouches parasites, qui contribuent à maîtriser les populations de vers de l'épi du maïs.

- Certains hybrides de maïs Bt transgéniques procurent une maîtrise temporaire des vers de l'épi du maïs, mais ils ne doivent pas être utilisés à seule fin de maîtriser un ennemi sporadique comme celui-ci.

LÉGIONNAIRE D'AUTOMNE (*Spodoptera frugiperda*)

Description : À maturité, la larve de la légionnaire d'automne mesure 4 cm (1,5 po) de long. Sa couleur varie de chamois ou vert pâle à presque noir (voir photo 15-45). Elle a trois minces rayures blanches le long du dos, ainsi qu'une large rayure jaune picotée rouge sur les côtés, juste au-dessus des pattes. Les adultes sont des papillons de nuit gris foncé dont les ailes présentent un motif moucheté et une tache blanche proéminente à l'extrémité.



Photo 15-45 – Larve de légionnaire d'automne à maturité sur un épi de maïs

On distingue les larves de la légionnaire d'automne de celles de la légionnaire uniponctué par le « Y » blanc inversé qui se trouve sur le devant de leur tête. La légionnaire d'automne a la tête brun foncé ou noire. Les larves des deux espèces présentent des rayures similaires. Cependant, celles de la légionnaire d'automne ont des tubercules sombres (verrues) et surélevés hérissés de poils. Quatre d'entre eux forment un carré sur le dessus du dernier segment abdominal des larves. Contrairement à la légionnaire uniponctué, la légionnaire d'automne ne possède pas de bandes noires sur les fausses-pattes (grosses pattes arrière).

Cycle biologique : Une fois adultes, sous forme de papillons, les légionnaires d'automne migrent du Sud des États-Unis et arrivent tard dans la saison (de la fin juillet à la fin août), quand le maïs est parvenu à maturité. Elles pondent leurs œufs sur les plantes-hôtes, et ceux-ci éclosent en moins d'une semaine. Les larves passent par six stades larvaires avant de descendre au sol pour se transformer en pupes. Les légionnaires ne peuvent pas hiberner là où la terre gèle.

Domage : La légionnaire d'automne cause rarement des dommages économiques dans le maïs de grande culture. Les larves se nourrissent des feuilles du verticille et des épis, surtout de la fin juillet à septembre. Elles se nourrissent durant la journée, tandis que les larves de la légionnaire uniponctué font leurs ravages la nuit. Au début, la légionnaire d'automne ne fait que de minuscules trous dans les feuilles, comme la pyrale du maïs, mais à mesure que les larves grossissent, les trous deviennent très gros et leur pourtour est déchiqueté, un peu comme les dommages causés par les sauterelles. Les dommages graves causés aux jeunes plants ressemblent à ceux provoqués par la grêle. Un autre signe est la présence, à proximité, d'excréments brun rougeâtre et humides.

Facteurs de risque : Sont à risque les cultures semées très tardivement au début du stade d'apparition des soies durant le pic de vol des papillons (fin juillet et début août).

Technique de dépistage : On examine vingt plants en cinq points du champ pour déterminer le niveau d'infestation et l'on note la taille et le nombre de larves. Il faut également vérifier si les larves portent des œufs de mouche parasite. Ces petits œufs, ovales et jaunâtres, se trouvent habituellement juste derrière la tête de la larve. De ces œufs vont naître des asticots qui tueront les larves de légionnaires.

Seuil d'intervention : Un traitement insecticide peut être justifié si 50 % des plants sont infestés de larves non parasitées de moins de 2,5 cm (1 po), mais les dommages n'entraînent habituellement pas de préjudice économique à moins que l'infestation soit importante et que les dommages soient concentrés sur les panicules qui ne sont pas encore formées.

Stratégies de lutte dans le maïs :

- Les hybrides de maïs Bt contenant la protéine Cry1F offrent une certaine protection contre la légionnaire d'automne.
- Des parasites et d'autres organismes utiles réussissent habituellement à maintenir les populations de légionnaires sous le seuil de nuisibilité. En présence d'un grand nombre de larves parasitées, les traitements insecticides sont à éviter.
- Le maïs semé tardivement est très vulnérable aux dommages aux feuilles et au verticille. Comme les zones herbeuses dans les champs et en périphérie sont des lieux de ponte privilégiés, on recommande d'éliminer les graminées et les mauvaises herbes qui s'y trouvent.

Ravageurs du soja

Le tableau 15-3, *Signes d'infestation dans les champs de soja*, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les signes décrits.

Tableau 15-3 – Signes d’infestation dans les champs de soya

LÉGENDE :		O = compte parmi les signes d’infestation – = ne compte pas parmi les signes d’infestation										
Signes		Ravageurs										
		Asticots (p. 343)	Mouche des légumineuses (p. 350)	Mille-pattes ou ver fil-de-fer (p. 349, 347)	Limace (p. 352)	Chrysomèle du haricot (p. 375)	Puceron du soya (p. 373)	Scarabée japonais adulte (p. 347)	Altise à tête rouge (p. 379)	Chrysomèle des racines du maïs adulte (p. 363)	Tétranyque à deux points (p. 377)	Pentatomes (p. 360)
Dommages aux semences et aux plantules	Peuplement clairsemé et plants flétris	0	0	0	0	0	–	–	–	–	–	–
	Galeries dans les semences, le cotylédon ou l’hypocotyle	–	0	–	0	0	–	–	–	–	–	–
	Plants coupés au niveau du sol	–	–	–	0	0	–	–	–	–	–	–
Dommages aux feuilles	Trous ronds dans les feuilles	–	–	–	–	0	–	–	–	0	–	–
	Feuilles dont il ne reste que les nervures	–	–	–	0	–	–	0	0	–	–	–
	Dommages semblables à ceux causés par la grêle	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–	–
	Feuilles jaunes ou à l’apparence rugueuse et toile sur le revers	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	–
	Feuilles plissées et tachetées	–	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–
Dommages aux gousses	Gousses endommagées, trouées ou coupées	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–
	Gousses percées ou frisées et graines tachées ou semblant être piquées	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0

RAVAGEURS TERRICOLES DU SOYA

Un certain nombre de ravageurs se nourrissent de semences et de plantules de soya. Pour obtenir plus d’information à ce sujet, voir la section *Ravageurs terri­coles des grandes cultures* en début de chapitre.

On traite couramment les semences de soya aux insecticides pour les protéger contre les ravageurs terri­coles, mais le semis de semences traitées au moyen d’un semoir à pression négative pose un risque pour les pollinisateurs. Voir le chapitre 14, *Lutte intégrée contre les ravageurs et protection de leurs ennemis naturels et des pollinisateurs*, pour obtenir de l’information sur les méthodes de lutte optimales et les mesures à prendre pour réduire ce risque.

ASTICOTS — VOIR PAGE 343

VER FIL-DE-FER — VOIR PAGE 347

MILLE-PATTES — VOIR PAGE 349

MOUCHE DES LÉGUMINEUSES — VOIR PAGE 350

RAVAGEURS DU SOYA DE SURFACE

Les abeilles butinent le soya; certaines précautions s’imposent donc pour protéger les pollinisateurs durant l’application d’insecticides foliaires. Voir la section *Protection des pollinisateurs et des insectes utiles* du chapitre 14 pour en savoir plus.

LIMACE — VOIR PAGE 352**PUCERON DU SOYA****(*Aphis glycines*)**

Description : Le puceron du soya est un petit puceron (pas plus gros qu'une tête d'épingle) jaune pâle aux cornicules noires et à la queue jaune pâle (voir photo 15-46). Certains adultes sont ailés, d'autres pas. Les nymphes, aptères, sont plus petites que les adultes. Sur le nerprun, les œufs sont petits et en forme de ballon de football. Ils sont jaunes au moment de la ponte, puis deviennent brun foncé comme les rameaux du nerprun. Les œufs sont habituellement pondus le long des replis des bourgeons de nerprun.

Cycle biologique : D'origine asiatique, le puceron du soya a été vu pour la première fois en Amérique du Nord en 2000 et en Ontario en 2001. Pour compléter son cycle biologique, l'insecte doit compter sur deux hôtes. En effet, les pucerons du soya survivent en tant qu'œufs sur les branches de nerprun. Au printemps, les nymphes éclosent, et les pucerons vivent pendant deux générations sur le nerprun, comme femelles aptères. La troisième génération se transforme en adultes ailés qui migrent vers les plants de soya semés tôt. Les pucerons continuent par la suite de produire des générations aptères jusqu'à ce que les plants de soya soient fortement infestés et que leur qualité diminue. Ils produisent alors des pucerons ailés qui migrent vers des plants moins fortement infestés du même champ ou des champs avoisinants. On peut compter jusqu'à 18 générations de pucerons par an dans le soya. À l'instar de la plupart des espèces de pucerons, les pucerons du soya sont tous des femelles qui donnent naissance à des nymphes vivantes, qu'elles portaient en elles à la naissance. Les mâles ne voient le jour qu'à l'automne pour que les femelles puissent s'accoupler avec eux et pondre des œufs sur le nerprun. Les infestations en début de saison (avant ou pendant le stade R1) sont plus fréquentes dans l'Est de l'Ontario, lieu d'hivernation du puceron sur le nerprun. Dans le Sud de la province, où l'on trouve beaucoup moins de nerpruns, les infestations ont lieu plus tard dans la saison (pendant ou après le stade R3), lorsque le puceron migre des États-Unis.

**Photo 15-46** – Puceron du soya adulte et aptère

Source : A. Schaafsma, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Dommages : Le puceron possède des pièces buccales de type perceur-suceur capables de perforer l'épiderme de la plante et d'en absorber par succion la sève et les éléments nutritifs. Lorsqu'il est présent en petit nombre dans une culture de soya, le puceron peut vivre et s'alimenter de la plante sans entraîner une baisse de rendement. Par contre, une fois les seuils de nuisibilité dépassés – notamment lors des saisons sèches qui imposent un stress supplémentaire aux plants –, le puceron peut empêcher la floraison, ralentir la croissance des plants et entraîner une baisse de la production de gousses et de graines et une réduction de leur qualité. Les pertes de rendement attribuables au puceron sont plus importantes aux premiers stades R (R1 et R2) du développement des plants, au moment où la floraison peut être interrompue, compromettant la formation des gousses. Une infestation importante au stade du remplissage des gousses (R3) et aux stades ultérieurs peut se traduire par une réduction de la taille et de la qualité des graines. Par ailleurs, le puceron du soya excrète une substance collante, appelée miellat, qui peut servir de substrat à la formation de fumagine grise. Enfin, le puceron du soya peut devenir un vecteur du virus de la mosaïque du soya (voir la section *Mosaïque du soya* du chapitre 16).

Facteurs de risque : Les champs de soya ensemencés tôt peuvent être infestés par les pucerons qui proviennent directement du nerprun (surtout présent dans l'Est de l'Ontario). Les pucerons qui migrent vers le milieu ou la fin de l'été préfèrent les champs de soya ensemencés tardivement. Tous les champs peuvent être infestés tous les ans; c'est la présence d'ennemis naturels tôt dans la saison qui détermine si les populations atteignent le seuil. Dans la plupart des champs de l'Ontario, le seuil n'est atteint que tous les trois à quatre ans.

Technique de dépistage : En début de saison, les pucerons sont portés à se concentrer sur les nouvelles feuilles et les feuilles trifoliées du haut. Plus tard, après le début des stades reproductifs, les pucerons vont plutôt dans le feuillage de mi-hauteur ou du bas, peut-être pour échapper à la chaleur ou aux prédateurs, plus nombreux au sommet. En raison de ces déplacements pendant la saison végétative, la meilleure technique de dépistage consiste à compter le nombre de pucerons sur des plants complets et à comparer ce nombre au seuil d'intervention. En début de saison, les infestations se produisent dans les champs ensemencés tôt, alors que les pucerons qui migrent au milieu de l'été préfèrent généralement les champs ensemencés tardivement.

On inspecte chaque champ de soya tous les sept à dix jours, du début juin jusqu'au début septembre ou jusqu'à ce que les plants soient bien avancés dans le stade R6. Il convient de les inspecter plus souvent (aux trois à quatre jours) à mesure que la population de pucerons approche du seuil d'intervention. L'inspection doit porter sur 20 à 30 plants, choisis au hasard, mais qui ne doivent pas faire partie des rangs périmétriques. À partir de l'examen individuel des plants, on estime le nombre moyen de pucerons par plant dans le champ et le nombre d'ennemis naturels. Toute augmentation lors d'au moins deux visites consécutives indique que les populations sont en hausse.

Seuil d'intervention : Le seuil est une population de 250 pucerons par plant, en voie d'augmentation sur 80 % des plants, du stade R1 au stade R5, inclusivement. L'exploitant dispose alors de sept à dix jours avant que soit atteint le seuil de nuisibilité économique (où le coût des interventions égale celui des pertes). Les ennemis naturels du puceron empêchent l'infestation de s'aggraver quand la population se maintient autour de 250 individus par plant. Au-delà du stade R6, le seuil augmente, et il est peu probable qu'un traitement insecticide présente un quelconque avantage économique. Les colonies de pucerons du soya se forment normalement sur le revers des feuilles. Quand ils pullulent, les insectes migrent vers la tige et les gousses des plants (voir photo 15-47), ce qui indique habituellement que le seuil d'intervention a été atteint. Dans de bonnes conditions de croissance, lorsque les plants ne subissent pas de stress et qu'ils sont luxuriants, il est possible d'intervenir uniquement lorsque la population de pucerons se rapproche du seuil de nuisibilité économique (600 pucerons par plant), mais il est

recommandé de respecter le seuil de 250 pucerons si les plants sont soumis à un stress et que le couvert végétal a de la difficulté à se fermer.



Photo 15-47 – Population de pucerons du soya au-dessus du seuil d'intervention

L'application gratuite Aphid Advisor (www.aphidapp.com) est un outil pratique de dépistage du puceron qui détermine, selon le nombre de pucerons et d'ennemis naturels trouvés dans le champ, s'il y a suffisamment d'ennemis naturels pour maîtriser la population de pucerons ou si un traitement insecticide est nécessaire.

Stratégie de lutte :

- La stratégie recommandée consiste à appliquer un insecticide foliaire une fois que le seuil a été atteint. En Ontario, le traitement des semences aux néonicotinoïdes dans le seul but de lutter contre le puceron du soya est interdit. Par ailleurs, le traitement des semences avec des insecticides ne protège les cultures qu'au début de la saison, avant les stades de croissance cruciaux (R1 et stades ultérieurs) où débutent la plupart des infestations.
- Plusieurs ennemis naturels du puceron, dont la coccinelle, la minuscule punaise anthocoride, la larve de syrphes et les guêpes parasites, jouent un rôle utile dans la lutte contre le puceron du soya. Un agent pathogène peut aussi infecter le puceron du soya, mais il lui faut de la chaleur et de l'humidité pour agir. La photo 15-48 montre une larve de coccinelle asiatique se nourrissant de pucerons du soya.

- Les ennemis naturels du puceron empêchent l'infestation de s'aggraver quand la population se maintient autour de 250 individus par plant. On n'emploiera alors aucun insecticide, car le produit aurait pour effet d'éliminer les ennemis naturels et de faire gonfler les populations de pucerons au-delà du seuil d'intervention.
- Avant toute pulvérisation insecticide, il faut vérifier si les plants sont aussi infestés par des tétranyques et, le cas échéant, choisir un produit qui éliminera pucerons et tétranyques, sinon ces derniers se multiplieront davantage, tentant de combler le vide laissé par les pucerons.



Photo 15-48 – Larve de coccinelle asiatique

CHRYSMÈLE DU HARICOT (*Certoma trifurcata*)

Description : La chrysmèle adulte mesure environ 5 mm (0,2 po) et possède parfois quatre taches noires en forme de parallélogramme sur les couvertures alaires, qui sont bordées de noir et à la jonction desquelles se trouve un petit triangle noir (voir photo 15-49). Elle peut être de diverses couleurs, mais est le plus souvent jaune-vert, chamois ou rouge. La larve, blanche à tête brune, peut faire 10 mm (0,4 po) de long et a trois paires de pattes (voir photo 15-50). Elle ressemble beaucoup à la larve de la chrysmèle des racines du maïs en raison de ses extrémités de couleur sombre, et, tout comme cette dernière, elle est très difficile à voir.



Photo 15-49 – Chrysmèle du haricot adulte (rouge)
Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.



Photo 15-50 – Larve de chrysmèle du haricot

Il ne faut pas confondre la chrysmèle du haricot, la chrysmèle maculée du concombre et les coccinelles. La première porte un petit triangle noir derrière la tête, à la base des couvertures alaires.

Cycle biologique : Il y a une génération de chrysmèles du haricot par an, sans compter la population hivernante qui envahit le soya après avoir quitté son site d'hivernation au début du printemps. La chrysmèle adulte hiverne dans les terres à bois, les zones herbeuses en périphérie des champs, les feuilles mortes et les débris. À la fin avril, lorsque la température atteint 10 °C, les adultes sortent d'hivernation et s'alimentent dans les champs de luzerne avoisinants jusqu'à la première coupe de la luzerne ou la levée du soya semé tôt. Ensuite, les femelles fécondées pondent des œufs orange en forme de citron par petites grappes dans le sol, à la base des plants de soya et de légumineuses. La ponte se termine à la mi-juin. Suit une période bien marquée, entre la fin juin et la mi-juillet, où l'activité des adultes est quasi-inexistante dans le champ, le gros de la population étant alors aux stades d'œuf ou de larve. Les larves fraîchement écloses consomment des racines et d'autres parties végétales enterrées pendant une trentaine de jours, jusqu'à la pupaison. La nouvelle génération d'adultes sort du sol du début de juillet à la mi-août et s'alimente de feuilles et de gousses de soya jusqu'à la sénescence des plants. Les adultes reviennent alors aux champs de luzerne, s'il y en a, ou migrent vers des sites d'hivernation.

Domage : En règle générale, la défoliation du soya causée par la chrysomèle adulte est négligeable en Ontario. Les dommages aux plantules (stades V1 à V2) par les adultes hivernants font exception à la règle. En cas de lourdes infestations, il arrive que les cotylédons et les plantules soient coupés. Lorsque les feuilles apparaissent, la chrysomèle fait de petits trous circulaires entre les nervures principales des folioles (voir photo 15-51). Les larves se nourrissent de racines et de nodosités, mais ne causent pas de dommages économiques. En fin de saison, l'adulte se nourrit également de gousses, ce qui constitue un autre problème : elle dévore la surface des gousses, ne laissant qu'une mince couche de tissus pour protéger les graines (voir photo 15-52). Ces lésions augmentent la vulnérabilité des gousses aux maladies secondaires, telles que l'alternariose. Il arrive aussi que les gousses soient coupées du plant, mais ce n'est pas la principale cause de perte de rendement. En fait, le plus gros problème est que la chrysomèle est un vecteur du virus de la marbrure des gousses du haricot, qui rend le plant et les graines ridés et marbrés, avec pour résultat un produit de qualité inférieure.



Photo 15-51 – Feuille endommagée par la chrysomèle du haricot

Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.



Photo 15-52 – Gousse endommagée par la chrysomèle du haricot

Facteurs de risque : Après l'hivernation, les adultes s'en prennent aux champs de soya ensemencés tôt, surtout dans les comtés les plus au sud de l'Ontario. Les champs ensemencés tardivement sont également la proie de la nouvelle génération d'adultes, qui peut s'attaquer aux gousses. Les champs de soya avoisinants d'un champ de luzerne ou d'autres légumineuses sont également à risque. Ce risque est plus élevé après un hiver doux.

Technique de dépistage :

Stade de plantules : On choisit au hasard au moins cinq sites d'échantillonnage, dans lesquels on compte toutes les chrysomèles en marchant lentement sur 4,5 à 6 m (15 à 20 pi) le long du rang. Ensuite, on calcule le nombre moyen par mètre ou pied de rang. Il est possible que les insectes se laissent tomber des plants pour se cacher dans le sol; il faut donc s'approcher subtilement et éviter de projeter une ombre sur les plants.

Après le stade de plantule, jusqu'au stade R4 :

À 10 endroits différents dans le champ, on détermine le pourcentage de défoliation selon la méthode décrite à la section *Évaluation de la défoliation du soya* et les images de la figure 15-2.

Stades R5 et R6 : On inspecte vingt plants à cinq endroits différents en évitant les pourtours du champ, puis on compte le nombre de gousses endommagées ou coupées et le nombre d'adultes présents pour déterminer le pourcentage de défoliation.

Seuil d'intervention :

Stade de plantule (VE à V2) : Le seuil d'intervention contre la chrysomèle du haricot est de 52 adultes par mètre de rang (16 par pied de rang) au stade de plantule. Une intervention est justifiée si des plants sont sectionnés.

Stade V3 à R4 : Si la défoliation est supérieure aux seuils indiqués dans le tableau 15-4, *Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs du soya*, un traitement correctif peut être justifié.

Stades R5 et R6 de soya à identité préservée (IP), de qualité alimentaire et de semence : Dès que 10 % des gousses sont endommagées ET que les chrysomèles sont encore actives dans le champ, une pulvérisation est justifiée. Il importe cependant de respecter le délai de non-traitement avant récolte et, si seules les feuilles sont endommagées, les seuils de défoliation indiqués au tableau 15-4.

Stratégies de lutte :

- Dans les champs ayant déjà été endommagés par le passé, on retarde le semis à la fin mai ou au début juin, après la fin de l'hivernation des insectes. Cependant, dans les champs ensemencés plus tard, la nouvelle génération d'adultes risque d'endommager les gousses vers la fin de la saison.
- Si les cultures du champ ont déjà subi des dommages aux plantules par le passé, il faut éviter que la culture soit la première de la région à lever.
- Pour pouvoir utiliser des semences de soya traitées aux néonicotinoïdes afin de lutter contre la chrysomèle du haricot, il faut effectuer une évaluation parasitaire, puis en soumettre le rapport au moment de passer la commande de semences (voir annexe G). On peut traiter avec des insecticides les semences semées dans les champs ayant déjà été infestés en début de saison alors que la culture était au stade de plantule ou les semences de qualité alimentaire; le but est de réduire le nombre de vecteurs et ainsi l'incidence du virus de la marbrure des gousses du haricot.
- Le traitement des semences aux insecticides ne protège pas les cultures contre la nouvelle génération d'adultes, qui risque tout de même de causer la défoliation des plants et d'endommager les gousses. Le semis précoce permet d'éviter les infestations dans les champs où ces dommages surviennent fréquemment.
- L'application d'insecticides foliaires n'est justifiée que lorsque les seuils de défoliation ou de dommage aux gousses sont atteints.
- Avant d'appliquer un insecticide foliaire, il faut évaluer les populations de pucerons du soya et de tétranyques et choisir l'insecticide en conséquence.
- Certains insecticides peuvent être plus néfastes pour les ennemis naturels que pour les ravageurs et provoquer un gonflement des populations de pucerons ou de tétranyques.

TÉTRANYQUE À DEUX POINTS**(*Tetranychus urticae*)**

Description : Adulte, le tétranyque à deux points est pratiquement invisible à l'œil nu. Mesurant entre 0,5 et 1,0 mm de long, cet insecte brun jaunâtre a le corps rond, huit pattes et deux taches foncées sur les côtés de l'abdomen (voir photo 15-53). Les nymphes ressemblent aux adultes, mais en plus petit. Les larves ont six pattes au lieu de huit. Les femelles hivernantes, elles, sont orange ou rouges. Les œufs, de minuscules sphères blanches translucides, se trouvent sur le revers des feuilles.

**Photo 15-53 – Tétranyques à deux points**

Cycle biologique : Il peut y avoir tout au plus sept générations par an, leur période de croissance se chevauchant. En général, les tétranyques à deux points hivernent en tant que femelles adultes en se servant, entre autres, des débris végétaux et des bordures des champs comme abri. Les champs de blé contre-ensemencés de trèfle rouge qui ont été fauchés constituent un autre site d'hivernation important. En effet, le trèfle rouge peut nourrir le tétranyque jusqu'aux gelées, lui permettant de survivre dans le champ. À la fin avril, quand la température se réchauffe, le tétranyque commence à chercher de la nourriture et des sites de ponte. Les tétranyques se déplacent en rampant; les infestations ont donc tendance à s'étendre lentement depuis les bordures des champs. Les femelles non accouplées se massent au sommet des plants et tissent des toiles qui, agissant comme des « montgolfières », se gonflent sous l'effet des grands vents et les amènent à un autre site. Les femelles peuvent se reproduire sans s'accoupler. En fait, une seule femelle peut être le point de départ de toute une colonie. Par temps chaud, sec et venteux, les infestations peuvent se propager très rapidement. Des pluies fréquentes et du temps frais réduisent généralement les populations dans les champs de soya.

Dommages : Le tétranyque peut causer de graves dommages économiques dans les champs de soya et passe souvent inaperçu avant qu'il soit trop tard. Il s'alimente du contenu des cellules végétales sur le revers des feuilles grâce à ses pièces buccales similaires à des stylets. Des points marquent les endroits rongés par le tétranyque. Une accumulation importante de ces points fait en sorte que les feuilles jaunissent, brunissent ou s'enroulent (voir photo 15-54). Tôt ou tard, la feuille s'assèche et tombe. Un examen minutieux révèle une fine toile sur le revers des feuilles. Les dommages les plus graves se produisent par temps chaud et sec, normalement à la mi-juillet, après la récolte du blé d'automne. Habituellement,

les dommages par les tétranyques débutent sur les pourtours des champs, mais le vent transporte les tétranyques vers l'intérieur des champs, où ils créent des foyers d'infestation isolés. De la route, ces foyers isolés font penser à des zones soumises à un stress hydrique (voir photo 15-55).



Photo 15-54 – Surface rongée d'une feuille



Photo 15-55 – Champ gravement infesté et endommagé par le tétranyque

Facteurs de risque : Les infestations sont plus graves par temps chaud et sec. Parmi les champs les plus à risque, mentionnons ceux situés juste à côté de chaume de blé d'automne, de champs de foin, de berges de fossés et de haies naturelles qui abritent les tétranyques hivernants. Sont aussi à risque les champs de soya en semis direct ensemencés immédiatement après une culture de blé d'automne contre-ensemencée de trèfle rouge. Les infestations ont tendance à survenir peu après la récolte du blé et lorsque les municipalités tondent le bord des routes.

Techniques de dépistage : Les infestations, qui vont habituellement du bord des champs vers l'intérieur, se présentent sous forme de points névralgiques. Le dépistage consiste à parcourir les champs chaque semaine à partir de la première semaine de juillet en cherchant de petits points blancs sur le dessus des feuilles du milieu du feuillage, que l'on retourne et secoue au-dessus d'une feuille blanche pour observer les tétranyques qui s'agitent. Il faut une loupe grossissant 10 fois pour les voir. On vérifie également la présence d'œufs; s'il y en a beaucoup, il pourrait être nécessaire d'inspecter les plants de nouveau quatre à sept jours après l'application d'un traitement foliaire puisque les tétranyques qui écloreont risquent d'être à l'origine d'une nouvelle infestation. La pluie peut faire tomber les tétranyques des plants; en cas de risque d'averse, il convient de retarder la pulvérisation et de réévaluer les populations après la pluie.

Seuil d'intervention : La présence d'au moins quatre tétranyques par foliole ou d'une feuille gravement endommagée par plant avant le stade de remplissage des gousses indique qu'il est nécessaire d'intervenir.

Stratégies de lutte :

- Si le nombre de tétranyques dépasse le seuil d'intervention, il peut y avoir lieu de faire un traitement insecticide.
- Il convient de pulvériser les pourtours des champs afin de maîtriser les infestations dès leur début, de prévenir la propagation des tétranyques dans les autres parties du champ et, éventuellement, de réduire le besoin de traitements ultérieurs.
- S'il y a risque de pluie, on doit retarder la pulvérisation. Les averses prolongées réduisent normalement les populations de tétranyques à un nombre négligeable.
- Il importe d'utiliser des cultivars tolérant la sécheresse pour réduire au minimum l'effet des tétranyques. Quand les conditions ne sont pas favorables aux tétranyques, leurs ennemis naturels (p. ex. coccinelles, thrips, acariens prédateurs) contribuent à maîtriser les populations. Du temps frais et très humide peut favoriser la propagation d'un agent pathogène susceptible de les maîtriser de façon naturelle.

De nombreux insectes se nourrissent des feuilles de soya (p. ex. chrysomèle du haricot, chrysomèle des racines du maïs adulte, scarabée japonais, altise à tête rouge, sauterelle, noctuelle des légumineuses, chenille de la belle dame). Les mêmes seuils de défoliation s'appliquent aux ravageurs suivants :

CHRYSMÈLE DU HARICOT (*Certoma trifurcata*)

Description et cycle biologique : Voir page 375

CHRYSMÈLE DES RACINES DU MAÏS ADULTE (*Diabrotica virgifera* et *Diabrotica barberi*)

Description et cycle biologique : Voir page 363

SCARABÉE JAPONAIS ADULTE (*Popillia japonica*)

Description et cycle biologique : Voir page 347

ALTISE À TÊTE ROUGE (*Systema frontalis*)

Description : L'adulte est un petit coléoptère noir et brillant d'environ 3 à 6 mm de long. Il a de grandes pattes postérieures qui lui permettent de sauter et un corps fuselé vers l'avant. Elle tire son nom de sa tête rouge orangé (voir photo 15-56). La larve, petite et blanche, vit dans le sol et passe complètement inaperçue.



Photo 15-56 – Altise à tête rouge

Cycle biologique : On connaît peu le cycle biologique de l'altise à tête rouge, mais la plupart des sources indiquent qu'elle hiverne dans le sol à l'état d'œuf. Les larves éclosent au début du printemps et se nourrissent des poils absorbants des racines. Les adultes émergent du sol et se nourrissent de diverses cultures de la fin juin au début septembre.

Évaluation de la défoliation du soya

L'évaluation est fondée sur l'ampleur de la défoliation plutôt que sur le nombre d'insectes présents, et ce, peu importe le ravageur en question. Avant d'employer des méthodes de lutte, il importe de vérifier que l'insecte à l'origine des dommages est toujours présent et se nourrit activement. Le soya peut compenser les pertes importantes de feuilles dues à des insectes avec très peu d'incidence sur le rendement : non seulement les plants de soya continuent-ils de produire de nouvelles feuilles à leur sommet, mais les feuilles qui se situent sous la zone endommagée, étant davantage exposées au soleil, deviennent plus grosses, ce qui accroît la surface foliaire. Cependant, le stade le plus critique s'étend de la floraison (R1) au remplissage des gousses (R4), moment où la croissance des graines dépend beaucoup de la photosynthèse. Une défoliation importante pendant cette période risquerait de nuire au rendement, surtout les années de sécheresse.

Pour estimer les seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs du soya, on calcule le pourcentage de défoliation pour chaque champ de soya. En dix points du champ, on prélève des feuilles trifoliées dans le milieu du feuillage de cinq plants, dont on prend en note le stade de croissance, puis l'on jette la foliole la moins endommagée et celle la plus endommagée de chacune des feuilles trifoliées. Il reste alors une foliole par feuille trifoliée.

Ensuite, on compare les folioles restantes aux images de la figure 15-2, *Défoliation du soya due aux insectes défoliateurs*, pour déterminer le pourcentage moyen de défoliation selon le stade de la culture. On a souvent tendance à surestimer l'ampleur de la défoliation, étant donné que la plupart des insectes défoliateurs s'attaquent d'abord à la partie supérieure du feuillage et au pourtour des champs. Au premier coup d'œil, les dommages peuvent ainsi paraître plus lourds qu'ils ne le sont en réalité. Il faut donc inspecter les feuilles trifoliées au milieu du feuillage pour se faire une idée juste des dommages.

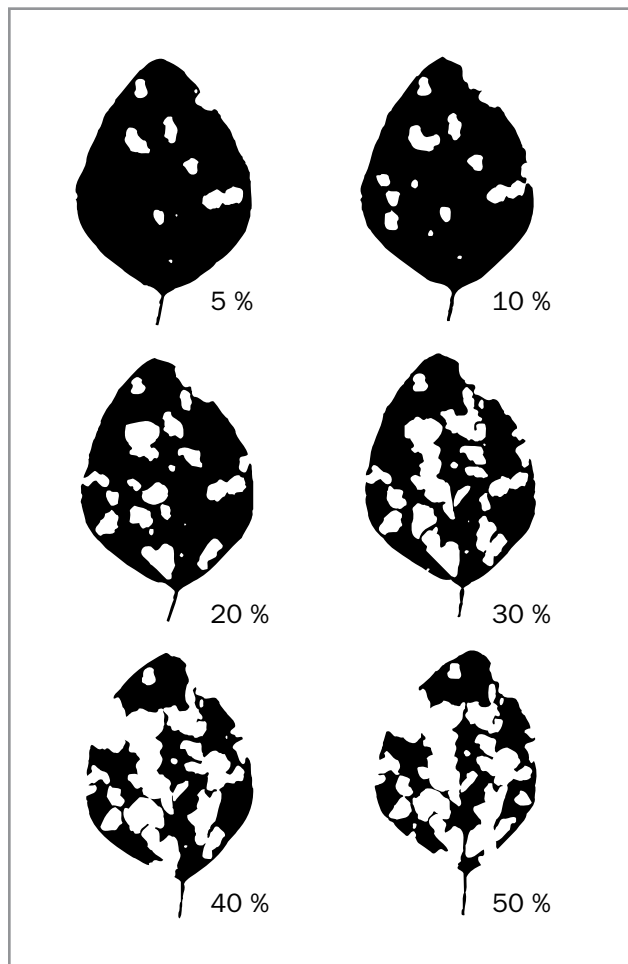


Figure 15-2 – Défoliation du soya due aux insectes défoliateurs

Une fois le pourcentage de défoliation établi pour chaque champ, on s'aide du tableau 15-4, *Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs du soya*, pour déterminer, en fonction du stade de la culture, si une intervention est justifiée.

Tableau 15-4 – Seuils de nuisibilité des insectes défoliateurs du soya

Stade du soya	Défoliation
Préfloraison (stades végétatifs)	30 %
De la floraison au remplissage des gousses (R1 à R4)	15 %
Du remplissage des gousses à la maturité (R5 et R6)	25 % (si les gousses sont endommagées, voir section <i>Insectes s'attaquant aux gousses</i>)

Insectes s'attaquant aux gousses

CHRYSMÈLE DU HARICOT

(*Certoma trifurcata*)

Description et cycle biologique : Voir page 375

PUNAISE VERTE

(*Chinavia hilaris*)

PUNAISE FÉTIDE

(*Euschistus servus*)

PUNAISE MARBRÉE

(*Halyomorpha halys*)

Description : Trois espèces de pentatomes peuvent s'attaquer aux cultures de haricots : la punaise verte, la punaise fétide et la punaise marbrée. On trouve la punaise marbrée dans de nombreuses régions urbaines et naturelles de l'Ontario, mais aucune infestation n'avait été relevée en date de 2015 dans les champs de la province. La punaise verte adulte est de bonne taille – environ 2 cm (0,75 po) de long –, de couleur vert pâle et en forme de bouclier (voir photo 15-57). Plus petite, la punaise fétide mesure environ 1 cm (0,3 po) de long et est d'un brun-gris marbré (voir photo 15-30). La punaise marbrée adulte est presque aussi grosse que la punaise verte, mesurant de 1,4 à 1,7 cm (0,6 à 0,7 po) de long. Elle a un motif brun marbré sur le dos et le ventre blanc et brun-gris. Elle se distingue surtout par les deux bandes blanches sur chacune de ses antennes et les triangles blancs (pointés vers l'intérieur) et noirs disposés en alternance sur le pourtour de l'abdomen (voir photo 15-29).



Photo 15-57 – Punaise verte adulte

Les nymphes (individus juvéniles) peuvent présenter une allure très différente de la forme adulte : elles ont des ébauches d'ailes très courtes et tronquées et des couleurs souvent très différentes de celles des adultes. En particulier, la punaise verte présente, au stade nymphal, une brillante palette de couleurs avec du noir, du vert, de l'orange et du jaune (voir photo 15-58). Les œufs, déposés en amas compacts et géométriques, sont blanc jaunâtre et en forme de barillet. Les œufs de certaines espèces sont couronnés de minuscules épines formant un halo.



Photo 15-58 – Nympe de la punaise verte

Il ne faut pas confondre la punaise fétide et la punaise prédatrice *Podisus maculiventris*, cette dernière jouant un rôle utile puisqu'elle se nourrit de chenilles et d'autres insectes nuisibles. Ces deux espèces se distinguent par leur bec ou leurs pièces buccales en forme d'aiguille. Le bec de la punaise fétide est effilé : elle s'en sert pour perforer des tissus végétaux délicats. Le bec de la punaise prédatrice, plus épais, lui permet de « harponner » ses proies. De plus, la punaise prédatrice a des épaules plus pointues, qui lui valent en anglais le nom « spined soldier bug », mais la différence peut être difficile à remarquer à moins que les deux insectes soient placés côte à côte.

Cycle biologique : Les trois espèces hivernent au stade adulte dans des troncs morts, des balles de foin, des structures artificielles, etc. Les adultes migrent vers des plantes-hôtes tôt dans la saison (p. ex. la punaise fétide peut se déplacer vers les plantules de maïs, et la punaise marbrée, vers le nerprun ou d'autres espèces d'arbres). Ils pondent généralement leurs œufs sur la face inférieure des feuilles de la plante-hôte. Une fois écloses, les nymphes de la première génération passent par cinq stades avant de devenir adultes. Les nymphes et les adultes migrent vers des cultures-hôtes

au milieu ou à la fin des stades reproductifs, lorsque les épis ou les gousses sont formés. À la fin de l'été ou au début de l'automne, les adultes migrent vers leurs sites d'hivernation.

*** NOUVELLE ESPÈCE ENVAHISSANTE *** : La punaise marbrée (voir photo 15-29) est une nouvelle espèce envahissante très problématique pour les cultures de maïs et de soya aux États-Unis. Elle se confond facilement avec les autres pentatomes, dont la punaise fétide (voir photo 15-30). Bien que l'on sache qu'elle hiverne en Ontario, on n'a pas encore relevé sa présence dans les champs. En cas de découverte potentielle de punaises marbrées, il faut communiquer avec le Centre d'information du MAAARO par téléphone au 1 877 424-1300 ou par courriel à l'adresse ag.info.maaaro@ontario.ca. Des renseignements à jour concernant l'identification et l'incidence potentielle des punaises marbrées, ainsi que les stratégies de lutte, sont accessibles à l'adresse ontario.ca/punaise.



Punaise marbrée adulte



Punaise fétide adulte

Dommages : Nymphes et adultes ont des pièces buccales de type perceur-suceur conçues pour percer l'épiderme des plantes et en sucer la sève. Les pentatomes se nourrissent directement des gousses et des graines. Ils injectent dans les graines des enzymes digestives qui les font rider en surface (voir photo 15-59). Les ouvertures ainsi pratiquées ouvrent la voie à différentes maladies et réduisent la qualité des graines. À cela s'ajoutent des dommages indirects, comme le retard de la maturation des graines, appelé syndrome de la graine verte (l'activité des punaises n'en est toutefois pas la seule cause).



Photo 15-59 – Graines de soya endommagées par des pentatomes

Source : A. Schaafsma, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Facteurs de risque : Les adultes peuvent s'attaquer aux champs ensemencés tôt dès que les gousses commencent à se former. Plus tard dans la saison, les adultes en migration pourraient préférer les champs ensemencés plus tard puisque les gousses y sont plus jeunes.

Technique de dépistage : On inspecte les plants de soya toutes les semaines à partir du stade R2 jusqu'au début du stade R6. Pour capturer les insectes, on utilise une toile posée sur le sol pour les semis en ligne et un filet fauchoir pour les semis en rangs étroits et les semis faits avec un semoir à grains. Le dépistage de la punaise marbrée se fait surtout dans les 12 mètres (40 pi) au bord du champ, en particulier près de zones boisées où pourraient se trouver des arbres-hôtes. La punaise fétide et la punaise verte seront quant à elles présentes partout dans le champ.

La première méthode consiste à étendre une toile blanche de 90 cm (36 po) de longueur sur le sol, entre deux rangs de plants de soya, puis à secouer vigoureusement les plants des deux rangs au-dessus de la toile. Il suffit ensuite de compter le nombre de nymphes et d'adultes tombés sur la toile et de diviser ce chiffre par six pour obtenir le nombre moyen de pentatomes dans une longueur de rang de 30 cm

(1 pi). Il faut répéter l'opération à au moins quatre autres endroits du champ. Il faut aussi éviter de toucher les plants avant de les secouer, car la punaise marbrée se laisse tomber au sol si elle perçoit la moindre perturbation.

La deuxième méthode consiste quant à elle à faire vingt balayages de filet fauchoir de 38 cm (15 po) de diamètre (chacun décrivant un arc de 180°) à cinq endroits différents du champ, à compter le nombre total d'insectes capturés (nymphes et adultes), puis à diviser le total par cent pour obtenir le nombre moyen d'insectes recueillis par balayage du filet.

Seuil d'intervention : Dans le cas de la punaise fétide et de la punaise verte, une intervention peut être justifiée dans les champs de soya destiné à la trituration si l'on y trouve en moyenne 0,4 adulte ou nymphe par balayage du filet ou deux insectes par longueur de rang de 30 cm (1 pi) du stade R4 au début du stade R6. Une intervention peut également être requise pour le soya à identité préservée (IP) de qualité alimentaire et de semence si l'on y trouve en moyenne un insecte par longueur de rang de 30 cm (1 pi) ou 0,2 insecte par balayage. Dans le cas de la punaise marbrée, une intervention peut être justifiée dans les champs de soya destiné à la trituration si l'on y trouve 0,2 adulte ou nymphe de grande taille par balayage ou 0,5 insecte par longueur de rang de 30 cm (1 pi) du stade R4 au début du stade R6. Pour le soya à IP de qualité alimentaire et de semence, une intervention est probablement justifiée si l'on trouve 0,1 adulte ou nymphe de grande taille par balayage.

Stratégies de lutte :

- Lorsque le seuil est atteint, on applique un insecticide foliaire tout en portant une attention particulière au délai de non-traitement avant récolte. Pour éviter les pertes de qualité et de rendement, le traitement doit être fait pendant ou avant le stade R5. Pour lutter contre la punaise marbrée, il peut être efficace de faire un traitement localisé sur le pourtour du champ, où les infestations sont concentrées.
- Les œufs de pentatomes peuvent être parasités ou dévorés par certains ennemis naturels.
- L'utilisation de cultures-appâts a eu un certain succès par le passé. Cette stratégie consiste à semer des bandes de soya ou d'autres légumineuses sur le pourtour du champ quelques semaines avant d'ensemencer le reste du champ. Les pentatomes sont ainsi d'abord attirés par les cultures-appâts, que

l'on peut ensuite traiter avec un insecticide foliaire pour réduire le risque que les insectes adultes s'attaquent au reste du champ.

Ravageurs des cultures fourragères

Le tableau 15-5, *Signes d'infestation dans les cultures fourragères*, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les signes décrits.

Tableau 15-5 – Signes d'infestation dans les cultures fourragères

LÉGENDE :		O = compte parmi les signes d'infestation – = ne compte pas parmi les signes d'infestation							
Signes		Ravageurs							
		Asticots (p. 343)	Limace (p. 352)	Charançon de la luzerne (p. 384)	Mineuse virgule de la luzerne (p. 385)	Charançon postiche de la luzerne (p. 386)	Légionnaire uniponctué ou légionnaire d'automne (p. 358, 388, 370)	Cicadelle de la pomme de terre (p. 388)	Hespérie des graminées (p. 390)
Dommages aux racines et aux plantules	Peuplement clairsemé et plants flétris	0	0	–	–	–	–	–	–
	Profondes rainures en spirale dans la racine pivotante	–	–	0	–	–	–	–	–
Dommages aux feuilles	Galeries entre les couches des feuilles	–	–	–	0	–	–	–	–
	Feuilles perforées ou dont il ne reste que les nervures	–	0	0	–	0	–	–	–
	Dommages aux pourtours des feuilles	–	–	–	–	0	–	–	0
	Feuilles herbacées entièrement dévorées sauf la nervure principale et panicules endommagées	–	–	–	–	–	0	–	–
	Jaunissement en forme de « V » à l'extrémité des feuilles	–	–	–	–	–	–	0	–
	Champs de couleur gris argenté	–	–	–	–	0	–	–	–

RAVAGEURS TERRICOLES DES CULTURES FOURRAGÈRES

Quelques ravageurs peuvent s'attaquer aux plantules des cultures fourragères, dont les suivants :

ASTICOTS – VOIR PAGE 343

LIMACE – VOIR PAGE 352

CHARANÇON DE LA LUZERNE (*Otiorhynchus ligustici*)

Description : Au stade adulte, le charançon de la luzerne fait environ 12 mm (0,5 po) de long, est gris foncé et ne vole pas (voir photo 15-60). Les larves sont petites, blanches et apodes, et leur tête est d'un brun rougeâtre pâle. On les trouve dans le sol; elles se nourrissent sur ou dans les racines de luzerne (voir photo 15-61).



Photo 15-60 – Charançon de la luzerne adulte



Photo 15-61 – Larves de charançons de la luzerne et racines qu'elles ont endommagées

Cycle biologique : Le charançon de la luzerne a un cycle de trois ans. La première année, les adultes sortent d'hivernation en avril; ils se nourrissent des pousses de luzerne et migrent vers de nouveaux champs pour pondre leurs œufs. Les adultes peuvent marcher sur de courtes distances ou se laisser porter plus loin dans la terre, le gravillon ou le foin transportés ou par la machinerie agricole et les cours d'eau. Tous les adultes sont des femelles capables de pondre des œufs fertilisés, qui éclosent peu après. Les larves se nourrissent des racines secondaires de la plante-hôte avant de s'attaquer aux racines principales. En novembre, les larves s'enfoncent dans le sol à une profondeur de 40 à 60 cm (16 à 24 po), où elles demeurent sans se nourrir jusqu'à la fin de l'été suivant. À la fin de l'été de la deuxième année, les larves se transforment en pupes, puis en adultes qui demeurent inactifs jusqu'à la fin de l'automne. En avril et en mai de la troisième année, les adultes émergent du sol pour se nourrir et migrer vers de nouveaux sites de ponte.

Dommmages : On a relevé la présence du charançon de la luzerne dans l'Est de l'Ontario, plus précisément sur l'île Wolfe, dans la région de Prescott et Brockville, à Kemptville et à la Ferme expérimentale centrale d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. La larve se nourrit d'abord des racines latérales, puis s'attaque à la surface de la racine pivotante, y laissant de profondes rainures spirales qui sectionnent souvent complètement la racine. À l'automne, les plants gravement endommagés peuvent jaunir et perdre leurs feuilles (voir photo 15-62). Les adultes se nourrissent des feuilles et des tiges, causant peu de dommages. Les dommages sont plus évidents à la fin de l'été ou au début de l'automne.



Photo 15-62 – Dommages causés par le charançon de la luzerne

Facteurs de risque : Les champs de luzerne au sol à texture légère (p. ex. loam sableux, sable, gravier) situés dans des régions souvent infestées (voir ci-dessus) sont les plus à risque.

Technique de dépistage : Dans les comtés de l'Est de l'Ontario fréquemment infestés, le dépistage se fait tôt, de la fin avril à la fin mai, au moyen d'un filet fauchoir et d'inspections visuelles. Il importe d'examiner le pourtour du champ, le côté des routes et, avant d'entrer dans les champs qui ne sont pas infestés, le matériel de fenaison. Plus tard dans la saison (de septembre à la mi-octobre), on déterre les plants de luzerne flétris et on retourne la terre à proximité avec une pelle pour vérifier la présence de dommages aux racines et de larves. Le charançon de la luzerne peut s'en prendre à toutes sortes d'hôtes. Les larves affectionnent particulièrement la luzerne, mais elles peuvent aussi s'attaquer à toutes les espèces de trèfle, de vigne et de fraisier. Elles s'en prennent même parfois aux mauvaises herbes, en particulier à celles qui ont des racines charnues comme la carotte sauvage et le pissenlit.

Seuil d'intervention : Aucun seuil n'a été établi.

Stratégies de lutte :

- On ne peut compter sur aucun traitement chimique.
- Il importe de bien retirer la terre et les débris végétaux de la machinerie avant de la sortir d'un champ infesté. Pour réduire le risque d'introduire le ravageur dans de nouveaux champs, il est préférable de réaliser tous les travaux dans les champs qui ne sont pas infestés avant de passer à ceux qui le sont.
- Le charançon de la luzerne ne peut survivre très longtemps sans plante-hôte. Il importe donc de procéder fréquemment à la rotation des cultures; après deux ou trois ans de culture de luzerne (une année au stade de plantule et une ou deux années de production), il faut cultiver des espèces qui ne servent pas d'hôtes (p. ex. maïs, soya, céréales à paille) pendant au moins deux ans.
- Les charançons de la luzerne adultes présents durant la récolte peuvent se retrouver dans les balles et y survivre pendant un certain temps. Il faut donc entreposer le foin de première coupe d'une luzernière infestée au moins deux mois avant de l'expédier ailleurs.
- Si l'on soupçonne la présence de ce ravageur, il faut communiquer avec l'entomologiste provincial spécialisé dans les grandes cultures ou un spécialiste des fourrages.

- Des essais menés dans l'État de New York indiquent que des nématodes parasites réduiraient efficacement les populations de ce ravageur.

RAVAGEURS DES CULTURES FOURRAGÈRES DE SURFACE

Les abeilles butinent les cultures fourragères; certaines précautions s'imposent donc pour protéger les pollinisateurs durant l'application d'insecticides foliaires. Voir la section *Protection des pollinisateurs et des insectes utiles* du chapitre 14 pour en savoir plus.

CHARANÇON DE LA LUZERNE (*Otiorhynchus ligustici*)

– VOIR PAGE 384

MINEUSE VIRGULE DE LA LUZERNE (*Agromyza frontella*)

Description : L'adulte de cette espèce est une très petite mouche de 4 mm (0,2 po) noire et arquée. Les larves sont petites et jaune pâle; on les trouve à l'intérieur des tunnels dans le tissu des feuilles.

Cycle biologique : À la fin mai, les mouches adultes émergent des pupes dans lesquelles elles ont hiverné à la surface du sol. Les femelles pondent leurs œufs dans les feuilles des nouveaux plants de luzerne. Les larves viennent à maturité dans les petits tunnels des feuilles, puis se transforment en pupes sur le sol. Une deuxième génération d'adultes apparaît environ une semaine plus tard (à la mi-juillet), et une troisième vers la mi-août.

Dommages : Cet insecte pose maintenant un grave problème dans le Nord de l'Ontario. Il laisse de petites perforations dans les feuilles lorsqu'il s'alimente et pond ses œufs. Après l'éclosion, la larve se nourrit de l'intérieur des feuilles en creusant de petites galeries ou tunnels entre les couches supérieures et inférieures. Ces tunnels partent habituellement de la base de la feuille et s'élargissent à l'extrémité, créant des « pustules » sur leur chemin (voir photo 15-63). En général, les dommages dus à l'alimentation font diminuer la qualité du fourrage, mais nuisent peu au rendement, sauf en cas de grande sécheresse.



Photo 15-63 – Mineuse virgule de la luzerne

Facteurs de risque : Sont à risque les zones où l'on applique une quantité considérable d'insecticide foliaire, ce qui peut être néfaste pour les parasitoïdes qui s'attaquent au ravageur.

Technique de dépistage : On inspecte les champs toutes les semaines pour vérifier la présence de feuilles perforées.

Seuil d'intervention : On n'intervient que si 40 % des folioles ont été perforées par des adultes.

Stratégies de lutte :

- Il existe dans le Sud de l'Ontario une espèce de parasite qui est efficace contre la mineuse virgule de la luzerne. Les insecticides lui sont toutefois nuisibles; par conséquent, on conseille de les éviter à moins que la population de mineuses virgules de la luzerne soit extrêmement élevée.
- Pour qu'un insecticide soit efficace, on doit l'appliquer au plus tard au moment où les perforations apparaissent.
- Il est possible que la première coupe coïncide avec la première génération et qu'elle permette donc de réduire efficacement la population de ce ravageur.

CHARANÇON POSTICHE DE LA LUZERNE (*Hypera postica*)

Description : Le charançon postiche de la luzerne est brun, mesure environ 5 mm (0,2 po) de long et a une bande longitudinale brun foncé au milieu du dos (voir photo 15-64). Les larves, de couleur vert vif, ont la tête noire, six pattes et une rayure blanche distinctive au milieu du dos. À maturité, elles mesurent environ 8 mm (0,33 po) de long (voir photo 15-65). Les cocons soyeux contenant les pupes se trouvent sur les feuilles recourbées au sommet des plants (voir photo 15-66).



Photo 15-64 – Charançon postiche de la luzerne adulte



Photo 15-65 – Larve de charançon postiche de la luzerne



Photo 15-66 – Cocon de charançon postiche de la luzerne

On confond parfois le charançon postiche de la luzerne et le charançon des feuilles du trèfle. Or, ce dernier devient beaucoup plus gros et a la tête brun pâle, et sa rayure blanche est bordée de rose. Il est rarement à l'origine de dommages économiques.

Cycle biologique : On compte une génération de cet insecte par année. Les adultes hivernent dans les résidus de culture et émergent au printemps pour se nourrir des nouvelles pousses. La ponte a lieu dans les tiges de luzerne en mai. Après l'éclosion, les larves atteignent le sommet des plants, où elles se nourrissent des bourgeons à feuilles et des boutons floraux. À la fin juin ou au début juillet, elles s'enferment dans des cocons blancs peu serrés, dans les feuilles (pupaison). Elles en émergent en tant qu'adultes une à deux semaines plus tard.

Dommages : Les larves causent le plus de dégâts, puisqu'elles s'alimentent de l'intérieur des bourgeons à feuilles en se déplaçant vers le haut des plants. Les dommages se manifestent d'abord par des perforations, puis par des tissus d'apparence décharnée entre les nervures. Dans les champs fortement infestés, les feuilles sont endommagées au point que les champs ont l'air blanc grisâtre ou givré. Les dommages aux tissus foliaires peuvent rapidement nuire à la qualité fourragère. Les adultes qui se nourrissent pendant l'été ne causent pas de dégâts considérables.

Facteurs de risque : L'emploi fréquent d'insecticides foliaires peut être néfaste pour les agents de lutte biologique. Les printemps secs peuvent nuire au développement de champignons pathogènes qui s'attaquent au charançon postiche de la luzerne. Les hivers doux peuvent contribuer à la survie des adultes, et le temps chaud au mois de mai peut entraîner l'émergence précoce des adultes, avant que la culture lève. Il devient alors impossible de procéder à la récolte précoce pour contrer ce ravageur.

Technique de dépistage : Le dépistage consiste à inspecter plusieurs parties de chaque champ deux fois par semaine entre la mi-mai et juin. Les premiers dommages se manifestent dans les sols peu profonds ou sur les pentes orientées vers le sud, surtout si le printemps est chaud et sec. En Ontario, on a observé que le point culminant des dommages coïncide normalement avec le stade du bouton de la première culture. Pour compter les larves, on prélève, suivant un tracé en forme de « M », 30 tiges que l'on place ensuite dans un seau blanc et que l'on frappe contre la paroi afin d'enlever les larves des troisième et quatrième stades. Les larves des premier et deuxième stades, plus petites (au plus 3 mm de long), sont d'une couleur variant de jaune pâle à vert pâle, et n'ont pas encore de rayure blanche. Il peut y en avoir dans les feuilles supérieures, mais il ne faut pas compter ces larves plus jeunes. Il importe de vérifier si les larves sont actives

et saines. Les larves infectées par le champignon pathogène, qui sont jaunes ou havane, se déplacent lentement.

Seuil d'intervention :

- L'évaluation du seuil d'intervention et des mesures appropriées (récolte ou traitement insecticide) est fondée sur la gravité des dommages aux pointes des feuilles et le nombre d'insectes observés. Si 40 % des pointes des feuilles sont abîmées, qu'il y a deux ou trois charançons actifs par tige et qu'il reste plus de sept à dix jours avant la date de récolte optimale, il faut envisager d'épandre un insecticide. (On entend par « feuilles abîmées » le pourcentage de pointes de feuilles qui présentent des signes évidents de dommages, et non le pourcentage de défoliation.)
- Aucune intervention n'est nécessaire s'il y a moins d'une larve active par tige; par contre, il faut continuer de surveiller la situation.
- Si la luzerne mesure moins de 40 cm (16 po) de haut et contient deux larves actives par tige, il faut intervenir.
- S'il y a plus de trois larves actives par tige, il faut intervenir immédiatement.

Si les populations de charançons sont élevées lors d'une première coupe précoce, il peut arriver que les larves survivantes s'alimentent des repousses de luzerne, ce qui peut entraîner une perte totale du peuplement. Si le champ est fortement infesté, il importe de surveiller la repousse du chaume. Principal signe à surveiller : les plants de luzerne ne verdissent pas, car les charançons se nourrissent des bourgeons du collet. La présence d'au moins deux larves actives par collet ou de quatre à huit larves par zone de 30 cm² (1 pi²) justifie la pulvérisation d'un insecticide sur le chaume.

Stratégies de lutte :

- Des traitements insecticides ne sont recommandés que lorsqu'il est impossible de faucher la luzerne, par exemple avant le stade du bouton, où le fauchage risquerait de réduire la vigueur du peuplement et de donner un fourrage de trop grande qualité pour la plupart des animaux d'élevage. La repousse peut également afficher un moins bon rendement en raison des dommages attribuables au charançon.
- La clé de la lutte contre le charançon postiche de la luzerne est l'opportunité de la récolte ou l'application d'un insecticide selon l'inspection des champs. Si l'infestation est menaçante, il faut faucher immédiatement les champs afin d'éviter les dommages dus à l'alimentation. La plupart des larves seront ainsi éliminées du champ. Généralement, les

larves restantes se dessèchent, meurent de faim ou sont la proie d'ennemis naturels.

- Les insecticides foliaires tuent aussi les insectes utiles, ennemis naturels du charançon. Leur emploi augmente donc les risques d'infestations futures.
- À l'occasion, s'il fait chaud au mois de mai, les charançons éclosent tôt, et les dommages dus à l'alimentation se manifestent avant le stade du bouton (où l'on peut récolter la luzerne). Le cas échéant, un traitement insecticide pourrait être justifié.

LÉGIONNAIRE UNIPONCTUÉE (*Mythimna unipuncta*)

LÉGIONNAIRE D'AUTOMNE (*Spodoptera frugiperda*)

Description et cycle biologique : Voir la page 358 pour la légionnaire uniponctuée et la page 370 pour la légionnaire d'automne.

Dommages : Les cultures fourragères mixtes sont généralement plus à risque lorsque des infestations de légionnaires surviennent dans des champs de céréales et de maïs. Les larves se nourrissent de nuit. Elles ne s'en prennent pas aux peuplements purs de luzerne, mais plutôt aux mélanges de luzerne et de graminées. Les larves rongent le pourtour des feuilles de graminées, puis se déplacent vers le haut des plants pour se nourrir des panicules, ne laissant que les nervures principales. Les infestations de légionnaires uniponctuées sont généralement causées par la deuxième génération, lorsque les céréales et les autres plantes-hôtes sont à un stade de croissance plus avancé, mais la première génération peut également être problématique en juin si les champs de céréales et de maïs adjacents sont infestés. La légionnaire d'automne pose quant à elle problème à la fin de l'été.

Facteurs de risque : Sont à risque les cultures fourragères mixtes adjacentes à des champs de céréales et de maïs infestés.

Technique de dépistage : Le meilleur moment pour inspecter les champs est à la brunante ou juste après. On examine 10 points du champ pour évaluer le nombre de larves par zone de 30 cm² (1 pi²). Si le champ est bordé de champs de céréales ou de maïs, il faut en inspecter le pourtour pour y détruire les larves qui proviennent des champs avoisinants avant qu'elles envahissent la culture. Le jour, les larves se réfugient parfois dans les débris de culture qui jonchent le sol

ou sous des mottes de terre. Il est également possible que des excréments bruns, souvent confondus avec des œufs, se trouvent sur le sol près du plant. Pendant l'observation sur le terrain, il importe de vérifier si les larves portent des œufs de mouche parasite sur leur dos. Ces petits œufs, ovales et jaunâtres, se trouvent habituellement juste derrière la tête de la larve. De ces œufs vont naître des asticots qui tueront les larves de légionnaires (voir photo 15-73).

Seuil d'intervention : Une intervention est justifiée si l'on trouve au moins cinq larves mesurant moins de 2,5 cm (1 po) par zone de 30 cm² (1 pi²). Dans les cultures au stade de plantules, la présence, dans un carré de 30 cm² (1 pi²), de deux ou trois larves de moins de 2,5 cm (1 po) de long peut justifier une intervention. Les traitements insecticides sont à éviter en présence d'un grand nombre de larves parasitées.

Stratégies de lutte :

- Si les larves font plus de 2,5 cm (1 po) de long, il n'y a aucun avantage à appliquer un insecticide puisque le gros des dommages est déjà fait.
- Il est possible de restreindre le traitement aux zones infestées. Si les légionnaires migrent depuis des champs de maïs ou de céréales adjacents, il peut être suffisant de pulvériser l'insecticide sur le pourtour du champ.
- Des parasites et d'autres organismes utiles réussissent habituellement à maintenir les populations de légionnaires sous le seuil de nuisibilité, sauf durant les printemps frais et pluvieux, qui nuisent à ces parasites.

CICADELLE DE LA POMME DE TERRE (*Empoasca fabae*)

Description : La cicadelle adulte est un insecte ailé vert pâle d'environ 3 mm de long, qui possède des pièces buccales de type perceur-suceur (voir photo 15-67) et un corps cunéiforme : elle a la tête plus large et un corps qui s'affine graduellement en allant vers le bout des ailes. Elle a aussi six taches blanches rondes sur le derrière de la tête. Les nymphes sont aptères et plus petites que les adultes (voir photo 15-68).



Photo 15-67 – Cicadelle de la pomme de terre adulte



Photo 15-68 – Nymphe de la cicadelle de la pomme de terre

Cycle biologique : La cicadelle de la pomme de terre n'hiverné pas en Ontario. Elle migre vers le nord chaque printemps, portée par les masses d'air venant du golfe du Mexique. Les adultes peuvent arriver à la fin du printemps et se nourrissent d'abord de la sève des plants. Les femelles pondent leurs œufs dans le tissu des nervures principales et des pétioles des feuilles. Le passage d'œuf à adulte prend environ quatre semaines.

Dommages : Les plantules et les jeunes repousses sont les plus vulnérables aux dommages. Ceux-ci sont causés tant par les nymphes que les adultes, qui sucent la sève des feuilles et y injectent des protéines obstruant les nervures. Le pourtour des feuilles jaunit et développe des cloques; c'est ainsi qu'apparaît un « V » jaune caractéristique commençant à l'extrémité des feuilles. Lorsque les dommages sont graves, les feuilles semblent roussies, ce que l'on appelle la « brûlure de la cicadelle » (voir photo 15-69). Les dommages causés par l'alimentation de la cicadelle de la pomme de terre compromettent l'élongation des tiges, nuisent à la croissance des racines et provoquent l'enroulement des feuilles et le rabougrissement du plant. Une infestation

grave peut entraîner une perte de rendement de 50 % et une réduction de 2 à 3 % de la teneur en protéines des fourrages. Le manque de vigueur du peuplement ralentit la repousse après une coupe, ce qui expose davantage la culture à la destruction par l'hiver. Les rangs périmétriques sont habituellement les premiers touchés. La plupart des dommages surviennent entre juin et la mi-août. Les principaux facteurs de risque comprennent les saisons chaudes plus sèches que la normale. Les signes de dommages sont parfois confondus avec des signes de carence en éléments nutritifs ou des dommages causés par les herbicides, et sont souvent attribués à la sécheresse.



Photo 15-69 – Brûlure de la cicadelle sur un plant de luzerne

Facteurs de risque : Le temps chaud et sec peut favoriser les infestations. Les champs qui bordent le lac Érié ont tendance à être infestés plus souvent.

Technique de dépistage : Comme les pertes économiques surviennent avant même l'apparition des signes de dommages, il importe de déceler les fortes infestations de cicadelles avant qu'il soit trop tard, en particulier dans les nouveaux semis. Il faut procéder au dépistage fréquemment, car un nombre de cicadelles supérieur au seuil d'intervention peut être porté par les vents orageux jusqu'aux champs en l'espace d'une seule nuit. Le dépistage avec un filet fauchoir est expliqué à la section *Utilisation d'un filet fauchoir* du chapitre 10, *Dépistage*. Cette technique permet de déterminer s'il y a lieu de devancer la récolte ou de procéder à une pulvérisation. Le dépistage se fait tous les cinq à sept jours dès la première coupe. À partir de la fin juin, on fait vingt balayages à l'aide d'un filet fauchoir en cinq points du champ en évitant les rangs périmétriques et l'on calcule la moyenne de cicadelles capturées. Ensuite, on prend vingt tiges de luzerne au hasard, on en mesure la hauteur moyenne et on détermine si le seuil d'intervention a été atteint à l'aide du tableau 15-6, *Seuils d'intervention contre la cicadelle de la pomme de terre dans la luzerne*.

Tableau 15-6 – Seuils d'intervention contre la cicadelle de la pomme de terre dans la luzerne

Hauteur des tiges ¹	Cicadelles capturées par balayage ²
9 cm (3,5 po)	0,2 adulte
15 cm (6 po)	0,5 adulte
25 cm (10 po)	1,0 adulte ou nymphe
36 cm (14 po)	2,0 adultes ou nymphes

¹ Plus la luzerne est haute, plus on peut tolérer de cicadelles avant d'intervenir.

² Un balayage du filet fauchoir correspond à un arc de 180°.

Stratégies de lutte :

- Il existe des cultivars résistants dont la pubescence agit comme facteur de résistance. Ces poils, tant sur les feuilles que sur les tiges, empêchent la cicadelle de se nourrir. Comme ils ne sont pas entièrement formés durant la première année de croissance, il faut se fier aux seuils indiqués dans le tableau 15-6 pour les nouveaux semis de ces cultivars.
- Avant de décider d'utiliser ou non un cultivar résistant, il faut tenir compte des niveaux d'infestation types (plus élevés dans les comtés bordant le lac Érié), du coût du dépistage, des coûts associés aux insecticides et à leur pulvérisation, du supplément payé pour des cultivars résistants et des autres caractéristiques du cultivar (rendement et résistance aux maladies).
- Faucher la luzerne tôt dans la saison peut contribuer à réduire le nombre d'œufs, de nymphes et d'adultes. De plus, il existe un champignon pathogène naturellement présent qui réduit les populations de cicadelles de la pomme de terre par temps humide.
- Avant d'appliquer un insecticide, il faut vérifier que le seuil d'intervention a été atteint et qu'il n'est pas possible de procéder à la coupe. La pulvérisation d'insecticides sur la luzerne tue aussi les ennemis naturels de la cicadelle.

HESPÉRIE DES GRAMINÉES (*Thymelicus lineola*)

Description : L'hespérie des graminées est un ravageur sporadique de la fléole, qu'elle soit cultivée pour le foin ou pour la semence. Normalement, on trouve les larves enroulées à l'intérieur des feuilles dont elles se nourrissent. Les jeunes larves ont une tête noire qui devient progressivement brune. À maturité, les larves, vert pâle, mesurent environ 19 mm (0,75 po) de long et ont la tête brune et deux rayures pâles. L'hespérie des graminées adulte est un papillon orange citrouille de 2,5 cm (1 po) d'envergure qui se déplace d'un champ de foin à l'autre en milieu d'été.

Cycle biologique : On compte une génération de cet insecte par année. Les œufs hivernent sur les tiges de résidus de culture et de mauvaises herbes et éclosent au printemps. Les jeunes larves s'enroulent dans les feuilles, qu'elles ferment grâce à un tissu soyeux. Elles se nourrissent de fléole et d'autres graminées jusqu'à la fin juin. Ensuite, les larves s'attachent aux tiges de graminées ou au revers des feuilles de mauvaises herbes et se transforment en chrysalides (stade nymphal du papillon). Les adultes émergent environ deux semaines plus tard.

Dommages : Les larves déchiquettent le bord des feuilles de façon irrégulière. Une infestation grave peut entraîner une défoliation, souvent attribuée à tort à la légionnaire. Lorsqu'elles sont très nombreuses, les larves se nourrissent également du sommet des plants, ne laissant que les tiges. Les adultes s'alimentent du nectar des fleurs et des mauvaises herbes et ne causent pas beaucoup de dégâts.

Technique de dépistage : Le dépistage des larves débute à la fin avril. On prélève au hasard cinq échantillons de fourrage dans une zone de 30 cm² (1 pi²) au niveau du sol, puis on les place avec des résidus de culture dans un sac qu'on laisse fermé jusqu'au lendemain matin à la température ambiante. Les chenilles sortiront des résidus et seront alors faciles à compter.

Seuil d'intervention : Une intervention peut être justifiée si l'on trouve de six à huit jeunes larves à tête brune dans une zone de 30 cm² (1 pi²)

Stratégies de lutte :

- Les recommandations concernant les insecticides figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.
- Des produits contenant du *Bacillus thuringiensis* (Bt) sont conçus pour la production biologique.

Ravageurs des céréales

Le tableau 15-7, *Signes d'infestation dans les champs de céréales*, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les signes décrits.

Tableau 15-7 – Signes d’infestation dans les champs de céréales

LÉGENDE :		O = compte parmi les signes d'infestation – = ne compte pas parmi les signes d'infestation										
Signes		Ravageurs										
		Asticots (p. 343)	Ver fil-de-fer (p. 347)	Limace (p. 352)	Pucerons des céréales (p. 392)	Mouche de Hesse (p. 393)	Cricère des céréales (p. 394)	Légionnaire uniponctué (p. 358, 395)	Pyrale du maïs (p. 317)	Tenthrede (p. 396)	Cèpe du blé	Mouche des tiges du blé
Dommages aux racines et aux plantules	Peuplement clairsemé	O	O	O	–	–	–	–	–	–	–	–
	Semences vidées	–	–	O	–	–	–	–	–	–	–	–
	Racines des plantules coupées	O	O	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	• Plants rabougris devenant bleu-vert • Tallage • Présence de pupes semblables à des graines de lin dans la base des tiges • Dommages surtout observés dans les champs ensemencés au début de l'automne	–	–	–	–	O	–	–	–	–	–	–
Dommages aux feuilles	• Égratignures parallèles aux nervures • Taches sur les vêtements après le dépistage	–	–	–	–	–	O	–	–	–	–	–
	Feuilles déchirées, comme par la grêle	–	–	O	–	–	–	–	–	–	–	–
	Trous aux pourtours déchiquetés ou défoliation complète laissant uniquement les tiges	–	–	–	–	–	–	O	–	O	–	–
	• Présence de pucerons sur la collerette • Plants devenant d'une couleur bronze • Feuilles de l'épi tordues limitant la croissance de celui-ci • Dommages surtout observés dans les champs de céréales ensemencés au début de l'automne	–	–	–	O	–	–	–	–	–	–	–
Dommages aux tiges et aux épis	• Tiges cassant facilement à la hauteur d'un nœud • Entre-nœuds courts	–	–	–	–	O	–	–	–	–	–	–
	• Plants se cassant et versant à partir de la base • Galeries creusées dans tout le plant, y compris les nœuds • Épis non blanchis • Présence de larves près de la base des plants	–	–	–	–	–	–	–	–	–	O	–
	• Épis blanchis • Présence de chenilles dans les tiges • Dommages surtout observés dans l'Est de l'Ontario	–	–	–	–	–	–	–	O	–	–	–
	• Tiges coupées en morceaux d'environ 13 cm (5 po) laissés sur le sol	–	–	–	–	–	–	–	–	O	–	–
	• Tiges faciles à arracher • Épis blanchis alors que les plants sont encore verts • Piètre remplissage des grains • Présence d'asticots (apodes) dans les tiges près du sommet des plants	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	O
	Épis coupés	–	–	–	–	–	–	O	–	O	–	–

RAVAGEURS TERRICOLES DES CÉRÉALES

ASTICOTS – VOIR PAGE 343

VER FIL-DE-FER – VOIR PAGE 347

LIMACE – VOIR PAGE 342

RAVAGEURS DES CÉRÉALES DE SURFACE

Complexe des pucerons des céréales :

PUCERON DU MERISIER À GRAPPES

(*Rhopalosiphum padi*)

PUCERON DES CÉRÉALES

(*Sitobion avenae*)

PUCERON DU MAÏS

(*Rhopalosiphum maidis*)

Description : On trouve principalement trois espèces de pucerons dans les champs de céréales de l'Ontario, la plus courante étant le puceron du merisier à grappes. Il s'agit de petits insectes de 2 mm ou moins. L'adulte est vert olive, avec des taches rouge orangé vers l'arrière de l'abdomen entre deux protubérances appelées « cornicules » (voir photo 15-70). Les cornicules et les pattes sont vert pâle, et les antennes, longues et noires. Les jeunes pucerons sont vert pâle. Les adultes ailés sont plus foncés que les adultes aptères.



Photo 15-70 – Pucerons du merisier à grappes

Le puceron des céréales est en général le plus gros des trois espèces. Il est vert pâle ou abricot et a un corps allongé, de longues pattes qui peuvent paraître vertes ou noires et de longues antennes et cornicules noires.

Le puceron du maïs est lui aussi vert olive, mais ses pattes, cornicules et antennes sont noires et son corps est plutôt rectangulaire, tandis que celui du puceron du merisier à grappes est piriforme. Les adultes ailés sont plus foncés que les adultes aptères.

Le puceron russe du blé est très dangereux pour

les céréales, mais sa présence n'a pas été relevée en Ontario.

Cycle biologique : Les pucerons qui envahissent les céréales hivernent en Ontario sur le blé d'automne, en particulier durant les hivers doux marqués par une épaisse couverture de neige, mais bon nombre d'entre eux migrent dans la province, portés par des vents orageux. Dès qu'ils trouvent une culture-hôte, ils colonisent les jeunes plants et produisent plusieurs générations aptères jusqu'à ce qu'ils aient besoin de voler vers des plants moins fortement infestés. Tous les pucerons sont des femelles qui donnent naissance à des nymphes vivantes. On en compte plusieurs générations par année.

Domages : En Ontario, il est rare que les pucerons soient directement responsables de dommages. Ils s'agglutinent sur le dessus des feuilles près de la base des jeunes plants. Tôt ou tard, ils atteignent le sommet des plants et s'installent dans les verticilles. Toutes les espèces de pucerons ont des pièces buccales de type perceur-suceur qui aspirent la sève (éléments nutritifs) contenue dans les tissus des jeunes plants. Les pucerons sécrètent une substance collante appelée « miellat », qui peut se couvrir de fumagine. De fortes populations peuvent donner au champ une coloration bronzée et tordre les feuilles de l'épi, qui serrent les barbes et entraînent ainsi la déformation des épis de blé. Les feuilles tordues par le puceron du merisier à grappes ont une forme de tire-bouchon. Les pucerons sont des vecteurs du virus de la jaunisse nanisante de l'orge (voir *Jaunisse nanisante de l'orge* au chapitre 16).

Facteurs de risque : Les hivers doux favorisent la présence de pucerons. Les champs ensemencés à la fin de l'été ou au début de l'automne (août ou septembre) sont ceux qui risquent le plus d'être infestés à l'automne. Les céréales spontanées assurent la survie des pucerons jusqu'au semis d'une culture-hôte et peuvent augmenter le risque de transmission du virus.

Technique de dépistage : Le dépistage des pucerons qui envahissent les céréales est important à l'automne, car une infection en début de saison par le virus de la jaunisse nanisante de l'orge peut être désastreuse. Au printemps, on parcourt le champ chaque semaine avant l'épiaison. On examine vingt tiges en cinq points du champ et l'on secoue les plants au-dessus d'une feuille de papier pour dénombrer les pucerons présents ou l'on cherche des colonies à la collerette. Il faut également noter s'il y a des prédateurs et si les pucerons sont parasités ou infectés par un champignon.

Seuil d'intervention : Une intervention peut être justifiée s'il y a de 12 à 15 pucerons par tige avant l'épiaison, nombre pouvant atteindre 50 pucerons par épi par la suite.

Stratégies de lutte :

- Il convient d'appliquer un insecticide lorsque le seuil est atteint. Afin de prévenir toute infection par le virus de la jaunisse nanisante de l'orge dans les céréales d'automne, il ne faut pas faire les semis plus de 10 jours avant la date de semis optimale pour la région, indiquée dans la figure 4-4, *Dates de semis optimales du blé d'automne en Ontario*, qui se trouve au chapitre 4, *Céréales*.
- La destruction du blé spontané deux ou trois semaines avant les semis peut contribuer à réduire les populations de pucerons aux abords des cultures de céréales et le risque de transmission du virus.
- Les pucerons ont plusieurs ennemis naturels, notamment les coccinelles (larves et adultes) et les larves de syrphes et de chrysopes. Parmi les plus importants ennemis naturels, on trouve aussi des guêpes parasites qui peuvent décimer des populations de pucerons avant qu'un traitement soit nécessaire.

MOUCHE DE HESSE
(*Mayetiola destructor*)

Description : Au stade adulte, la mouche de Hesse ressemble à un petit moustique. Elle est gris foncé et frêle. Son abdomen est pointu et rouge terne. Les adultes volent mal et ne vivent qu'environ trois jours. Les larves sont des asticots blancs et apodes de 2 mm de long. Les pupes sont brun rougeâtre, ont la forme de graines de lin et peuvent être observées à la base des plants à la fin de l'automne et au début du printemps.

Cycle biologique : On compte deux générations par année. La mouche de Hesse hiverne dans une coque de nymphose qui ressemble à une graine de lin à la base du feuillage des vieux plants. La pluie déclenche l'apparition des adultes au printemps. Les femelles pondent leurs longs œufs rougeâtres en rangées, qui rappellent un chapelet de saucisses, sur la face supérieure des feuilles des jeunes plants de blé d'automne ou de blé spontané. Les larves se développent et se nourrissent pendant environ trois semaines avant de former une coque de nymphose au milieu de juin. Une deuxième génération apparaît, et l'insecte poursuit son cycle jusqu'à la fin septembre, où il forme une coque de nymphose pour y hiverner.

Dommages : Les infestations de mouches de Hesse sont rares en Ontario. Bien que les dommages puissent survenir au printemps et à l'automne, c'est

la population d'automne qui est la plus à craindre, surtout pour les cultures de blé d'automne. D'autres cultures céréalières, dont l'orge, l'avoine et le seigle, semblent tolérer davantage les pucerons, mais elles n'en sont pas épargnées pour autant.

Les plants semés à l'automne peuvent être rabougris. Les larves se nourrissent à l'intérieur de la gaine foliaire à la base des jeunes plants. Les enzymes qu'elles sécrètent dans le plant provoquent l'épaississement des tiges, le rabougrissement des plants et l'élargissement des feuilles. Les plants peuvent produire de multiples talles. Les plants infestés prennent une teinte d'un bleu-vert foncé. Leur survie à l'hiver est compromise. Les dommages causés au printemps par la première génération se concentrent juste au-dessus des nœuds, là où les larves se nourrissent. Les entre-nœuds ne s'allongent pas, ce qui nuit au transport des éléments nutritifs vers l'épi. À la moindre traction, les tiges cèdent au niveau des nœuds infestés. Les épis blanchissent parfois, et les plants peuvent verser.

Facteurs de risque : Les champs les plus à risque sont ceux où poussent des cultivars sensibles de blé d'automne qui ont été semés tôt, avant les périodes d'inactivité de la mouche, indiquées à la figure 4-4, *Dates de semis optimales du blé d'automne en Ontario*, du chapitre 4, *Céréales*.

Technique de dépistage : Au printemps, on inspecte les champs au début du remplissage des épis en cherchant des plants qui ont des entre-nœuds courts et des épis blancs. On tire doucement sur leur tige pour voir si elle cède facilement à la hauteur d'un nœud, puis on vérifie la présence de larves à l'intérieur de l'entre-nœud, là où la tige s'est cassée. À l'automne, le dépistage débute trois semaines après la levée des plants de blé. On examine vingt plants en cinq points du champ, où l'on écarte les feuilles de façon à en voir la base sur la tige. Pour déterminer l'ampleur de l'infestation, on cherche des coques de nymphose en forme de graines de lin.

Seuil d'intervention : Aucun seuil n'a été établi. La lutte repose sur la prévention.

Stratégies de lutte :

- Il n'existe aucun traitement de secours. Ici, la prévention est la clé.
- En retardant les semis de céréales d'automne jusqu'au moment où les vols de mouche de Hesse ont cessé, on s'assure que les plants ne lèveront pas avant la fin de la ponte. Les champs ensemencés en août et au

début septembre sont les plus à risque.

- Il faut éviter de cultiver du blé deux années d'affilée dans le même champ et il faut détruire le blé spontané et le chaume avant le semis.
- Il existe des cultivars résistants.

CRIOCÈRE DES CÉRÉALES

(*Oulema melanopus*)

Description : Le criocère des céréales adulte est un coléoptère bleu-vert métallique d'environ 5 mm (0,2 po) de long, à la tête et aux pattes orange rougeâtre (voir photo 15-71). Les larves mesurent 6 mm (0,25 po) de long à maturité et sont jaunâtres, mais leur couleur est obscurcie par une couche d'excréments noire qui leur donne l'aspect de limaces (voir photo 15-72).



Photo 15-71 – Criocère des céréales adulte

Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.



Photo 15-72 – Larve de criocère des céréales

Cycle biologique : On compte une génération par année. Les criocères des céréales hivernent au stade adulte dans les débris de feuilles situés dans des zones abritées comme les boisés et les épaisses couches de résidus de végétaux. Ces adultes émergent au début du printemps, après quoi les femelles fertilisées pondent leurs œufs dans les champs de blé, sur la face supérieure des feuilles. De ces œufs vont naître des larves dès la mi-mai. Les larves se transforment ensuite en pupes, d'où émergent les adultes vers la mi-juin. Ces derniers se nourrissent brièvement de blé, puis envahissent les champs de maïs pour se nourrir pendant un court laps de temps avant d'entrer en dormance jusqu'à l'automne, où ils se dirigent vers les sites d'hivernation.

Dommages : Les criocères des céréales se nourrissent de blé, d'avoine, de maïs, de fourrages et de graminées adventices. Les semis printaniers sont les plus attrayants, particulièrement les semis tardifs, bien que certaines cultures de blé d'automne puissent aussi être infestées au printemps. Les adultes et les larves causent tous deux des dommages en dévorant de longues bandes de tissus entre les nervures des feuilles. Comme la couche superficielle de la feuille reste intacte, les dommages font penser à des « fenêtres » (voir photo 15-72). Le gros des dommages est causé par les larves en juin. Les champs lourdement endommagés semblent argentés.

Facteurs de risque : Le labour propre augmente les risques d'infestation par ce ravageur, car il détruit les sites d'hivernation des parasites. Les champs où l'on applique fréquemment des insecticides foliaires sont également plus à risque. Les infestations semblent plus fréquentes dans certaines régions de l'Ontario, notamment celles de Dresden, Bolton, Stayner, Seaforth et Clinton.

Technique de dépistage : Débutant à la fin avril, le dépistage consiste à examiner vingt plants en cinq points du champ et à noter le nombre d'adultes et de larves trouvés sur chacun. Le dépistage se fait tous les cinq jours, étant donné que les populations peuvent s'accroître considérablement en l'espace de quelques journées. Il importe d'inspecter différentes parties du champ, puisque les criocères des céréales ont tendance à y être répartis inégalement. Si des larves sont présentes, les excréments dont elles se recouvrent pour rester humides peuvent salir les feuilles et laisser des traces brunes sur les vêtements ou la peau pendant le dépistage.

Seuil d'intervention : Il faut intervenir si l'on trouve en moyenne trois larves par talle avant le gonflement, ou un criocère (adulte ou larve) par tige entre le gonflement et l'épiaison. Une intervention peut également être justifiée si les feuilles de l'épi se font lourdement endommager au début de l'épiaison.

Stratégies de lutte :

- Il faut employer des insecticides foliaires uniquement lorsque le seuil est atteint tout en respectant le délai de non-traitement avant récolte.
- Les ennemis naturels, en particulier les parasitoïdes, maîtrisent très efficacement ce ravageur, mais certains sont vulnérables aux insecticides. Leur emploi risque donc d'entraîner des infestations fréquentes pendant des années.
- Le labour propre augmente les risques d'infestation par ce ravageur, car il détruit les sites d'hivernation des parasites

LÉGIONNAIRE UNIPONCTUÉE (*Mythimna unipuncta*)

Description et cycle biologique : Voir page 358.

Dommages : Les larves de la légionnaire uniponctuée se nourrissent la nuit. La plupart des dommages dus à leur alimentation surviennent en juillet dans les céréales. Les larves dévorent les feuilles et ne laissent que la tige. Elles peuvent se déplacer vers le haut des plants pour se nourrir des grains et des barbes ou couper les épis de blé.

Facteurs de risque : Les infestations surviennent généralement après un printemps frais et pluvieux, soit des conditions difficiles pour les parasitoïdes qui maîtrisent normalement la légionnaire.

Technique de dépistage : Le meilleur moment pour inspecter les champs est à la brunante ou juste après. Pour ce faire, on examine 10 points du champ et on compte le nombre de larves par zone de 30 cm² (1 pi²). On consigne ensuite le nombre total de larves ainsi que leur taille et le stade de la culture. Le jour, les larves se trouvent parfois parmi les débris de culture qui jonchent le sol ou sous des mottes de terre ou, par temps nuageux, sur les épis de blé. Des excréments bruns sont souvent visibles dans le feuillage et sur le sol. Pendant l'observation sur le terrain, il importe de vérifier si les larves portent des œufs de mouche parasite sur leur dos. Ces petits œufs, ovales et jaunâtres, se trouvent habituellement juste derrière la tête de la larve. De ces œufs vont naître des asticots qui

tueront les larves de légionnaires.

Seuil d'intervention : La lutte chimique est justifiée si l'on trouve quatre ou cinq larves non parasitées de moins de 2,5 cm (1 po) par zone de 30 cm² (1 pi²). Si beaucoup d'épis de blé se font couper, la pulvérisation peut être justifiée, à condition que les larves se nourrissent toujours activement, qu'elles mesurent moins de 2,5 cm (1 po) et que le délai de non-traitement avant récolte ne soit pas dépassé.

Stratégies de lutte :

- Les parasitoïdes (voir photo 15-73), les agents pathogènes utiles (entomopathogènes) et les virus (voir photo 15-74) jouent un rôle important dans le maintien des populations de légionnaires sous le seuil d'intervention chaque année, mais les printemps frais et pluvieux leur sont nuisibles.
- Les traitements insecticides sont à éviter en présence d'un grand nombre de larves parasitées.
- Les traitements insecticides ne sont pas efficaces sur les larves de plus de 2,5 cm (1 po) de long.
- Il est possible de restreindre le traitement aux zones infestées. Si les légionnaires migrent depuis des champs de maïs ou de céréales adjacents, il peut être suffisant de pulvériser l'insecticide sur le pourtour du champ.
- Il importe de respecter le délai de non-traitement avant récolte.



Photo 15-73 – Légionnaire parasitée par un tachinaire
Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.



Photo 15-74 – Légionnaires tuées par un virus
Source : A. Schaafsma, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

RAVAGEURS DES CÉRÉALES S'ATTAQUANT AUX ÉPIS ET AUX TIGES

PYRALE DU MAÏS (*Ostrinia nubilalis*)

Description et cycle biologique : Voir page 361.

Dommages : La pyrale s'attaque parfois au blé de printemps, surtout dans l'Est de l'Ontario, où la souche E de l'espèce est plus répandue. Généralement plus petites que celles qui s'attaquent au maïs, les larves creusent une galerie à l'intérieur des tiges, laissant un trou d'entrée et des excréments à l'extérieur de celles-ci et causant le blanchissement des épis, dommages souvent attribués à tort à la fusariose de l'épi.

Facteurs de risque : Sont surtout à risque les champs de blé de printemps de l'Est de l'Ontario. Il est également possible que les champs en semis direct soient plus à risque.

Technique de dépistage : On inspecte différentes zones de 30 cm² (1 pi²), choisies au hasard, en cherchant des excréments sur la tige des plants et des épis blanchis, puis on arrache les plants ou on en coupe la tige pour trouver les larves qui s'y cachent.

Seuil d'intervention : Aucun seuil n'a été établi. Les dommages, qui ont rarement une incidence économique, passent généralement inaperçus avant qu'il soit trop tard pour employer des méthodes de lutte chimique.

Stratégies de lutte :

- La lutte chimique est inefficace puisque les larves sont à l'abri à l'intérieur des tiges des plants.
- Le retrait des résidus de culture, en particulier le

chaume de maïs et de graminées à l'intérieur et autour des champs, peut réduire les chances de survie hivernale des larves.

- Les graminées adventices sur le pourtour des champs représentent pour la pyrale un lieu d'accouplement de choix, qu'il convient donc d'éliminer.

TENTHRÈDE (Espèces de *Pachynematus*)

Description : La larve vert vif a, tout le long du corps, plusieurs paires de grosses fausses-pattes, qui les distinguent des chenilles (voir photo 15-75). Sa tête brun orangé pâle est légèrement enfoncée sous le corps. Elle mesure environ 25 mm (1 po) de long et se courbe en forme de « C » lorsqu'elle tombe au sol, ce qui lui donne l'apparence d'une petite bille verte. Les adultes ressemblent un peu à des guêpes noires et ont un gros ovipositeur en forme de scie.



Photo 15-75 – Larve de tenthrède

Cycle biologique : On compte une génération par année. Les adultes émergent du sol et pondent leurs œufs sur des graminées à la fin avril ou au début mai. Une fois écloses, les larves se nourrissent pendant environ quatre semaines en passant par six stades larvaires. Ensuite, elles se laissent tomber au sol pour passer le reste de l'été dans la terre et ultimement se transformer en pupes à l'automne.

Dommages : Les rares infestations de tenthrèdes, généralement éparses et plus concentrées près du pourtour des champs, surviennent en même temps que celles des légionnaires, mais peuvent être plus dommageables. Même si les larves se nourrissent en journée, elles sont difficiles à voir puisqu'elles sont de la même couleur que les plants. Elles s'attaquent parfois aux feuilles, mais elles endommagent surtout les tiges : en effet, elles ont la particularité de les couper en morceaux égaux de 10 à 13 cm (4 à 5 po), qu'elles empilent sur le sol (voir photo 15-76). Les légionnaires

ne causent pas ce genre de dommages. Par contre, tout comme ces dernières, les larves de tenthrèdes coupent parfois les épis directement à la base. Une seule larve peut couper de 10 à 12 épis.



Photo 15-76 – Tiges de blé coupées par des tenthrèdes
Source : L. Freitag, Cargill.

Facteurs de risque : Les infestations surviennent généralement après un mois d'avril anormalement chaud, qui représente des conditions idéales pour la ponte. Le semis direct et le travail réduit du sol peuvent augmenter les chances de survie de l'insecte à l'hiver.

Technique de dépistage : Dans le blé, le dépistage se fait chaque semaine dès le début mai, avant qu'un grand nombre d'épis soit coupé. L'inspection doit porter sur 10 zones de 30 cm² (1 pi²) choisies au hasard à l'intérieur et sur le pourtour du champ, dont on secoue vigoureusement les plants pour faire tomber les larves. Pendant le dépistage, il faut porter attention aux plants et aux épis coupés ainsi qu'aux signes de présence et d'alimentation de légionnaires.

Seuil d'intervention : Aucun seuil n'a été établi, mais la lutte chimique pourrait s'imposer si l'on relève la présence de larves ainsi que de trente épis coupés

Tableau 15-8 – Signes d'infestation dans les champs de haricots secs comestibles

LÉGENDE :		Ravageurs									
		O = compte parmi les signes d'infestation – = ne compte pas parmi les signes d'infestation									
Signes		Asticots (p. 343)	Ver fil-de-fer (p. 347)	Mouche des légumineuses (p. 350)	Limace (p. 352)	Cicadelle de la pomme de terre (p. 388, 398)	Chrysomèle du haricot (p. 375, 399)	Coccinelle mexicaine des haricots (p. 399)	Ver-gris occidental du haricot (p. 367, 401)	Pyrale du maïs (p. 361)	Punaise terne (p. 402)
Dommages aux semences et aux plantules	Semences trouées	–	–	O	O	–	–	–	–	–	–
	Peuplement clairsemé	O	O	O	–	–	O	–	–	–	–
	Galerie dans le cotylédon ou l'hypocotyle	–	–	O	–	–	–	–	–	–	–
	Racines coupées	O	O	–	–	–	–	–	–	–	–
Dommages aux feuilles	Trous aux contours déchiquetés semblables aux dommages causés par la grêle	–	–	–	O	–	–	–	–	–	–
	Feuilles dont il ne reste que les nervures	–	–	–	O	–	–	O	–	–	–
	Trous ronds	–	–	–	–	–	O	–	–	–	–
	Pourtours ou extrémités jaunes, et feuilles cloquées et roussies	–	–	–	–	O	–	–	–	–	–
Dommages aux gousses	Trous à la surface	–	–	–	–	–	O	–	–	–	–
	Trous d'entrée, présence de larves et graines dévorées	–	–	–	–	–	–	–	–	O	–
	Trous d'entrée, aucune larve présente et graines dévorées	–	–	–	–	–	–	–	O	–	–
	Taches dures et foncées sur les gousses, et piqûres ou dépressions sur les graines	–	–	–	–	–	–	–	–	–	O

par mètre carré ou de trois épis par pied carré. Il faut également tenir compte des légionnaires qui pourraient être présentes dans le champ.

Stratégies de lutte :

- Il importe de tenir compte du délai de non-traitement avant récolte, car les dommages surviennent généralement tout juste avant le début de celui-ci.
- Il peut être efficace de faire un traitement localisé dans les zones endommagées.
- Il convient d'utiliser la dose supérieure de l'insecticide, car ces insectes sont difficiles à éliminer.

Ravageurs des haricots secs comestibles

Le tableau 15-8, *Signes d'infestation dans les champs de haricots secs comestibles*, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les signes décrits.

RAVAGEURS TERRICOLES DES HARICOTS SECS COMESTIBLES

ASTICOTS – VOIR PAGE 348

VER FIL-DE-FER – VOIR PAGE 347

MOUCHE DES LÉGUMINEUSES – VOIR PAGE 350

LIMACE – VOIR PAGE 352

RAVAGEURS DES HARICOTS SECS COMESTIBLES DE SURFACE

Les abeilles butinent les haricots secs comestibles; certaines précautions s'imposent donc pour protéger les pollinisateurs durant l'application d'insecticides foliaires. Voir la section *Protection des pollinisateurs et des insectes utiles* du chapitre 14 pour en savoir plus.

CICADELLE DE LA POMME DE TERRE (*Empoasca fabae*)

Description et cycle biologique : Voir page 388.

Dommages : La cicadelle s'alimente en perçant les tissus des plants et en en suçant la sève. En réaction, les feuilles s'enroulent et développent des cloques. Tôt ou tard, leur pourtour devient roussi : c'est ce que l'on appelle la « brûlure de la cicadelle ». Les rangs périmétriques sont les premiers touchés. Comme les pertes de rendement surviennent avant même que la brûlure de la cicadelle soit apparente, il ne faut pas se fier à sa présence pour intervenir. Les dommages causés

par la cicadelle de la pomme de terre sont souvent attribués à tort aux herbicides, à une carence nutritive ou à un stress hydrique.

Facteurs de risque : Les principaux facteurs de risque comprennent les saisons chaudes plus sèches que la normale. La cicadelle a tendance à s'attaquer aux champs de soya et de haricots secs comestibles une fois que les champs de luzerne avoisinants ont été fauchés.

Technique de dépistage : En suivant un tracé en forme de « X », on ramasse 10 feuilles trifoliées, nouvellement déployées en totalité, au milieu du feuillage à 10 endroits dans le champ. Il importe de noter que les cicadelles de la pomme de terre adultes s'envolent dès qu'elles sont dérangées, ce qui complique leur dénombrement sur des feuilles coupées.

Seuil d'intervention : Il convient d'appliquer un insecticide foliaire si le nombre de nymphes ou d'adultes par feuille trifoliée a atteint le seuil (voir tableau 15-9, *Seuils d'intervention contre la cicadelle de la pomme de terre dans les haricots secs comestibles*).

Tableau 15-9 – Seuils d'intervention contre la cicadelle de la pomme de terre dans les haricots secs comestibles

Stade de croissance des haricots	Nombre d'adultes ou de nymphes par feuille trifoliée
Feuille unifoliée	0,2
Deuxième feuille trifoliée	0,5
Quatrième feuille trifoliée	1,0
Première floraison	2,0

Stratégies de lutte :

- Le traitement des semences aux insecticides est recommandé pour contrer ce ravageur puisqu'il peut migrer du Sud des États-Unis, porté par les vents orageux, et des champs de luzerne avoisinants en nombre supérieur au seuil. Lorsque la brûlure de la cicadelle apparaît, les dommages ont déjà entraîné une perte de rendement. Des recherches menées au campus de Ridgetown de l'Université de Guelph montrent que le traitement des semences à l'aide d'insecticides est efficace pendant au moins quatre à six semaines suivant le semis, ce qui rend superflu au moins un traitement foliaire.
- Dans les champs ayant déjà été infestés par la cicadelle, il faut envisager de traiter les semences à l'aide d'un insecticide afin de réduire le nombre de traitements foliaires nécessaires.
- Il faut employer des insecticides foliaires uniquement lorsque le seuil est atteint.

- Un champignon pathogène naturellement présent réduit les populations de cicadelles par temps humide. Les prédateurs et parasites semblent pour leur part jouer un rôle mineur dans la maîtrise de cet insecte.
- Si une pulvérisation s'impose durant la floraison, il faut la faire en soirée, moment où les abeilles sont moins actives, aviser les apiculteurs locaux pour qu'ils puissent protéger leurs ruches et utiliser en alternance des produits appartenant à différents groupes chimiques afin de réduire le risque d'apparition de résistances.

INSECTES DÉFOLIATEURS S'ATTAQUANT AUX HARICOTS SECS COMESTIBLES

CHRYDOMÈLE DU HARICOT (*Certoma trifurcata*)

Description et cycle biologique : Voir page 375.

SCARABÉE JAPONAIS (*Popillia japonica*)

Description et cycle biologique : Voir page 347.

COCCINELLE MEXICAINE DES HARICOTS (*Epilachna varivestis*)

Description : Les infestations de coccinelles mexicaines des haricots sont rares en Ontario. Ce sont les uniques coccinelles phytophages présentes dans la province; toutes les autres coccinelles sont des insectes prédateurs utiles. Au stade adulte, cette coccinelle ovale mesure environ 6 mm (0,25 po) de long et a 16 petits points noirs sur le dos, qui est rouge cuivré; elle ressemble ainsi à une coccinelle ordinaire (voir photo 15-77). Par contre, contrairement à la coccinelle ordinaire, la coccinelle mexicaine des haricots a la tête du même rouge cuivré que le dos.



Photo 15-77 – Coccinelle mexicaine des haricots et dommages qu'elle cause

Évaluation de la défoliation des haricots secs comestibles

Des recherches menées au campus de Ridgetown de l'Université de Guelph indiquent qu'avant la floraison, les haricots secs comestibles peuvent perdre 50 % de leurs feuilles sans que cela nuise vraiment à leur rendement (voir figure 15-3, *Pertes de rendement en fonction de la défoliation des petits haricots ronds blancs*). La défoliation complète avant la floraison retarde la maturité de 30 jours, mais une défoliation plus légère n'entraîne aucun retard. À des stades plus avancés, l'incidence de la défoliation est plus grande, mais elle dépend des conditions de croissance et de la capacité du plant à se remettre. La perte de plus du tiers des feuilles durant la floraison ou le remplissage des gousses peut réduire considérablement le rendement.

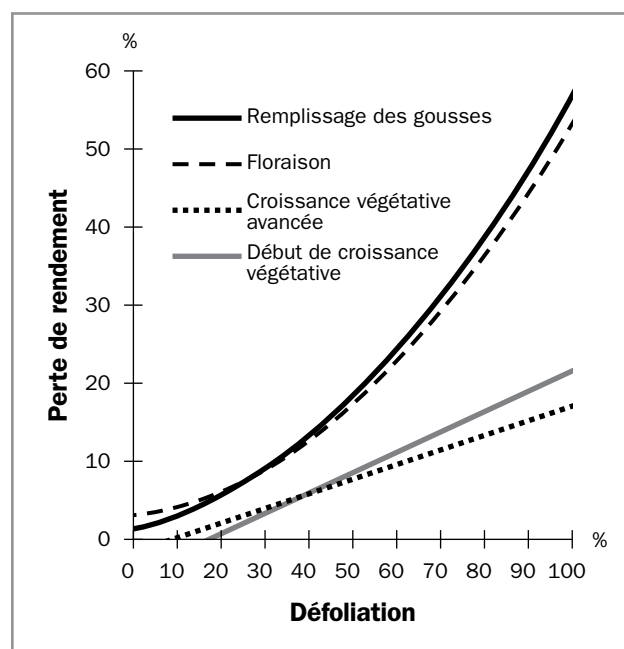


Figure 15-3 – Pertes de rendement en fonction de la défoliation des petits haricots ronds blancs
Source : Schaafsma et Ablett, 1994.

Quelques insectes se nourrissent des feuilles de haricots secs comestibles. La chrysomèle du haricot et les ravageurs occasionnels (p. ex. coccinelles mexicaines des haricots, sauterelles, limaces) peuvent causer la défoliation des haricots secs comestibles, mais ils atteignent rarement le seuil d'intervention. Peu importe le ravageur en question, l'application d'un insecticide dépend de l'ampleur de la défoliation avant le remplissage des gousses et non du nombre d'insectes par plant, quoique les insectes doivent être toujours présents et se nourrir activement pour que le traitement soit rentable. Durant le stade

de remplissage des gousses, il est plus important d'évaluer les dommages aux gousses plutôt que la défoliation.

Technique de dépistage : Des stades végétatifs au remplissage des gousses, le dépistage consiste à prélever, en dix points du champ, des feuilles trifoliées entièrement déployées dans le milieu du feuillage de cinq plants, puis à jeter la foliole la moins endommagée et celle la plus endommagée de chacune de ces feuilles trifoliées. On compare ensuite les folioles restantes à la figure 15-2, *Défoliation du soya due aux insectes défoliateurs*, pour déterminer le pourcentage moyen de défoliation dans le champ et on note le stade de la culture au moment de l'évaluation. **Durant le stade de remplissage des gousses**, on évalue les dommages aux gousses comme l'indique la section *Insectes s'attaquant aux gousses*.

Seuil d'intervention : Le tableau 15-10, *Seuils de défoliation des haricots secs comestibles*, indique le seuil de défoliation correspondant aux différents stades de croissance.

Tableau 15-10 – Seuils de défoliation des haricots secs comestibles

Stade de croissance	Défoliation
Préfloraison (stades végétatifs)	35 %
De la floraison au remplissage des gousses	15 %
Durant le remplissage des gousses	Surveiller les dommages aux gousses (voir section <i>Insectes s'attaquant aux gousses</i>)

Stratégies de lutte :

- Dans les champs où l'on a déjà observé de la défoliation, le traitement des semences aux insecticides permet de protéger les plantules contre la chrysomèle du haricot pendant quelques semaines après le semis, mais un traitement foliaire pourrait tout de même être nécessaire si le seuil de défoliation est atteint. Il est rare que la chrysomèle envahisse les cultures de haricots secs comestibles avant la mi-saison.
- Les insecticides sont inefficaces contre les limaces et ne réduisent donc pas les dommages qu'elles causent. Par ailleurs, il n'existe aucun traitement de secours efficace contre les limaces.

Insectes s'attaquant aux gousses

Lorsque la culture de haricots secs comestibles atteint le stade de remplissage des gousses, il est plus important d'évaluer les dommages aux gousses plutôt que la défoliation. Voici les insectes qui peuvent s'attaquer aux gousses.

CHRYSMÈLE DU HARICOT (*Certoma trifurcata*)

Description et cycle biologique : Voir page 375.

Dommages : La chrysomèle s'alimente de la surface des gousses, ne laissant qu'une mince couche de tissus pour protéger les graines, mais il est rare qu'elle les perce. Ces lésions augmentent la vulnérabilité des gousses à des maladies secondaires, telles que l'alternariose (voir photo 15-78). Il arrive aussi que les gousses soient coupées du plant, mais ce n'est pas la principale cause de perte de rendement. Si les gousses présentent des trous d'entrée, il est plus probable que les dommages aient été causés par le ver-gris occidental du haricot ou la pyrale du maïs.



Photo 15-78 – Gousse endommagée par la chrysomèle du haricot

Technique de dépistage : Durant le stade de remplissage des gousses, on examine les gousses de vingt plants dans cinq points en évitant les pourtours du champ et on compte le nombre de gousses endommagées ou sectionnées et le nombre d'adultes présents.

Seuil d'intervention : Compte tenu de la valeur élevée des haricots secs comestibles et des normes de qualité rigoureuses auxquelles ils doivent satisfaire, une intervention peut être nécessaire si de 5 à 8 % des gousses inspectées présentent des traces d'alimentation de la chrysomèle. Avant la pulvérisation, il faut vérifier que les adultes sont encore actifs dans le champ.

Stratégies de lutte :

- Il convient d'utiliser des insecticides foliaires si le seuil d'intervention est atteint et que les adultes se nourrissent toujours activement.
- Il importe de tenir compte du délai de non-traitement avant récolte lorsque la récolte approche.

VER-GRIS OCCIDENTAL DU HARICOT
(*Striacosta albicosta*)

Description et cycle biologique : Voir page 367.

Dommages : Les larves s'attaquent d'abord aux feuilles, mais dès que les larves sont plus grosses, elles percent les gousses et se nourrissent des gousses et des graines (voir photo 15-79). Le ver-gris occidental du haricot est le seul insecte à entrer dans les gousses durant la nuit et à en ressortir avant l'aube. Ainsi, chaque nuit, les larves pénètrent dans de nouvelles gousses pour se nourrir. Les graines endommagées semblent piquées, ce qui peut nuire à leur classement et entraîner des frais supplémentaires pour leur tri une fois aux silos-éleveurs. Les trous d'entrée dans les gousses favorisent aussi la transmission de maladies, en compromettant ainsi la qualité.



Photo 15-79 – Haricots secs comestibles endommagés par le ver-gris occidental du haricot
 Source : J. Smith, Université de Guelph, campus de Ridgetown.

Facteurs de risque : Sont à risque les champs sableux, les champs situés dans des régions fréquemment infestées (de Thamesville à Strathroy, ainsi que la région de Tillsonburg et Simcoe) et les champs à côté de champs de maïs où le seuil d'intervention est atteint, en particulier après la floraison mâle.

Technique de dépistage : Le ver-gris occidental se nourrit rarement de feuilles, préférant percer les gousses et y entrer pour s'attaquer aux graines qui s'y forment. Chaque nuit, les larves entrent et ressortent de nouvelles gousses. Les larves, qui se cachent dans le sol, restent rarement sur les plants ou dans les gousses

durant le jour. Les larves de pyrales du maïs ont plus tendance à rester dans les gousses. En Ontario, les dommages que cause le ver-gris sont constatés dans un nombre grandissant de champs de haricots secs comestibles, que ce soit directement dans les champs avant la récolte ou sur les graines après la récolte. Comme la présence de cet insecte est difficile à déceler dans les champs de haricots secs comestibles, il faut d'abord surveiller les adultes au moyen de pièges à phéromones pour déterminer si et quand le dépistage est nécessaire (communiquer avec l'entomologiste provincial pour savoir comment disposer les pièges, où se procurer le matériel nécessaire et quels protocoles de surveillance appliquer). Chaque champ doit contenir deux pièges, installés en périphérie, sur deux côtés opposés, près de végétation basse (p. ex. graminées adventices). Les pièges doivent être installés au plus tard la dernière semaine de juin et doivent être relevés régulièrement tout au long de la saison de croissance, au moins une fois par semaine, pour compter les noctuelles attrapées. Il est préférable d'utiliser les pièges comme des guides et d'effectuer le gros du dépistage de 10 à 20 jours environ après le pic de vol des noctuelles, lorsque les larves risquent de s'attaquer aux gousses. Le dépistage des masses d'œufs dans les champs de maïs adjacents (où elles sont plus faciles à voir) peut également servir à évaluer la population de vers-gris.

Seuil d'intervention : Aucun seuil n'a encore été établi, car les œufs et les larves sont difficiles à trouver dans les champs de haricots secs comestibles. Il est probable que le champ soit à risque si la population de vers-gris a atteint le seuil d'intervention dans un champ de maïs avoisinant, en particulier après la floraison mâle. L'application d'insecticide est nécessaire si des trous d'entrée sont présents sur les gousses avant le stade R6.

Stratégies de lutte :

- Les insecticides foliaires peuvent être efficaces puisque le ver-gris occidental du haricot accède à une nouvelle gousse chaque nuit, contrairement à la pyrale du maïs, qui reste dans la gousse, où elle est à l'abri. Le traitement localisé peut être efficace si les dommages sont concentrés dans une partie du champ.
- Il importe de choisir des insecticides ayant un certain effet résiduel et de respecter le délai de non-traitement avant récolte.
- Plusieurs ennemis naturels se nourrissent des masses d'œufs et des jeunes larves, notamment les coccinelles et les araignées.

PYRALE DU MAÏS (*Ostrinia nubilalis*)

Description et cycle biologique : Voir page 361.

Dommages : Il arrive, en de rares occasions, que l'on trouve des larves de pyrales du maïs à l'intérieur des gousses de haricots secs comestibles, où elles se nourrissent des graines en formation. Contrairement au ver-gris occidental du haricot, les larves de pyrales demeurent à l'intérieur des gousses et s'y nourrissent en journée (voir photo 15-80). Les trous d'entrée qu'elles laissent favorisent la transmission de maladies.



Photo 15-80 – Pyrale du maïs se nourrissant à l'intérieur d'une gousse

Technique de dépistage : Le dépistage consiste à inspecter les gousses de vingt plants en cinq points en évitant les pourtours du champ, et à compter les gousses endommagées.

Seuil d'intervention : Une intervention peut être justifiée si l'on trouve des trous d'entrée à plusieurs endroits dans le champ avant le stade R6.

Stratégies de lutte :

- Il convient d'employer des insecticides foliaires si les dommages aux gousses sont répandus. Un traitement localisé peut être efficace si les dommages sont concentrés dans une partie du champ.
- Il importe de choisir des insecticides ayant un certain effet résiduel et de respecter le délai de non-traitement avant récolte.

PUNAISE TERNE (*Lygus lineolaris*)

Description : Les punaises ternes adultes mesurent environ 5 mm (0,2 po) de long, ont des taches allant du brun jaunâtre au rougeâtre ainsi qu'un petit triangle sur le dos (voir photo 15-81). Les nymphes, très

différentes des adultes, ressemblent à des pucerons, mais sans cornicules. Elles sont vert jaunâtre et n'ont pas d'ailes ni de triangle distinctif sur le dos. Les plus vieilles nymphes ont quatre petits points noirs sur le thorax et un autre sur l'abdomen.



Photo 15-81 – La punaise terne est tachetée et a un petit triangle sur le dos

Cycle biologique : Il y a plusieurs générations par été, mais ce sont généralement les dernières qui envahissent les cultures de haricots secs comestibles, une fois que les autres cultures ne peuvent plus les nourrir. La punaise terne est polyphage, mais affiche une préférence pour le canola et les haricots secs comestibles après la récolte de la luzerne. À l'âge adulte, elle hiberne en se réfugiant sous des amas de feuilles mortes ou des débris végétaux dans les champs ou les boisés, aux bordures des champs et sur les berges des fossés. Dès que le temps se réchauffe au printemps, l'adulte se déplace vers d'autres cultures pour se nourrir et pondre ses œufs.

Dommages : Les stades les plus nuisibles sont le stade adulte et les derniers stades nymphaux. La punaise terne est dotée de pièces buccales de type perceur-suceur qui lui permettent de percer l'épiderme des plantes et d'y injecter une substance salivaire qui détruit une partie du tissu végétal. Lorsqu'elle s'attaque aux fleurs, la punaise terne peut provoquer l'échec de la floraison. Au stade de formation des gousses, les piqûres de la punaise provoquent des malformations ou laissent des marques, des creux ou des trous à la surface de celles-ci. De la sève peut s'échapper des trous, augmentant le risque transmission de maladies. L'insecte peut aussi percer des trous directement dans les graines, provoquant l'apparition de piqûres, ce qui en réduit la qualité.

Facteurs de risque : Les populations de punaises ternes ont tendance à gonfler lors des étés chauds et secs. Les champs adjacents à d'autres cultures-hôtes sont les plus

à risque, en particulier après la récolte de la luzerne et des cultures fourragères.

Technique de dépistage : On inspecte les champs une fois par semaine dès le début des stades de la formation et du remplissage des gousses. Une fois que les champs de luzerne voisins ont été fauchés, on intensifie la surveillance en faisant vingt balayages de filet (chacun décrivant un arc de 180°) à cinq endroits différents du champ et on calcule le nombre moyen de nymphes et d'adultes capturés par balayage. Les punaises ternes ont une préférence pour les amarantes en fleurs; il faut donc surveiller l'éclosion de ces fleurs, qui devrait annoncer l'arrivée prochaine des punaises autour et à l'intérieur des champs. Les rangs périmétriques étant susceptibles d'abriter des populations plus denses de punaises, il importe d'y faire des prélèvements avec le filet fauchoir.

Seuil d'intervention : L'utilisation d'insecticides peut être justifiée si l'on attrape en moyenne une ou deux punaises ternes (nymphes ou adultes) par balayage du filet au stade de formation des gousses.

Stratégies de lutte :

- Plusieurs espèces de guêpes parasites contribuent à maîtriser les punaises ternes, mais comme elles sont vulnérables aux insecticides, il faut employer des insecticides foliaires uniquement lorsque le seuil est atteint.
- Il importe de lutter contre les mauvaises herbes, notamment l'amarante, parce qu'elles attirent les punaises ternes.

Ravageurs du canola

Le tableau 15-11, *Signes d'infestation dans les champs de canola*, indique à quels ravageurs peuvent être attribués les signes décrits.

Tableau 15-11 – Signes d'infestation dans les champs de canola

LÉGENDE :		O = compte parmi les signes d'infestation – = ne compte pas parmi les signes d'infestation							
Signes		Ver fil-de-fer (p. 347)	Limace (p. 352)	Altises (p. 404)	Ver-gris terne	Ver-gris à dos rouge (p. 405)	Cécidomyie du chou-fleur (p. 405)	Charançon de la graine du chou (p. 407)	Punaise terne (p. 402, 409)
Dommages aux semences et aux plantules	Peuplement clairsemé	O	O	O	O	O	–	–	–
	Racines coupées	O	–	–	–	–	–	–	–
	Plantules dévorées au niveau du sol ou sous terre	–	O	O	–	–	–	–	–
	Cotylédons mâchouillés	–	O	O	–	–	–	–	–
	Base des plants coupée	–	–	O	–	O	–	–	–
Dommages aux feuilles	Petits trous sur les feuilles et plants flétris	–	–	O	–	–	–	–	–
	Plants difformes à partir du point végétatif, sans montaison ni floraison	–	–	–	–	–	O	–	–
	Gros trous sur le pourtour des feuilles	–	–	–	O	O	–	–	–
Dommages aux gousses	Peu ou pas de montaison ou de développement des gousses, ou gousses disposées en bouquets	–	–	–	–	–	O	–	–
	Trous d'entrée et graines dévorées	–	–	–	–	–	–	O	–
	Perforations ou marques sur la surface des gousses, surtout les années chaudes et sèches	–	–	O	–	–	–	–	–
	Petites lésions d'où suinte de la sève, et graines parfois rapetissées ou ratatinées	–	–	–	–	–	–	–	O

RAVAGEURS TERRICOLES DU CANOLA

VER FIL-DE-FER – VOIR PAGE 347

LIMACE – VOIR PAGE 352

RAVAGEURS DU CANOLA DE SURFACE

Les abeilles butinent le canola; certaines précautions s'imposent donc pour protéger les pollinisateurs durant l'application d'insecticides foliaires. Voir la section *Protection des pollinisateurs et des insectes utiles* du chapitre 14 pour en savoir plus.

ALTISE DES CRUCIFÈRES (*Phyllotreta cruciferae*)

ALTISE RAYÉE (*Phyllotreta striolata*)

Description : Deux espèces d'altises s'attaquent aux cultures de canola (voir photo 15-82) : l'altise rayée, qui mesure environ 1,5 mm de long et a deux bandes crème ou jaune sur le dos, et l'altise des crucifères, qui mesure aussi 1,5 mm de long et qui est bleu-noir, sans rayures. Les altises ont de grandes pattes postérieures leur permettant de sauter lorsqu'elles se font déranger. Les larves sont blanches, mesurent environ 3 mm de long et ont la tête brunâtre.



Photo 15-82 – Altise rayée et altises des crucifères
Source : R. Underwood, Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Cycle biologique : On compte une génération par année. L'altise adulte hiverne sous des couches de feuilles mortes dans des zones abritées tels les boisés et en émerge à la fin avril, lorsque la température du sol est entre 10 et 15 °C. L'altise rayée émerge d'une à quatre semaines avant l'altise des crucifères. L'insecte pond ses œufs sur la surface du sol, près de la base des plantes-hôtes, en mai et en juin. Les jeunes larves se nourrissent de racines (causant rarement

des dommages économiques) pendant environ un mois avant de se transformer en pupes. La nouvelle génération d'adultes émerge au début d'août et se nourrit de canola jusqu'à la fin octobre, où elle migre vers des sites d'hivernation. Lorsque les vents sont doux, les insectes peuvent voler sur un kilomètre pour trouver leurs plantes-hôtes préférées.

Dommages : Le gros des dommages est causé par les adultes durant les trois semaines suivant la levée. La population d'adultes du printemps se nourrit des feuilles des plantules, qu'elle cribble de trous. Tôt ou tard, les feuilles et les plants se flétrissent et meurent. Les peuplements s'éclaircissent et les plants deviennent rabougris. Les pertes de rendement peuvent atteindre 50 % au cours de fortes infestations. Les cultures peuvent cependant supporter les dommages lorsqu'elles atteignent le stade 4 feuilles. La nouvelle génération d'adultes dévore la surface des gousses, ce qui ratatine les graines, favorise la transmission de maladies et augmente le nombre de gousses qui s'égrènent.

Facteurs de risque : Le risque d'infestation est plus élevé après un automne chaud et un hiver doux marqué par une épaisse couverture de neige. Les adultes ont tendance à être plus mobiles et à s'attaquer davantage aux plantules durant les printemps chauds et aux gousses par temps chaud, ensoleillé et sec.

Technique de dépistage : Dans les champs de canola fraîchement levé, le dépistage se fait tous les deux jours, surtout le long des rangs périmétriques, pour surveiller la migration des adultes ayant hiverné en bordure des champs et dans les boisés. On peut installer des pièges jaunes encollés sur le pourtour du champ pour détecter la présence d'adultes, mais il est tout de même nécessaire de faire l'inspection de dix plants en cinq points du champ pour évaluer les dommages et déterminer le pourcentage moyen de défoliation. On surveille le champ attentivement pour repérer la présence de piqûres sur les feuilles jusqu'à ce que les plants aient dépassé le stade 4 feuilles. Durant le stade de formation des gousses, en particulier les années chaudes et sèches, on inspecte dix plants en cinq points du champ pour vérifier si les gousses sont endommagées et si les adultes semblent actifs.

Seuil d'intervention : Une intervention est justifiée si le taux de défoliation atteint 25 % entre le stade des cotylédons et le stade 4 feuilles et si les adultes se nourrissent toujours activement. Par temps frais, une intervention peut être requise avant que la défoliation atteigne 25 % si les adultes s'attaquent aux tiges des

plantules. Une fois que les plants ont atteint le stade 4 feuilles, ils sont généralement établis et peuvent se remettre des dommages subis. Une intervention peut également être justifiée si on trouve, sur chaque plant, au moins 50 adultes de la nouvelle génération s'attaquant activement aux gousses durant leur stade de formation pendant une année chaude et sèche.

Stratégies de lutte :

- Il importe de lutter contre les mauvaises herbes avant le semis, en particulier les crucifères adventices (p. ex. moutarde des champs, canola spontané, sagesse-des-chirurgiens, tabouret des champs).
- Le semis doit se faire dans de bonnes conditions édaphiques qui favoriseront la croissance rapide des plants et le bon établissement du peuplement.
- Le sursemis peut compenser une certaine diminution de la densité de peuplement.
- Les excès d'azote sont à éviter puisqu'ils favorisent la croissance d'un feuillage luxuriant, attrayant pour les altises.
- Le traitement des semences avec un insecticide est nécessaire au moment du semis afin de maîtriser les altises, car il est difficile d'en prévoir la population. Un traitement foliaire peut tout de même être nécessaire si l'activité des adultes se poursuit et que le seuil d'intervention est atteint une fois que le traitement des semences n'est plus efficace. Les traitements n'ont pas tous la même durée d'efficacité. Un traitement localisé est de mise si les dommages se limitent au pourtour du champ.

VER-GRIS À DOS ROUGE (*Euxoa ochrogaster*)

Description : Les larves sont brun rougeâtre et ont deux rayures rouge terne sur le dos. Les adultes peuvent être de différentes couleurs, de rouge foncé à beige pâle.

Cycle biologique : Le ver-gris hiverne dans le sol à l'état d'œuf. Les larves éclosent au printemps et se nourrissent de plantules avant de se transformer en pupes en milieu d'été. Les adultes émergent et pondent leurs œufs à la fin de l'été ou au début de l'automne, près des mauvaises herbes qui se trouvent dans le champ.

Dommages : Le ver-gris à dos rouge est plus répandu dans le Nord de l'Ontario. Les larves des premiers stades se nourrissent de feuilles, alors que celles des stades plus avancés coupent la base des plants.

Technique de dépistage : On inspecte 10 plants en 10 points du champ, en particulier dans les zones où le peuplement est visiblement clairsemé, et on creuse à leur base pour vérifier la présence de larves, dont on note la grosseur.

Seuil d'intervention : L'application d'un insecticide peut être justifiée si le peuplement est réduit de 25 à 30 % et que les larves mesurent au maximum 2,5 cm (1 po).

Stratégies de lutte :

- Une lutte efficace contre les mauvaises herbes réduit l'attrait du champ durant la pondaison (généralement en août).
- Il peut être efficace d'appliquer un traitement localisé de nuit, lorsque les larves se nourrissent, puisque les infestations sont généralement limitées à certains endroits.
- Le semis direct peut favoriser les ennemis naturels.

CÉCIDOMYIE DU CHOU-FLEUR (*Contarinia nasturtii*)

Description : La cécidomyie du chou-fleur adulte est une très petite mouche brun pâle. Elle mesure de 1,5 à 2 mm et est très difficile à distinguer des autres espèces de cécidomyies qui lui sont apparentées. Les larves sont de petits asticots (de 0,3 à 3 mm à maturité) de couleur blanc cassé à jaune, qui se rassemblent au point végétatif des plantes (voir photo 15-83).



Photo 15-83 – Larves de cécidomyies du chou-fleur dans un plant de canola

Cycle biologique : En Ontario, quatre ou cinq générations se chevauchent chaque année de la mi-mai à octobre. Chaque génération peut prendre de 24 à 31 jours pour se développer, selon la température. La cécidomyie hiverne sous forme de larve dans

le sol, abritée dans un cocon, et se transforme en pupa au printemps. Les premiers adultes émergent vers le milieu ou la fin de mai, mais pas tous en même temps. En effet, il existe deux phénotypes principaux caractérisés par des périodes d'émergence différentes, dont les premiers pics surviennent dans un intervalle de 10 à 14 jours de la fin mai au début juin. L'émergence est déclenchée par des précipitations d'au moins 6 mm (0,2 po) sur une période de sept jours. Les adultes vivent d'un à trois jours seulement et, même s'ils volent relativement mal, ils peuvent parcourir plusieurs centaines de mètres et se laisser porter par le vent sur des distances beaucoup plus grandes. Les femelles sont prêtes à s'accoupler dès qu'elles émergent et pondent des amas de 20 à 50 œufs sur les parties des plantes-hôtes les plus jeunes et à la croissance la plus rapide. Une fois écloses, les larves se nourrissent en groupe sur le point végétatif des plantes pendant une à trois semaines, selon la température. À maturité, les larves s'enfoncent de quelques centimètres dans le sol et y demeurent pendant deux semaines avant d'émerger en tant qu'adultes. Plusieurs larves de chaque génération d'été entrent en diapause, leur nombre augmentant à mesure que les jours raccourcissent. Par ailleurs, de 2 à 10 % d'entre elles demeurent en diapause pendant deux ans, voire plus.

Dommages : Les enzymes contenus dans la salive des larves détruisent le tissu végétal, causant ainsi le gonflement et la déformation des feuilles, des pousses et des boutons floraux (voir photo 15-84). Le principal point végétatif des jeunes plants peut mourir, ce qui empêche la montaison et produit des pousses borgnes. Des racèmes secondaires peuvent se former à partir des pousses primaires détruites, ce qui retarde la maturation. Les dommages peuvent prendre cinq jours ou plus pour devenir apparents, et demeurent présents jusqu'à la récolte. Pour vérifier que les dommages sont causés par la cécidomyie du chou-fleur et non par les herbicides ou la machinerie, on ouvre le point végétatif des plants endommagés et on regarde s'il y a des petits asticots qui se nourrissent à l'intérieur. Toutefois, comme les dommages ne disparaissent pas, il est possible que les larves aient déjà quitté les plants pour se transformer en pupes. Les dommages causés avant la montaison peuvent entraîner le rabougrissement des plants et le regroupement des gousses dans le haut de la tige, un peu comme un bouquet ou un balai de sorcière. Si l'infestation survient après la montaison (stades de croissance 30 à 39 ou 2,1 à 2,10), l'effet des dommages est généralement moins prononcé, mais les boutons à l'aisselle des feuilles risquent d'être infestés. Le canola d'automne peut être endommagé

par la cécidomyie du chou-fleur pendant cette saison, mais est généralement épargné au printemps et à l'été puisqu'il a atteint un stade de croissance avancé lorsque les infestations surviennent.



Photo 15-84 – Rabougrissement des plants de canola causé par la cécidomyie du chou-fleur

Facteurs de risque : Sont à risque les cultures situées tout près des cultures de canola de l'année précédente dans une région fréquemment infestée, mais surtout les champs ensemencés tardivement, dont les cultures, plus jeunes, seront à un stade vulnérable durant le pic d'activité des adultes.

Technique de dépistage : Ce ravageur nécessite une surveillance et une lutte intensives. Le dépistage consiste à utiliser des pièges à phéromones pour surveiller les adultes, puisque les larves sont difficiles à voir et risquent de sortir des plants avant que les dommages deviennent apparents.

On pose les pièges au début de mai, dès que les plantules ont levé, pour surveiller l'émergence ou l'arrivée des premiers adultes et le nombre d'insectes par rapport au seuil d'intervention. On inspecte les pièges du stade feuille vraie jusqu'à la pleine floraison. Comme le nombre d'insectes peut atteindre le seuil rapidement, il importe d'inspecter les pièges régulièrement (aux deux jours) pour calculer le nombre d'adultes capturés quotidiennement à chacun des pièges.

Il est possible de se procurer ces pièges auprès de Solida (www.solida.ca). Le matériel suivant est requis pour surveiller un champ pendant huit semaines :

- 4 pièges Jackson blancs par champ
- 66 plaquettes collantes (une plaquette par piège changée deux fois par semaine pendant huit semaines, et deux plaquettes supplémentaires)
- 8 capsules de phéromones (une par piège, remplacée après quatre semaines)

Il faut aussi avoir quatre piquets par champ (de préférence ceux utilisés dans les prairies temporaires) et quelques pince-notes. On pose les piquets sur le pourtour du champ à au moins 60 m (200 pi) d'intervalle. On ouvre les pièges pour qu'ils forment un triangle, à la base duquel on insère une plaquette, face collante vers le haut. On fixe l'appât sur l'attache de métal comprise avec le piège, que l'on accroche à l'intérieur du piège, sur l'une des surfaces supérieures. Ensuite, on utilise la plus grosse attache de métal également comprise pour accrocher le piège au piquet. La base du piège ne doit pas être à plus de 25 cm (10 po) du sol. On utilise un pince-notes pour fixer solidement le piège contre le piquet, au cas où il venterait. La plaquette collante doit être remplacée à chaque inspection (tous les deux ou trois jours), et l'appât, toutes les quatre semaines.

Seuil d'intervention : On commence à compter le nombre de cécidomyies attrapées dans chaque piège dès le stade feuille vraie et on applique un insecticide dès que l'on a capturé vingt adultes au total. Des traitements supplémentaires pourraient être nécessaires si l'on attrape quotidiennement une moyenne de cinq adultes par piège et que la culture est encore aux stades de préfloraison. Pour calculer cette moyenne, on compte le nombre total de cécidomyies capturées et on le divise par le nombre de pièges, puis par le nombre de jours écoulés depuis la dernière inspection. Le traitement insecticide doit se faire le plus rapidement possible lorsque le seuil est atteint; il ne faut pas se fier aux signes de dommages pour déterminer quand celui-ci est nécessaire.

Stratégies de lutte :

- La rotation des cultures joue un rôle très important. Dans les champs ayant déjà été infestés, il vaut mieux éviter de ressemer du canola et d'autres cultures crucifères pendant au moins quatre ans.
- Il faut éviter de semer du canola à moins de deux kilomètres du champ de canola le plus près ou de la culture de l'année précédente.
- Il convient d'éliminer les crucifères adventices et les cultures couvre-sol qui se trouvent à l'intérieur ou sur le pourtour du champ, car elles peuvent servir d'hôtes de remplacement. Voici les crucifères et cultures visées : moutardes (moutarde des champs, moutarde blanche, moutarde noire, moutarde d'Inde, alliaire officinale, sisymbre officinal), bertéroa blanc, tabouret des champs, radis sauvage, radis fourrager, bourse-à-pasteur, barbarée vulgaire, cresson alénois et canola spontané.

- Le canola de printemps doit être semé le plus tôt possible pour éviter qu'il ne soit aux stades les plus vulnérables au début juin, c'est-à-dire du stade végétatif (rosette) au stade du bouton vert (stades de croissance 11 à 51 ou 2,0 à 3,3), lorsque de minuscules boutons floraux se développent au centre du plant, et durant le stade de développement secondaire des boutons (stade de croissance 58). S'il est impossible de faire le semis assez tôt, il faut envisager de choisir une culture qui n'attire pas ce ravageur.
- Tout le matériel agricole utilisé dans les champs infestés doit être bien nettoyé, et les champs infestés doivent être travaillés en dernier pour réduire le risque de propagation du ravageur dans les champs qui ne sont pas infestés. Comme la cécidomyie hiverne et effectue la pupaison à une profondeur d'à peine 1 à 2 cm (0,4 à 0,8 po), les cocons peuvent facilement rester pris sur les roues et être transportés ailleurs.
- Le travail du sol effectué peu après la récolte peut contribuer à réduire les populations hivernantes.
- Le traitement insecticide doit être fait aussitôt que le seuil est atteint.
- L'utilisation de grands volumes d'eau (> 200 l/ha ou 18 gal/acre) et de gouttelettes de petite taille assure la bonne distribution de l'eau et sa pénétration dans les crevasses où se nourrissent les larves.
- À l'heure actuelle, aucun produit homologué n'offre une protection complète.
- Il est probable que plusieurs traitements soient nécessaires. Chacun doit être fait à au moins sept jours d'intervalle.
- Il importe d'utiliser en alternance des produits appartenant à différents groupes chimiques pour réduire le risque d'apparition de résistances.
- De plus amples renseignements sur la dose à utiliser et les précautions à prendre figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

INSECTES S'ATTAQUANT AUX GOUSSES

CHARANÇON DE LA GRAINE DU CHOU (*Ceutorhynchus obstrictus*)

Description : Le charançon de la graine du chou adulte est un insecte de couleur cendré à noir qui mesure environ 4 mm (0,2 po) de long. Comme tous les charançons, il est doté d'un rostre qui ressemble à une trompe d'éléphant (voir photo 15-85). Les larves sont blanches, en forme de « C » et apodes. On ne les trouve qu'à l'intérieur des gousses.



Photo 15-85 – Charançon de la graine du chou

Cycle biologique : On compte une génération par année. Au printemps, le charançon adulte émerge de son site d'hivernation (p. ex. bandes boisées, amas de feuilles mortes, bordures des champs et berges des fossés). Il se nourrit alors de canola et d'autres plantes-hôtes, dont la repousse de moutarde et de canola. Après l'accouplement, la femelle pond ses œufs – généralement un par gousse – directement dans la gousse. Les larves éclosent en moins d'une semaine, selon la température. Chacune peut dévorer de trois à cinq graines au cours de son développement. À maturité, la larve creuse un trou pour sortir, se laisse tomber par terre et se transforme en puppe dans le sol. La nouvelle génération d'adultes émerge 10 jours plus tard et se nourrit de plantes crucifères jusqu'à ce qu'il soit temps de trouver un site d'hivernation. Le cycle de vie entier de l'insecte se déroule sur six à huit semaines. Parmi les plantes-hôtes, mentionnons la famille des *Brassicaceae* (moutarde), c'est-à-dire le canola, le brocoli et le chou-fleur, ainsi que les crucifères adventices, comme la moutarde sauvage, la sagesse-des-chirurgiens et le tabouret des champs.

Dommages : Le charançon de la graine du chou constitue une réelle menace pour le canola d'automne, en plus de nuire au canola de printemps semé tôt dans l'année. Les adultes qui ont hiverné envahissent les plants à peu près lors de la floraison; ils peuvent se nourrir des boutons floraux, ce qui fera éclater ces derniers. Les adultes qui émergent en été peuvent aussi endommager les plants en s'attaquant directement aux gousses vertes des semis plus tardifs (voir photo 15-86). Les larves se nourrissant des gousses peuvent entraîner des pertes de rendement de 35 %, soit directement lorsqu'elles mangent les graines, soit indirectement lorsqu'elles provoquent la chute prématurée des gousses ou qu'elles exposent les graines à divers agents pathogènes qui pénètrent par les trous qu'elles laissent derrière elles. Le charançon peut aussi causer le brunissement des graines.



Photo 15-86 – Dommages causés par le charançon de la graine du chou

Facteurs de risque : Les champs de canola de printemps semblent moins attrayants pour le charançon de la graine du chou, à moins qu'ils soient les seuls champs de canola accessibles dans la région. Les cultures les plus à risque comprennent notamment les premiers champs de canola d'automne à lever dans la région, de même que les champs au printemps après un automne chaud et un hiver doux.

Technique de dépistage : Visant surtout les populations adultes, le dépistage se fait du stade de la formation des boutons jusqu'après la floraison. Pour évaluer le niveau d'infestation du champ, on fait 10 balayages de filet fauchoir (chacun décrivant un arc de 180°) à 10 points du champ, puis on calcule le nombre moyen de charançons adultes capturés par balayage.

Seuil d'intervention : Dans les champs de canola d'automne et de canola de printemps ensemencés tôt, une intervention est justifiée si l'on capture au moins de deux à quatre charançons par balayage (arc de 180°) au début du stade de floraison.

Stratégies de lutte :

- Si les moyens financiers du producteur le limitent à un seul traitement insecticide, le meilleur moment pour le faire est à la mi-floraison, soit de sept à dix jours après l'apparition des premières fleurs. La solution la plus efficace réside dans une double application d'insecticide, la première au début de la floraison et la deuxième de sept à dix jours plus tard, à la mi-floraison.
- Le semis tardif du canola de printemps peut réduire le risque d'infestation de charançons de la graine du chou, mais peut augmenter considérablement le risque d'infestation de cécidomyies du chou-fleur. Selon certaines recherches, il n'y a aucun avantage à

pulvériser un insecticide dans les champs de canola de printemps pour lutter contre le charançon de la graine du chou, à moins qu'ils aient été ensemencés très tôt et que le seuil d'intervention ait été atteint. Avant d'entreprendre un traitement, il faut vérifier que les adultes s'attaquent toujours aux plants.

- Certaines précautions s'imposent pour protéger les pollinisateurs des insecticides foliaires (voir chapitre 14).
- Il existe une guêpe parasite qui contribue efficacement à la lutte contre le charançon, mais les insecticides utilisés contre ce dernier lui sont également préjudiciables.
- Il importe d'éliminer les crucifères adventices (p. ex. moutarde, tabouret des champs) et le canola spontané qui pourraient servir d'hôtes.

Punaise terne

(*Lygus lineolaris*)

Description et cycle biologique : Voir page 402.

Domages : Les stades les plus nuisibles sont le stade adulte et les derniers stades nymphaux. La punaise terne est dotée de pièces buccales de type perceur-suceur qui lui permettent de percer l'épiderme des plantes et d'y injecter une substance salivaire qui détruit une partie du tissu végétal. Lorsqu'elle s'attaque aux fleurs, la punaise terne peut provoquer l'échec de la floraison. Au stade de la formation des gousses, les piqûres de la punaise provoquent des malformations ou laissent des marques, des creux ou des trous à la surface de celles-ci. De la sève peut s'échapper des trous, augmentant le risque de transmission de maladies. L'insecte peut aussi percer des trous directement dans les graines, provoquant l'apparition de piqûres, ce qui en réduit la qualité.

Technique de dépistage : On inspecte les champs une fois par semaine dès le début des stades de la formation et du remplissage des gousses. Une fois que les champs de luzerne voisins ont été fauchés, on intensifie la surveillance en faisant vingt balayages de filet (chacun décrivant un arc de 180°) à cinq endroits différents du champ et on calcule le nombre moyen de nymphes et d'adultes capturés par balayage. Les punaises ternes ont une préférence pour les amarantes en fleurs; il faut donc surveiller l'éclosion de ces fleurs, qui devrait annoncer l'arrivée prochaine des punaises autour et à l'intérieur des champs. Les rangs périmétriques étant susceptibles d'abriter des populations plus denses de punaises, il importe d'y faire en priorité des prélèvements avec le filet fauchoir.

Seuil d'intervention : Aucun seuil d'intervention n'a été établi pour l'Ontario. Ailleurs, on recommande de pulvériser un insecticide dès qu'on capture deux punaises ternes par balayage du filet après le stade de la chute des pétales, mais avant la maturité des gousses.

Stratégies de lutte :

- Plusieurs espèces de guêpes parasites contribuent à maîtriser les punaises ternes, mais comme les produits insecticides leur sont très nuisibles, il faut employer des insecticides foliaires uniquement lorsque le seuil d'intervention est atteint.
- Certaines précautions s'imposent pour protéger les pollinisateurs des insecticides foliaires (voir chapitre 14).
- Il importe de lutter contre les mauvaises herbes, notamment l'amarante, parce qu'elles attirent les punaises ternes.

16. Maladies des grandes cultures

Un grand nombre d'agents pathogènes sont responsables des maladies des grandes cultures courantes en Ontario. La maîtrise de ces maladies est une composante importante de tout système de production de grandes cultures. Par ailleurs, le dépistage et la bonne identification des maladies sont des composantes essentielles à la mise en place de mesures de lutte. Les descriptions suivantes visent donc à faciliter l'identification des maladies des grandes cultures et la lutte contre celles-ci.

Généralités sur les pourritures des semences et la fonte des semis dans les grandes cultures

Incidence : Les temps frais ou pluvieux qui retardent la germination des semences ou la croissance des plantules peuvent entraîner la pourriture des semences,

la fonte des semis et la pourriture des racines en début de saison. Un peuplement clairsemé, une levée irrégulière, des trous ou des plants manquants sont des signes évidents d'infection des semences ou des plantules. De nombreux champignons peuvent être à l'origine de ces maladies; certains (p. ex. *Fusarium solani* et *Rhizoctonia solani*) infectent différentes cultures, alors que d'autres sont spécifiques à une culture (p. ex. *Phytophthora sojae*, qui infecte le soya).

Les agents pathogènes sont difficiles à combattre parce qu'ils parviennent à survivre dans de nombreux types de sol. Selon l'année et les conditions du champ, leurs répercussions sont de mineures à graves (reprise des semis nécessaire). Les maladies apparaissent souvent en premier dans les zones basses ou mal drainées du champ. Les pourritures des semences et la fonte des semis peuvent sévir davantage dans les champs en semis direct ou dans les champs soumis à un travail

Des recherches menées par l'Université de Guelph et le MAAARO démontrent que l'utilisation appropriée de fongicides peut être rentable en fonction des facteurs de risque suivants :

- Fréquence et nature de la maladie (fongique ou bactérienne).
- Vulnérabilité de l'hybride ou du cultivar (une plus grande vulnérabilité peut entraîner de plus grandes pertes).
- Cultures précédentes (l'absence de rotation augmente le risque).
- Présence de maladies dans le passé.
- Conditions environnementales.
- Peuplement.
- Fertilité.
- Travail du sol (plus il y a de résidus, plus le risque d'éclosion de la maladie est grand dans certaines conditions météorologiques).

Plus il y a de facteurs de risque, plus l'utilisation de fongicides est susceptible d'être rentable. Comme il n'y a cependant aucune garantie, il faut tenir compte des aspects suivants avant d'employer des fongicides.

1. **Identification :** Première étape d'une lutte efficace, la bonne identification des maladies est cruciale puisque de nombreux signes de maladies

bactériennes ressemblent à ceux des maladies fongiques, mais les fongicides n'ont aucun effet sur les bactéries. Des renseignements sur les différentes maladies et les méthodes de lutte correspondantes figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

2. **Moment de l'application :** Le moment et la zone d'application des fongicides sont importants puisque de nombreuses maladies doivent être traitées avant qu'elles progressent. Cependant, l'application de fongicides combinés à des herbicides aux premiers stades de croissance est rarement avantageuse puisque l'incidence est alors faible. Une seconde application de fongicides peut être nécessaire ultérieurement, lorsque la maladie progressera.
3. **Résistance aux fongicides :** Une résistance aux fongicides a fait son apparition aux États-Unis. Même si aucune résistance n'a encore été observée en Ontario, l'utilisation inappropriée des produits peut en entraîner l'apparition et compromettre l'utilité des fongicides. En effet, les agents pathogènes peuvent développer une résistance après une utilisation répétée de produits ayant les mêmes modes d'action, surtout s'ils n'agissent que sur un site.

réduit du sol, du fait que les épaisses couches de résidus qui s'y trouvent maintiennent le sol plus frais et plus humide que dans les sols soumis à une méthode de travail traditionnelle. La fonte des semis survient lorsque la culture est semée tôt dans des conditions propices à l'éclosion de la maladie ou lorsque les conditions environnementales font en sorte que la semence reste longtemps dans le sol. D'autres facteurs qui retardent la germination et la levée, notamment le compactage du sol, son encroûtement ou le semis profond, peuvent également donner un peuplement clairsemé. Il est important de faire la distinction entre les maladies des plantules et d'éventuels problèmes causés par les insectes, les herbicides, le compactage du sol, etc.

Aspect : Il peut être difficile de distinguer les agents pathogènes en cause, car certains signes sont assez similaires. Les pourritures des semences sont des maladies qui attaquent les semences avant ou peu après la germination et qui provoquent leur pourriture et leur mort. Les semences endommagées ou ayant une faible vigueur sont les plus sensibles aux pourritures. Sont particulièrement à risque les semences qui restent longtemps dans un sol frais (10 à 13 °C) et humide après les semis. Les plantules qui mettent longtemps à lever sont les plus vulnérables aux infections fongiques.

La fonte des semis se divise en deux groupes, selon qu'elle survienne avant ou après la levée. En prélevée, elle affecte les plantules avant qu'elles sortent de terre. Les plantules atteintes peuvent mourir ou croître plus lentement que les plantules saines, ce qui donne des peuplements clairsemés ou irréguliers. Les plantules levées peuvent aussi être atteintes. En postlevée, la fonte des semis s'attaque aux racines ou à la partie inférieure des plantules de la levée au stade 2 ou 3 feuilles. La maladie se manifeste par un retard de croissance, le flétrissement, le dépérissement ou la mort du plant. Dans la plupart des cas, la fonte des semis cause un ceinturage ou un pincement de la tige des plantules près de la surface du sol.

Les organismes responsables des pourritures des racines infectent le système racinaire des plantules, y compris les racines latérales et les poils absorbants. Les plants atteints peuvent se rabougrir, changer de couleur ou manquer de vigueur. Les plantules gravement atteintes peuvent mourir, et les plants malades peuvent être plus sensibles aux pourritures de la tige plus tard dans la saison.

Cycle biologique : Voir la section consacrée à chaque culture.

Stratégies de lutte : L'utilisation de semences ayant un bon taux de germination et une bonne vigueur réduit considérablement les risques de pourritures des semences et de fonte des semis. Les semences fissurées ou qui ont été endommagées pendant la récolte ou la manutention doivent être jetées, car elles sont les plus vulnérables aux infections. Les pratiques favorisant la germination rapide (p. ex. réduction au minimum du compactage du sol, drainage du sol pour enlever l'excès d'humidité, élimination des résidus de culture abondants) peuvent également réduire la gravité des infections.

Le traitement des semences aux fongicides offre une certaine protection aux plantules vulnérables. Ce type de traitement est recommandé pour toutes les semences afin de réduire au minimum l'apparition de maladies en début de saison, avant ou après la levée. En moyenne, un traitement fongicide procure deux semaines de protection tout au plus. Aucune protection n'est aussi efficace que le semis au bon moment dans un bon lit de semence. Des lignes directrices sur le traitement des semences figurent d'ailleurs dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Maladies du maïs

Maladies des plantules de maïs

POURRITURE DES SEMENCES, FONTE DES SEMIS ET POURRITURES DES RACINES

Voir la section *Généralités sur les pourritures des semences et la fonte des semis dans les grandes cultures* en début de chapitre.

Cycle biologique : Dans les cultures de maïs, le plus souvent, les agents pathogènes en cause sont *Pythium*, *Fusarium*, *Gibberella*, *Trichoderma* et *Penicillium*, mais il peut aussi s'agir d'autres champignons, notamment *Diplodia* et *Rhizoctonia*. Les semences, plantules et racines infectées par *Pythium* sont le plus souvent molles (mouillées) et sombres, alors que les racines infectées par *Fusarium*, *Gibberella*, *Diplodia* et *Rhizoctonia* sont fermes ou ont l'aspect du cuir. La couleur des racines est souvent un bon indicateur de l'organisme ou des organismes présents : un blanc grisâtre correspond à *Diplodia*; une couleur allant du chamois au rose, à *Fusarium* ou à *Gibberella*; un brun rougeâtre, à *Rhizoctonia*; et un bleu-vert, à *Penicillium* ou à *Trichoderma*.

Pythium, *Fusarium*, *Gibberella*, *Diplodia*, *Rhizoctonia*, *Penicillium* et *Trichoderma* vivent et prospèrent tous dans le sol. Presque tous ces organismes peuvent infecter d'autres cultures que le maïs. À l'exception de *Pythium*, tous ces organismes peuvent vivre sur la semence de maïs ou à l'intérieur de celle-ci.

Maladies foliaires du maïs

ANTHRACNOSE

(*Colletotrichum graminicola*)

Incidence : L'antracnose peut devenir grave les années chaudes et pluvieuses. Elle est souvent la première maladie foliaire du maïs à apparaître. Elle se manifeste d'abord sur les feuilles inférieures et progresse vers le haut du plant. Les signes disparaissent souvent à mesure que le plant de maïs amorce sa phase de croissance rapide. Le champignon responsable de l'antracnose provoque non seulement une brûlure des feuilles, mais aussi une pourriture de la tige (voir section *Pourritures de la tige*). Les producteurs devraient noter où les signes de l'antracnose se sont manifestés sur le feuillage au début de la saison et retourner dans ces zones quelques semaines avant la récolte afin de vérifier la présence de pourriture sur les tiges. Les méthodes de travail du sol qui laissent une épaisse couche de résidus de végétaux infectés à la surface du sol peuvent aggraver la maladie et en augmenter l'incidence.

Aspect : L'antracnose s'attaque à la fois aux feuilles et à la tige. Elle se manifeste surtout par des taches sur les feuilles, le dépérissement du sommet du plant et la pourriture de la tige. Les taches sur les feuilles sont ovales, peuvent atteindre 15 mm (6 po) de long, ont un centre chamois et un contour brun rougeâtre (voir photo 16-1). Les lésions isolées peuvent s'amalgamer, formant ainsi des stries le long du pourtour ou de la nervure principale de la feuille. Il est fréquent que les tissus entourant les zones infectées jaunissent. De petites taches noires (acervules) sont visibles à la loupe au centre des lésions. Un examen attentif révèle la présence de soies noires raides qui sortent de ces taches noires. La maladie se manifeste d'abord sur les feuilles du bas avant de gagner les feuilles supérieures. Le dépérissement du sommet du plant peut se produire tard dans la saison, à mesure que les feuilles atteintes se flétrissent et meurent, donnant l'impression d'avoir été endommagées par le gel.



Photo 16-1 – S'attaquant à la fois aux feuilles et à la tige, l'antracnose se manifeste surtout par des taches sur les feuilles, le dépérissement du sommet du plant et la pourriture de la tige

Cycle biologique : Les résidus jouent un rôle important dans la progression de l'antracnose, étant donné que le champignon survit (hiverné) à l'état de mycélium ou de sclérote dans les résidus ou la semence de maïs. La pluie éclabousse les spores contenues dans les résidus de maïs sur les feuilles inférieures et la tige. C'est pourquoi la deuxième année de culture du maïs rend celui-ci plus vulnérable aux infections par l'antracnose, surtout par temps chaud et pluvieux.

Stratégies de lutte : Le choix d'hybrides résistants à la forme foliaire de l'antracnose peut contribuer à combattre cette maladie. Toutefois, la résistance à la pourriture de la tige causée par l'antracnose est distincte de la résistance à la forme foliaire de l'antracnose; la résistance des hybrides à la pourriture de la tige causée par l'antracnose ne garantit donc pas la résistance aux infections des feuilles en début de saison. Dans les champs de maïs travaillés selon des méthodes traditionnelles, l'enlèvement des résidus de maïs par le travail du sol diminue les risques d'infection, surtout lorsque le maïs suit le maïs. Dans les champs en semis direct ou soumis à des méthodes de travail réduit du sol, la rotation des cultures (éviter de cultiver du maïs pendant deux années consécutives) et l'utilisation d'hybrides résistants sont les meilleurs moyens de combattre la forme foliaire de l'antracnose. L'application de fongicides n'est pas rentable dans les champs de maïs, étant donné qu'un seul traitement ne suffit pas à maîtriser la maladie, mais elle peut l'être dans les champs de maïs de semence.

DESSÈCHEMENT (*Setosphaeria turcica*)

Incidence : Le dessèchement a déjà compté parmi les maladies foliaires du maïs les plus dévastatrices. L'utilisation d'hybrides résistants ou tolérants limitait les pertes de rendement attribuables à cette maladie dans les cultures commerciales de maïs; toutefois, la maladie gagne du terrain depuis quelques années, ce qui laisse croire que le degré de tolérance diminue en raison de l'apparition de races de l'agent pathogène responsable qui sont capables de contourner la résistance. Des pertes considérables continuent d'être enregistrées dans les cultures de maïs de semence où sont semées des lignées extrêmement sensibles.

Aspect : La maladie se manifeste par de longues stries elliptiques de 2 à 15 cm (1 à 6 po), vert grisâtre ou chamois, apparaissant habituellement d'abord sur les feuilles inférieures. À mesure que la maladie progresse, les lésions peuvent s'amalgamer et former de grosses zones brûlées (voir photo 16-2). Il arrive que des feuilles entières soient brûlées. Les pertes les plus graves occasionnées par le dessèchement surviennent lorsque les feuilles au-dessus des épis sont atteintes durant ou peu après la pollinisation. La maladie est souvent confondue avec la maladie de Stewart (voir section *Maladie de Stewart*).



Photo 16-2 – Le dessèchement entraîne la formation de longues stries elliptiques vert grisâtre ou chamois

Cycle biologique : Le champignon survit dans les résidus de maïs sous forme de spores ou de filaments mycéliens (mycélium). Les spores du champignon se propagent aux plants de maïs en croissance par le vent ou les éclaboussures d'eau depuis les résidus à la surface du sol. Même si le champignon hiverne en Ontario, une majorité de spores provient du Corn Belt du Midwest des États-Unis et des États voisins des

Grands Lacs. Les plants infectés constituent une source d'infection secondaire qui peut se propager à d'autres champs. La progression de la maladie est favorisée par des températures douces (de 18 à 27 °C) et de longues périodes de temps humide ou pluvieux.

Stratégies de lutte : Il existe différentes races de l'agent pathogène responsable du dessèchement. La plupart des hybrides de maïs commerciaux ont une résistance ou une tolérance aux races les plus communes (voir photo 16-3). Une augmentation des signes du dessèchement dans une région pourrait indiquer l'apparition d'une nouvelle race et doit de ce fait être signalée. La rotation des cultures et le travail du sol réduisent la quantité d'inoculum dans les résidus qui jonchent le sol. Dans les méthodes de travail réduit du sol, la rotation et l'utilisation d'hybrides résistants sont une nécessité. L'emploi de fongicides foliaires peut être avantageux dans les champs de maïs, surtout si l'on sème un hybride sensible et que la maladie apparaît tôt dans la saison. Des lignes directrices en la matière figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.



Photo 16-3 – Dessèchement sur un cultivar sensible (à gauche) et sur un cultivar résistant (à droite), moins affecté

PIÉTIN-VERSE (*Aureobasidium zeae*)

Incidence : Même si le piétin-verse endommage normalement peu le maïs, la maladie prend de l'ampleur en Ontario à mesure que se répand la pratique de laisser une couche plus épaisse de résidus de maïs dans le champ.

Aspect : La maladie produit des taches rondes ou ovales caractéristiques pouvant atteindre 4 mm (0,1 po) de diamètre, au centre chamois ou brun et au pourtour brun ou violacé (voir photo 16-4). Ces

lésions sont entourées d'un halo jaune translucide visible quand la feuille est face à une source lumineuse. Il arrive que la feuille paraisse brûlée lorsque ces lésions s'amalgament et tuent une bonne partie des tissus de la feuille. La maladie peut être confondue avec des taches foliaires physiologiques non infectieuses ou avec des dommages causés par des insectes.

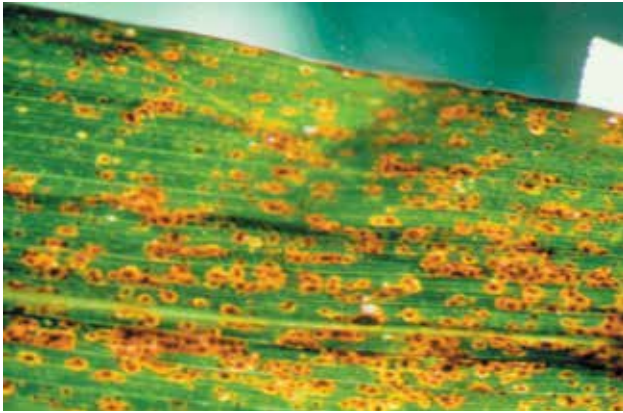


Photo 16-4 – Le piétin-verse se manifeste par des taches rondes ou ovales au centre chamois ou brun et au pourtour brun ou violacé, entourées d'un halo jaune translucide bien visible devant une source lumineuse

Cycle biologique : La prévalence de la maladie est plus grande dans les monocultures de maïs et dans les champs soumis à des méthodes de travail réduit du sol, étant donné que le champignon hiverne dans les résidus de maïs. La progression de la maladie est favorisée par du temps frais et pluvieux.

Stratégies de lutte : Le choix de cultivars résistants, la rotation des cultures et l'enfouissement propre des résidus de culture contribuent à réduire la gravité de la maladie, contre laquelle l'emploi de fongicides foliaires est rarement justifié dans les cultures de maïs. Des lignes directrices sur les fongicides foliaires figurent d'ailleurs dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

MALADIE DE STEWART (*Erwinia stewartii*)

Incidence : Même si la maladie de Stewart est présente partout en Ontario, elle n'est préoccupante que dans le Sud-Ouest de la province. Les comtés d'Essex et de Kent, où se trouve la majorité des cultures de maïs de semence, ont tendance à être particulièrement touchés. La maladie sévit surtout après des hivers plus doux que la normale, auxquels survit en grand nombre l'altise du maïs, qui en est le vecteur. Le traitement des semences aux néonicotinoïdes pour lutter contre cet insecte a

grandement réduit l'incidence de la maladie dans la province et dans le Corn Belt des États-Unis.

Aspect : La maladie comporte deux phases distinctes : la phase du flétrissement et la phase tardive. La phase du flétrissement touche surtout les lignées de maïs de semence extrêmement sensibles et les hybrides de maïs sucré au début de la saison (des stades V2 à V4). Le premier signe perceptible de la maladie consiste en de longues stries jaunes qui s'étendent sur la longueur de la feuille (voir photo 16-5). Ces stries deviennent gorgées d'eau et finissent par céder la place à des lésions brunes de tissu mort (nécrosé). Les bactéries interrompent la circulation de l'eau et des éléments nutritifs dans la plante en obstruant son système vasculaire, ce qui provoque un flétrissement rapide et même la mort du plant. Comme la nouvelle pousse est touchée, le flétrissement et la mort des tissus progressent de haut en bas. Une coupe longitudinale révèle un point végétatif pourri ou évidé de couleur altérée.



Photo 16-5 – La maladie de Stewart, dont l'altise du maïs est le vecteur, se produit après la formation des panicules; la phase du flétrissement coïncide avec les stades V2 à V4

La phase tardive de la maladie, qui se manifeste par la brûlure des feuilles, survient souvent après la formation des panicules; c'est la phase la plus fréquente. Les signes comprennent des stries parallèles aux nervures allant du vert pâle au jaune et aux pourtours irréguliers ou sinueux. Ces stries peuvent s'étendre sur toute la longueur de la feuille. Les feuilles infectées finissent par s'assécher et par brunir. Souvent, les marques laissées par l'alimentation des altises du maïs sont visibles à l'intérieur des lésions. La mort prématurée des feuilles peut réduire le rendement et aggraver les pourritures de la tige étant donné que les plants affaiblis y sont plus vulnérables.

Cycle biologique : La bactérie hiverne dans l'appareil digestif des altises du maïs adultes, qui se cachent pendant l'hiver dans des zones abritées (voir la section *Altise du maïs* du chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*). Les hivers doux peuvent entraîner l'augmentation des populations d'altises. Les adultes qui hivernent se nourrissent de maïs, du stade plantule à celui de verticille; ils causent ainsi le flétrissement de la tige des cultivars sensibles, ce qui entraîne la perte totale du plant. Cette situation se produit rarement chez les hybrides, mais à l'occasion chez les parents de maïs de semence sensible. La génération d'altises adultes suivante émerge après la floraison femelle (apparition des soies) et provoque le flétrissement des feuilles, fréquemment observé chez de nombreux hybrides. La transmission de la maladie aux semences est rare. Le plus souvent, les infections tardives qui surviennent après l'apparition des soies sont associées à de fortes populations d'altises. Le maïs sucré est souvent plus sensible que le maïs de grande culture et peut d'ailleurs servir de réservoir de bactéries. La maladie frappe souvent les meilleurs champs; la fertilité semble jouer un rôle dans cette équation. Enfin, la vulnérabilité à la maladie augmente dans les champs où les concentrations d'azote et de phosphore sont élevées.

Stratégies de lutte : Comme le maïs de grande culture a une bonne tolérance à la maladie de Stewart, il ne nécessite habituellement aucune mesure de lutte, à moins qu'il s'agisse d'un hybride très vulnérable. Certaines lignées de maïs de semence y sont sensibles. Les lignées sont cotées en fonction de leur tolérance à la maladie, dont la maîtrise passe par la lutte contre l'altise du maïs. Le traitement des semences aux néonicotinoïdes s'est jusqu'ici révélé très efficace. De plus amples renseignements sur les méthodes de lutte figurent à la section *Altise du maïs* du chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*.

TACHES GRISES **(*Cercospora zeae-maydis*)**

Incidence : La maladie des taches grises, très destructrice, a des répercussions économiques importantes dans le Corn Belt des États-Unis et les États voisins des Grands Lacs. Elle prend de l'ampleur en Ontario (en particulier dans le Sud-Ouest), mais, contrairement au dessèchement, elle cause rarement des pertes importantes. Comme pour la plupart des maladies foliaires, le temps chaud, pluvieux et humide en favorise la progression.

Aspect : Les signes apparaissent sur les feuilles inférieures peu après l'apparition des panicules. La maladie produit des lésions uniques, caractérisées par leur forme rectangulaire, étroite et allongée de 2 à 7 cm (1 à 3 po) et par leur couleur chamois clair. Ces lésions sont parallèles aux nervures des feuilles. Avec le temps, les lésions deviennent grises et s'amalgament, tuant ou brûlant des feuilles entières.

Cycle biologique : La maladie des taches grises sévit surtout lorsque le maïs suit le maïs dans les champs recouverts d'une couche épaisse de résidus de maïs. Le champignon survit sous forme de filaments mycéliens dans des résidus de maïs. Les spores produites sur les résidus sont dispersées par le vent et les éclaboussures d'eau. Le temps chaud et humide favorise la sporulation et la progression de la maladie.

Stratégies de lutte : La rotation des cultures et le travail du sol réduisent la quantité d'inoculum dans les résidus à la surface du sol. Dans les méthodes de travail réduit du sol, la rotation des cultures et le choix d'hybrides résistants peuvent s'imposer. La lutte chimique n'est habituellement pas nécessaire, mais elle peut être justifiée dans les champs d'hybrides très sensibles ou les champs infectés tôt en début de saison. De plus amples renseignements figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

ROUILLE COMMUNE **(*Puccinia sorghi*)**

Incidence : Tout comme la rouille américaine, la rouille commune n'hiverne pas en Ontario; elle provient du maïs infecté du Sud des États-Unis et du Mexique. Les spores des plants de maïs infectés sont poussées par le vent jusqu'en Ontario. La plupart du temps, la rouille ne cause que des pertes économiques négligeables. Toutefois, il arrive certains printemps que des fronts orageux transportent les spores jusque dans la province, où elles provoquent alors des infections en début de saison. La progression de la maladie est favorisée par une forte humidité et des soirées fraîches (de 14 à 18 °C) suivies de journées douces.

Aspect : La rouille commune se manifeste d'abord par l'apparition de taches ou de mouchetures jaunes sur les deux côtés des feuilles. Ces lésions se transforment en de petites pustules rouge brique qui percent la surface ou l'épiderme de la feuille (voir photo 16-6). La couleur rouge brique est le résultat de la libération des spores provenant des lésions ovales ou allongées de 2 à 10 mm (0,1 à 0,4 po). Tout autour de ces lésions, la feuille

jaunit. Il se forme des zones où les tissus brunissent et meurent, et, dans les cas graves, la feuille entière meurt. Les spores rouge brique noircissent à mesure qu'elles viennent à maturité, ce qui fait également noircir les lésions et la surface des feuilles.



Photo 16-6 – Les signes habituels de la rouille commune vont des mouchetures jaunes aux pustules rouges

Stratégies de lutte : Comme la rouille commune ne survit pas en Ontario, les pratiques culturales comme le travail réduit du sol et la rotation des cultures n'ont aucun effet sur la progression de la maladie. Les hybrides de maïs commerciaux ont une bonne tolérance à la maladie, alors que bon nombre de lignées de maïs de semence et d'hybrides de maïs sucré et de maïs de spécialité y sont très sensibles. Les fongicides foliaires peuvent être avantageux pour le maïs de grande culture si la maladie se manifeste assez tôt, mais ils ne sont habituellement pas nécessaires. Ils peuvent aussi être rentables pour les hybrides de maïs de spécialité, les lignées de maïs de semence ou les hybrides de maïs extrêmement sensibles. Des renseignements sur les différents produits figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

CHARBON COMMUN (*Ustilago zeae*)

CHARBON DES INFLORESCENCES (*Sporisorium holci-sorghii*)

Incidence : On trouve deux types de charbon en Ontario : le charbon commun, qui est le plus courant, et le charbon des inflorescences. Dans les cas graves, plus de 25 % des plants de certains champs peuvent comporter des tumeurs caractéristiques.

Aspect : Le charbon commun hiverne dans le sol et dans les résidus de maïs. Les spores sont propagées par le vent et les éclaboussures d'eau. Tous les tissus aériens de la plante sont vulnérables, mais l'infection survient le plus souvent dans les tissus en croissance active. L'incidence du charbon commun augmente dans les cultures écimées ou endommagées par la grêle, le gel, la sécheresse, la machinerie, les herbicides, les insectes ou le vent. La progression de cette maladie est favorisée par de grandes quantités d'azote et de fumier.

Des tumeurs grisâtres pouvant atteindre 10 cm (4 po) de diamètre se forment sur les tiges, les épis et les panicules. Des tumeurs plus petites apparaissent souvent sur les feuilles. Les tumeurs sont au départ recouvertes d'une membrane blanche qui finit par éclater et par libérer des spores sous forme de poussière brun foncé ou noire (voir photo 16-7). Des tumeurs dures et sèches se forment sur les feuilles. Les tumeurs du charbon peuvent remplacer les grains. Contrairement au charbon commun, le charbon des inflorescences se manifeste uniquement sur les épis et les panicules (voir photo 16-8).



Photo 16-7 – L'incidence du charbon commun augmente dans les plants endommagés



Photo 16-8 – Le charbon des inflorescences se manifeste sur les épis et les panicules

Cycle biologique : Les spores qui s'échappent des tumeurs sont bien adaptées aux conditions de l'Ontario. Elles survivent dans le sol et les résidus de culture pendant de nombreuses années. Le printemps, elles germent pour produire de nouvelles spores qui infecteront les zones en croissance rapide ou les parties endommagées des plants. Les tumeurs qui se forment sont une source de spores qui infectent d'autres plants. La progression de la maladie est favorisée par les averses, de forts taux d'humidité et des températures élevées conjuguées à des lésions sur les plants.

Stratégies de lutte : La plupart des hybrides de maïs commerciaux sont suffisamment résistants pour prévenir de graves épidémies. Toutefois, le charbon est présent à divers degrés dans la plupart des champs et est encore très problématique dans bien des champs de maïs de semence. Le meilleur moyen de se prémunir contre le charbon est de réduire au minimum les dommages causés par la machinerie et les herbicides, tout en maintenant un programme de fertilité équilibré. La rotation des cultures et le travail du sol sont de peu de secours, étant donné que les spores peuvent survivre longtemps dans le sol.

POURRITURES DE LA TIGE (Généralités)

Incidence : Les champignons causent les pourritures de la tige. Les dommages qu'ils provoquent sont plus étendus si la culture est soumise à l'un ou l'autre des facteurs de stress suivants : temps pluvieux ou sec, températures fraîches, temps couvert, présence de maladies foliaires (p. ex. rouille ou maladie de Stewart), dommages aux feuilles et aux épis (causés par la grêle, les oiseaux et le gel), pollinisation incomplète, déséquilibre nutritif, dommages causés par les insectes (p. ex. pyrale du maïs), forte densité de peuplement, sensibilité de l'hybride et mauvaises conditions de sol.

La répartition et la prévalence des maladies responsables des pourritures de la tige et de l'épi varient d'une année à l'autre, mais ces maladies sont présentes la plupart des années, même si leur incidence peut être faible. En Ontario, les dommages attribuables aux pourritures de la tige sont essentiellement le fait de trois champignons, soit *Anthraco*, *Gibberella* et *Fusarium*, mais sont aussi occasionnellement attribuables aux champignons *Diplodia* et *Pythium*. Des renseignements supplémentaires figurent dans les sections portant sur les différents types de pourritures.

Répercussions : Même si les divers champignons pathogènes ont différents effets, ils ont tous le même résultat : nuire au remplissage des grains et à l'intégrité

des tiges, et accélérer la sénescence. Les champignons responsables des pourritures de la tige nuisent à la circulation des éléments nutritifs de trois façons :

1. Les sucres (photosynthétats) produits par la photosynthèse ou les glucides qui se trouvent dans les racines et la tige sont redirigés vers le champignon plutôt que vers l'épi. Ces éléments nutritifs permettent au champignon de croître et de se propager.
2. L'intégrité de la tige est compromise. Pour répondre aux besoins en éléments nutritifs de l'épi en croissance et des agents pathogènes, le plant de maïs commence à s'autodétruire en transportant les glucides solubles des racines et de la tige. Les problèmes surviennent lorsque le plant de maïs ne parvient plus à répondre aux besoins en éléments nutritifs de l'épi en croissance. Il en résulte une tige plus faible (vulnérable à la verse) et une moins grande résistance aux champignons.
3. L'infection et la colonisation obstruent bon nombre des voies qui servent normalement à la circulation des éléments nutritifs. Les pertes de rendement (généralement de l'ordre de 10 à 20 %) découlent du mauvais remplissage des épis et des pertes à la récolte occasionnées par la verse.

Dépistage des pourritures de la tige

On a recours à deux méthodes pour faire le dépistage des pourritures de la tige.

Test de la poussée

1. Choisir au hasard vingt plants en cinq points différents du champ, soit un total de cent plants.
2. Pousser la partie supérieure du plant de manière à l'écartier de 15 à 20 cm (6 à 8 po) de l'axe vertical pour voir si le plant verse ou non.

Test de la pincée

1. Choisir au hasard vingt plants en cinq points différents du champ, soit un total de cent plants.
2. Enlever les feuilles inférieures et pincer la tige au-dessus des racines échasses.
3. Noter le nombre de tiges pourries.

Si de 10 à 15 % des plants ont versé, il convient de devancer la récolte. Les éventuels frais de séchage supplémentaires seront compensés par la plus grande facilité de récolte et la moins grande quantité de maïs laissé dans le champ.

Stratégies de lutte : La lutte contre les pourritures de la tige passe par une réduction des facteurs de stress, notamment par :

- le choix d'hybrides ayant une bonne résistance ou tolérance aux maladies foliaires et aux pourritures de la tige;
- la lutte contre les insectes (p. ex. ver-gris occidental du haricot, pyrale du maïs);
- une lutte efficace contre les mauvaises herbes;
- une densité de peuplement adéquate;
- un programme de fertilisation équilibré en azote et en potassium;
- la rotation des cultures;
- le travail du sol;
- l'utilisation sélective de fongicides.

POURRITURE DE LA TIGE CAUSÉE PAR L'ANTHRACNOSE (*Colletotrichum graminicola*)

Aspect : La pourriture de la tige causée par l'anthracnose est la plus facile à identifier. Elle se manifeste par des plaques ou des stries étendues et brillantes brun foncé ou noires à la surface de la tige. Ces plaques luisantes de couleur différente se trouvent souvent à la base de la tige. Une coupe longitudinale de la tige révèle un cœur pourri de couleur altérée (voir photo 16-9). Autre signe de la maladie apparaissant généralement à la fin août ou au début septembre : le dépérissement du sommet du plant. Les plants de maïs commencent à se flétrir et à mourir progressivement de haut en bas, un peu comme à la suite d'un gel. On observe alors la mort prématurée des tissus au-dessus de l'épi alors que ceux en dessous restent verts. Les zones mortes présentent les mêmes zones noires luisantes que la base de la tige. Les plants qui dépérissent depuis leur sommet se trouvent dans des zones du champ qui ont été soumises à un stress en fin de saison.



Photo 16-9 – Pourriture de la tige causée par l'anthracnose : le tissu interne de la tige de maïs est souvent noirci, et la moelle, pourrie

Cycle biologique : Le champignon responsable de la forme de l'anthracnose causant la pourriture de la tige survit dans les résidus de maïs et cause donc davantage de problèmes la deuxième année de culture du maïs. La progression de la maladie est favorisée par du temps chaud, pluvieux et humide.

FUSARIOSE DE LA TIGE (*Fusarium graminearum* et *Gibberella zeae*)

POURRITURE FUSARIENNE DE LA TIGE (*Fusarium verticillioides*)

POURRITURE SÈCHE DE LA TIGE (*Diplodia maydis*)

Aspect : Ces trois maladies causent tous les signes généraux de la pourriture de la tige, notamment le flétrissement et la mort des plants. Les feuilles atteintes deviennent gris vert comme si elles avaient souffert du gel. Les trois types de pourritures causent des lésions ou taches externes sombres sur les nœuds inférieurs. La pourriture sèche de la tige (causée par *Diplodia*) produit de petites taches noires (pycnides) ancrées à l'intérieur de l'écorce de la tige. Ces taches sont difficiles à enlever, ce qui permet de les distinguer des petites taches rondes et noires sur les nœuds inférieurs produites par la fusariose de la tige, qui elles sont faciles à gratter de la surface. Cette dernière, causée par *Gibberella*, rend les tissus de la moelle filamenteux et rosés ou rouges (voir photo 16-10). La pourriture fusarienne de la tige, causée par *Fusarium*, se présente quant à elle sous forme de lésions de brun clair à noir près des nœuds. À l'intérieur de la tige, le tissu pourri de la moelle prend une couleur rose saumon.



Photo 16-10 – Tissu de la moelle filamenteux et caractéristiquement rouge causé par la fusariose de la tige

Cycle biologique : Voir la description de chaque maladie à la section *Pourritures et moisissures de l'épi* ci-dessous.

PIÉTIN BRUN

(*Pythium aphanidermatum*)

Aspect et cycle biologique : Le piétin brun, une pourriture de la tige causée par *Pythium*, produit les mêmes signes généraux sur la partie aérienne du plant que les autres organismes causant des pourritures de la tige. *Pythium* entre dans une catégorie distincte de champignons (qui comprend aussi *Phytophthora*), appelés « oomycètes » ou « champignons aquatiques » en raison de leur préférence pour les milieux humides. Une caractéristique unique de ce groupe de champignons est la production de spores mobiles qui peuvent se déplacer à travers l'eau pelliculaire des sols saturés. Les spores (étape de l'infection) sont capables de se déplacer physiquement vers les racines des plants de maïs et, une fois qu'ils y ont pénétré, de provoquer la maladie. Contrairement aux autres pourritures de la tige qui produisent des structures qui hivernent (points noirs) ou des moisissures, les plants de maïs infectés par *Pythium* ne présentent pas de signes visibles de prolifération fongique à leur base. La coupe longitudinale de la base de la tige et des racines infectées révèle des tissus à l'apparence détrempée et spongieuse qui se désintègrent à la base des racines (pourriture aqueuse).

POURRITURES ET MOISSURES DE L'ÉPI

Des renseignements détaillés sur l'incidence et le cycle biologique de chaque type de pourriture et de moisissure de l'épi figurent dans les différentes sections ci-dessous.

Stratégies de lutte : Le maïs dont l'épi ou les grains ont des moisissures blanches peut contenir ou non des toxines, mais le maïs qui présente une moisissure rose ou violette est le plus souvent contaminé. Les pourritures causées par *Fusarium* ou *Gibberella* peuvent s'établir après la pollinisation dans des lésions causées par des insectes ou des oiseaux. Du temps chaud et pluvieux ou des rosées prolongées à un moment ou à un autre après la pollinisation peuvent provoquer la pourriture des épis endommagés.

Les moisissures vertes (*Penicillium*) et noires (*Cladosporium* ou *Alternaria*) ne posent normalement pas de problèmes. Toutefois, en grande quantité, elles peuvent être toxiques aux animaux d'élevage. La progression des pourritures de l'épi s'arrête lorsque

le maïs est sec ou ensilé, mais le niveau de toxines nocives déjà présentes reste inchangé. Les champignons continuent de produire des toxines jusqu'à ce que la teneur en eau du maïs passe sous les 20 %. De plus amples renseignements sont accessibles sur le site Web du MAAARO, à l'adresse ontario.ca/cultures.

Il est difficile de prévenir les pourritures et moisissures de l'épi étant donné que ces maladies sont très étroitement liées aux conditions météorologiques, et même s'il existe certains hybrides tolérants, aucune n'offre une résistance complète. La rotation des cultures peut réduire l'incidence de la pourriture sèche de l'épi. Il a été démontré que certaines pratiques culturales permettent plus ou moins de prévenir les pourritures de l'épi et des grains et que certains fongicides réduisent l'infection et la production de mycotoxines, mais seulement s'ils sont appliqués au bon moment. Des renseignements sur les différents produits figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Il est possible de prévenir la production de mycotoxines et la progression de maladies en effectuant la récolte au bon moment et en utilisant de bonnes méthodes de séchage et d'entreposage.

Si un champ de maïs comporte 10 % de tiges pourries, il faut en faire la récolte rapidement afin de freiner la progression de la maladie et la production éventuelle de mycotoxines.

En présence de pourriture de l'épi, il est conseillé de prendre les précautions d'entreposage du maïs et d'alimentation des animaux d'élevage suivantes :

- Procéder à la récolte le plus tôt possible.
- Si des dommages par les oiseaux sont évidents, récolter d'abord les rangs qui ne sont pas endommagés et garder et manipuler les grains provenant de ces champs séparément.
- Régler le matériel de récolte de manière à réduire au minimum les dommages au maïs.
- Bien nettoyer le maïs pour le débarrasser des morceaux de rafles, des petits grains et des particules fines.
- Refroidir le grain après le séchage.
- Nettoyer les cellules de stockage avant d'y entreposer le nouveau grain.
- Inspecter souvent le grain entreposé pour en vérifier la température et déceler les taches d'humidité ainsi que la présence d'insectes et de moisissures.

- Maîtriser les insectes qui envahissent le maïs entreposé.
- Faire preuve de prudence au moment de servir du maïs moisi aux animaux d'élevage, surtout aux porcs. Les moisissures roses ou rougeâtres sont particulièrement toxiques. Faire analyser le maïs suspect pour vérifier la présence de toxines.

Une liste de laboratoires figure à l'annexe D, *Laboratoires d'analyse – aliments pour animaux, mycotoxines et moisissures*.

FUSARIOSE DE L'ÉPI ET DU GRAIN (*Fusarium verticillioides*)

Incidence : La fusariose de l'épi et du grain est fréquente en Ontario. Contrairement à la fusariose de l'épi (causée par *Gibberella*), la fusariose de l'épi et du grain (causée par *Fusarium*) infecte des grains épars tout autour de la rafle, parmi des grains sains ou endommagés (p. ex. par la pyrale du maïs ou les oiseaux). Les soies sont sensibles aux infections pendant les cinq jours qui suivent leur apparition.

Aspect : Cette infection produit une moisissure blanche, rose ou saumon (voir photo 16-11). Des stries blanches ou un rayonnement sont visibles à la surface des grains infectés. Même si de nombreuses espèces de champignons appartenant au genre *Fusarium* peuvent être responsables de ces signes, l'espèce préoccupante en Ontario est *Fusarium verticillioides* (autrefois appelée *Fusarium moniliforme*).



Photo 16-11 – La fusariose de l'épi et du grain produit des moisissures blanches formant un rayonnement sur les grains

Cycle biologique : *Fusarium* survit dans les débris de maïs. Ce champignon est préoccupant, car il produit une toxine appelée fumonisine. Or, il a été prouvé que cette substance est cancérigène pour les humains. Les conditions environnementales qui favorisent la maladie sont du temps chaud et pluvieux pendant les deux à trois semaines qui suivent l'apparition des soies.

FUSARIOSE DE L'ÉPI (*Fusarium graminearum* et *Gibberella zeae*)

Incidence : La fusariose de l'épi est la forme de moisissure de l'épi la plus courante et la plus grave en Ontario. Elle est causée par *Gibberella zeae*, phase reproductive sexuée de *Fusarium graminearum*. Ce champignon infecte non seulement le maïs, mais également les petites céréales comme le blé. Bien des phytopathologistes estiment que la fusariose de l'épi causée par *Gibberella* risque d'endommager davantage le maïs les années où l'incidence de la fusariose de l'épi causée par *Fusarium* est forte dans le blé.

Aspect : Même si le champignon peut produire une moisissure blanche très semblable à celle causée par la fusariose de l'épi et du grain, la fusariose de l'épi est facilement identifiable dès qu'elle produit une moisissure rouge ou rose foncée (violacée) caractéristique (voir photo 16-12).



Photo 16-12 – La fusariose de l'épi débute souvent à l'extrémité de l'épi puis progresse vers la base, causant une coloration allant du rose au rouge

Cycle biologique : L'infection gagne d'abord les canaux des soies; généralement, elle commence donc à se propager par la pointe de l'épi et descend le long de l'épi. Dans les cas graves, le gros de l'épi peut être recouvert de moisissure. Les soies sont plus vulnérables dans les deux à dix jours suivant leur apparition. Durant cette période, le temps frais et pluvieux favorise les infections.

Mise en garde : En plus de sa gravité sur le plan économique compte tenu des pertes de rendement qu'elle occasionne, la fusariose de l'épi (*Gibberella zeae* et *Fusarium graminearum*) produit deux mycotoxines redoutables que l'on retrouve en Ontario, le déoxynivalénol (vomitoxine ou DON) et la zéaralénone. Ces mycotoxines sont particulièrement redoutées par les producteurs de porcs et d'autres animaux d'élevage étant donné qu'elles peuvent nuire au bétail. Les aliments qui renferment même de faibles concentrations de vomitoxine (1 ppm) peuvent abaisser le gain de poids et amener les porcs à refuser de s'alimenter. La zéaralénone est un œstrogène qui cause des problèmes de reproduction, notamment l'infertilité et l'avortement spontané du bétail, particulièrement des porcs. Les céréales fourragères qui proviennent d'un champ dont au moins 5 % des épis sont infectés par la fusariose devraient être soumises à des tests de dépistage de ces toxines. Une liste de laboratoires figure à l'annexe D, *Laboratoires d'analyse – aliments pour animaux, mycotoxines et moisissures*.

POURRITURE SÈCHE DE L'ÉPI (*Diplodia maydis*)

Incidence : Des trois principaux types de pourriture de l'épi que l'on trouve en Ontario, la pourriture sèche de l'épi est le moins répandu. Causée par *Diplodia maydis*, cette maladie est favorisée par du temps frais et pluvieux pendant le stade de remplissage des grains.

Aspect : Le signe caractéristique est une moisissure blanche qui commence à la base de l'épi et qui finit par le couvrir et le faire pourrir au complet. De la moisissure dans laquelle sont noyées de petites protubérances noires (pynides) peut aussi se former sur les spathes. Les pynides sont les organes reproducteurs du champignon; elles produisent de nouvelles spores. Contrairement à *Gibberella* et à *Fusarium*, *Diplodia* ne produit pas de toxines connues.

Cycle biologique : *Diplodia* hiverne dans les débris de maïs laissés à la surface du sol. Les spores (conidies) produites pendant les averses peuvent infecter les soies et les spathes ou pénétrer par les tissus endommagés par les oiseaux ou les insectes. La progression de la maladie est favorisée par du temps frais et pluvieux au cours des 21 premiers jours suivant l'apparition des soies.

Maladies du soya

Maladies des plantules

POURRITURES DES SEMENCES, FONTE DES SEMIS ET POURRITURE DES RACINES

Voir la section *Généralités sur les pourritures des semences et la fonte des semis dans les grandes cultures* en début de chapitre.

Cycle biologique : En Ontario, cinq types de champignons sont généralement responsables des problèmes de levée du soya en début de saison : *Pythium* et *Phytophthora* (responsables de pourritures aqueuses), *Phomopsis*, *Fusarium* et *Rhizoctonia*. Les signes de fonte des semis peuvent être provoqués par un ou plusieurs de ces organismes. Bien que ces derniers puissent se transmettre par les semences, ils sont présents à divers degrés dans la plupart des champs. Les maladies des plantules sont répandues dans les champs dont la température du sol est inférieure à 13 °C en raison d'un temps frais et pluvieux. Les organismes responsables survivent souvent en tant que saprophytes, se nourrissant de matière végétale vivante ou morte, ou en tant que mycéliums dormants ou spores. Les exsudats des racines des plantules ou des racines en croissance stimulent les champignons inactifs. Les plantules qui semblent avoir des lésions aqueuses et dont les racines ou la partie inférieure de la tige sont brunes ou violacées sont souvent le résultat d'une infection par *Pythium*, *Phomopsis* ou *Phytophthora*. Les lésions brun rougeâtre près de la surface du sol sont caractéristiques de *Rhizoctonia* et de *Fusarium*, respectivement (voir photo 16-13). La croissance et la vigueur des plants qui survivent se trouvent souvent diminuées.



Photo 16-13 – La pourriture fusarienne des racines entraîne le brunissement des tissus internes des racines

POURRITURE PHYTOPHTHORÉENNE**(*Phytophthora sojae*)****POURRITURE PYTHIENNE****(Espèces de *Pythium*)**

Incidence : Comptant parmi les maladies du soya les plus dévastatrices de l'Ontario, les pourritures phytophthoréenne et pythienne peuvent poser problème dans les sols argileux lourds. Dans les champs ayant déjà été touchés, l'augmentation de la fréquence à laquelle le soya revient dans la rotation accroît l'incidence de la maladie et favorise l'apparition de nouveaux pathotypes (races) de *Phytophthora*. Les nouvelles espèces de *Pythium* ont entraîné l'augmentation de l'incidence de ces maladies en Ontario.

Aspect : La pourriture phytophthoréenne peut s'attaquer au soya à n'importe quel stade de croissance, mais cause généralement le plus de dégâts au début de la saison. La pourriture pythienne survient en début de saison. Les plants infectés au stade cotylédonnaire affichent les signes typiques de fonte des semis : les plantules ne lèvent pas ou meurent peu après la levée, et les parties infectées de la tige sont gorgées d'eau ou meurtries et se désintègrent facilement en raison de pourriture molle (voir photo 16-14). Comme ces maladies produisent une pourriture aqueuse, il est difficile de les distinguer à ce stade. En effet, toutes deux entraînent la perte ou la pourriture de la racine pivotante et des racines latérales, ce qui cause le jaunissement des feuilles ainsi que le flétrissement ou même la mort des plants. Les plants infectés peuvent être facilement arrachés du sol, car ils ne sont pas bien enracinés. Les plants plus âgés peuvent être infectés par la pourriture phytophthoréenne à tout moment avant la maturité. La tige des plants flétris peut présenter des taches violacées ou brun foncé s'étendant des racines (juste en dessous de la surface du sol) aux nœuds inférieurs. De plus, les dépressions dans les champs peuvent contenir des plants morts, par touffes ou groupes de quelques plants d'affilée dans un même rang. Souvent, les feuilles restent attachées aux plants même après leur mort.

Cycle biologique : Le temps frais et pluvieux est propice à la progression des maladies. Les parties des champs les plus vulnérables sont celles qui sont basses, mal drainées et lentes à sécher. Les sols argileux lourds, le travail réduit du sol et les monocultures de soya peuvent aggraver les dommages causés par la maladie. *Phytophthora* et *Pythium* sont des organismes uniques



Photo 16-14 – La pourriture phytophthoréenne cause des lésions aqueuses sur les plantules et un changement de couleur de la tige, qui devient violacée ou brun foncé, signes apparaissant d'abord à la surface du sol et progressant ensuite vers les nœuds du bas

qui produisent des spores mobiles pouvant se déplacer dans l'eau pelliculaire entre les particules du sol jusqu'aux racines du soya. Ces champignons colonisent les tissus des racines et obstruent les tissus de transport de l'eau du plant, ce qui le fait flétrir. De plus amples renseignements sur les caractéristiques uniques de *Phytophthora* figurent au paragraphe *Cycle biologique* de la section *Maladies des plantules*.

Stratégies de lutte : Pour maîtriser la pourriture phytophthoréenne, il faut choisir les bons cultivars de soya, traiter les semences et employer de bonnes pratiques culturales. Certains cultivars de soya sont résistants ou tolérants à la pourriture phytophthoréenne, alors que d'autres y sont à la fois résistants et tolérants. En revanche, ils n'ont aucune résistance ou tolérance à la pourriture pythienne. Il importe de choisir des cultivars ayant une résistance verticale (gènes Rps tels que 1k et 1c) et une bonne résistance horizontale (tolérance) à toutes les races de *Phytophthora*. Les cultivars dont la résistance provient uniquement du gène Rps 1a sont inefficaces dans la plupart des régions de la province puisque plus de 95 % des pathotypes de *Phytophthora* (isolats) qui s'y trouvent peuvent contourner ce gène. De nouvelles sources de résistance sont continuellement mises au point. Pour connaître les caractéristiques des cultivars, il est possible de consulter les fournisseurs de semences ou le rapport sur les essais de rendement des cultivars de soya en Ontario (*Ontario Soybean Variety Trials*), dont la version la plus récente est accessible sur le site Web du Ontario Soybean and Canola Committee (OSACC),

au www.gosoy.ca. Y sont indiqués les pourcentages de pertes dues à la pourriture phytophthoréenne et les gènes de résistance de chaque cultivar.

1. **Cultivars résistants** : On trouve différentes races (pathotypes) du champignon *Phytophthora* dans les sols de la province. Chaque cultivar de soya possède une résistance efficace contre certaines races du champignon, mais pas contre toutes. Le risque de pourriture phytophthoréenne est écarté d'un champ donné lorsque le cultivar utilisé est résistant à toutes les races de *Phytophthora* qui s'y trouvent. Cependant, l'apparition éventuelle d'une race à laquelle le cultivar est vulnérable affaiblit inévitablement cette résistance. Le cas échéant, il faut choisir un cultivar résistant ou tolérant à la nouvelle race ou doté d'un gène de résistance différent et cultiver en rotation des cultivars ayant des gènes de résistance différents. Pour déterminer les races présentes dans un champ, on sème des bandes de plusieurs cultivars ayant une résistance connue à différentes races.
2. **Cultivars tolérants** : La maladie se développe dans ces cultivars lorsqu'ils sont cultivés dans des sols infectés, peu importe la race de *Phytophthora* en cause. Même si la maladie n'a habituellement pas d'effets importants sur le rendement, les plants n'y sont pas immunisés. Par conséquent, ils peuvent être endommagés si les conditions sont extrêmement favorables à la progression de la maladie.

Toute pratique culturale qui réduit le compactage du sol ou son engorgement réduit aussi l'incidence des pourritures phytophthoréenne et pythienne. Pour les sols argileux à risque, on recommande les mesures suivantes :

- Pour lutter contre *Phytophthora*, choisir un cultivar ayant un faible pourcentage de plants infectés (tolérance au champ) et un bon gène de résistance (Rps 1c, 1 k ou 8). Voir le rapport sur les essais de rendement des cultivars de soya en Ontario sur le site Web de l'OSACC, au www.gosoy.ca.
- Alternier avec des cultures de maïs et de blé. Une rotation courte augmente la population du pathogène et le nombre de races présentes dans le champ.
- Ne pas travailler un sol mouillé.
- Adopter de bonnes pratiques culturales afin d'améliorer la structure et le drainage du sol (rotation, fumier, cultures couvre-sol, travail réduit du sol, etc.).

- Installer des tuyaux de drainage souterrain dans les champs au drainage naturellement lent.
- Travailler légèrement le sol pour le réchauffer et améliorer le drainage superficiel.
- Semer lorsque la température du sol est supérieure à 13 °C.
- Consulter la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*, pour connaître les différents traitements des semences existants.
- Inspecter chacun des champs de soya à la fin juillet ou au début août pour vérifier s'ils contiennent des plants morts et déterminer si le cultivar est suffisamment résistant ou tolérant à *Phytophthora* compte tenu des conditions locales.

RHIZOCTONE COMMUN (*Rhizoctonia solani*)

Incidence : On trouve le rhizoctone commun dans la plupart des régions de la province où l'on cultive le soya. Dans la majorité des champs, les pertes de peuplement varient de moins de 5 % à plus de 50 % dans les pires cas. L'incidence du rhizoctone commun s'accroît et pourrait provoquer des pertes de rendement considérables. Cette maladie touche principalement les plantules et les jeunes plants, causant la pourriture des racines et de la tige, surtout durant les longues périodes de pluie.

Aspect : Le rhizoctone commun provoque la pourriture des semences et la brûlure des plantules (fonte des semis). Des lésions rougeâtres caractéristiques apparaissent sur la tige, à la surface du sol ou juste en dessous (voir photo 16-15). Ces lésions rouge brique fermes et sèches peuvent former une ceinture enfoncée dans la tige, qui peut suivre la racine pivotante et littéralement couper les racines sur son chemin. Les signes qui se manifestent sur la partie aérienne sont semblables à ceux causés par la pourriture phytophthoréenne. Les plants deviennent jaune pâle, signe souvent attribué à tort à une carence en azote ou à une piètre nodulation. Les plants gravement infectés peuvent perdre leurs feuilles. Généralement, les plants se flétrissent ou meurent par petites touffes. Les lésions ceinturant la tige affaiblissent les plants, qui peuvent casser au niveau du sol lors d'une tempête. Des conditions de croissance stressantes favorisent la progression de la maladie. Le rhizoctone commun occasionne plus de dommages lorsque le temps frais et pluvieux du printemps est suivi de temps sec et chaud (de 25 à 29 °C).



Photo 16-15 – Le rhizoctone commun produit des lésions rougeâtres sur la tige, à la surface du sol ou juste en dessous

Cycle biologique : Le rhizoctone commun survient dans tous les types de sol et sous toutes les conditions environnementales. Le champignon responsable se trouve principalement dans le sol, où il survit en tant que mycélium dormant ou sclérote. La maladie est plus grave dans les champs qui ont déjà été infectés. Avec le temps, les petites régions infectées finissent par s'étendre.

Stratégies de lutte : Peu de moyens de lutte existent, car aucun cultivar ne résiste au rhizoctone commun et peu le tolèrent. La rotation des cultures avec du maïs et des céréales à paille peut aider à réduire au minimum les effets de la maladie. Il est recommandé de favoriser le drainage du sol et d'éviter le semis par temps frais et pluvieux. Les traitements fongicides des semences offrent une certaine protection et améliorent la levée. De plus amples renseignements à ce sujet figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Maladies des feuilles et des tiges

TACHES BRUNES (*Septoria glycines*)

La maladie des taches brunes est une maladie fongique qui ne cause normalement pas de pertes de rendement importantes en Ontario. Toutefois, des pertes de l'ordre de 5 à 10 % ont été enregistrées dans la province là où des cultivars très sensibles ont été infectés tôt et soumis à des conditions de stress prolongées.

Aspect : La maladie se manifeste d'abord sur les premières feuilles unifoliées peu après la formation des feuilles trifoliées. Elle crée de petites taches brun

foncé irrégulières de 1 à 2 mm de diamètre, entourées ou non d'un halo jaune, sur les faces supérieure et inférieure des feuilles au bas du feuillage. Les lésions peuvent grossir et fusionner. Généralement, elles sont concentrées le long des nervures ou sur le pourtour des feuilles (voir photo 16-16). Les feuilles infectées jaunissent rapidement et meurent. Les signes peuvent être difficiles à distinguer de ceux de la brûlure bactérienne, de la rouille du soya et du mildiou. On peut toutefois reconnaître la maladie par la présence de pycnides brunes (taches) à l'intérieur des tissus nécrosés des vieilles lésions.



Photo 16-16 – Les signes de la maladie des taches brunes se manifestent tôt dans la saison : des taches brunes de grosseurs variées apparaissent d'abord sur les feuilles du bas, puis les tissus infectés jaunissent rapidement et les feuilles tombent

Cycle biologique : Le champignon survit à l'hiver sur des résidus de culture et peut être propagé par des semences infectées. Dans la plupart des cas, la maladie est peu présente dans les semences commerciales, mais elle peut être problématique dans les semences qui n'ont pas été nettoyées ou qui ont été gardées pendant un certain nombre d'années. L'infection initiale des premières feuilles et des cotylédons produisent un inoculum secondaire qui infecte les feuilles de la partie supérieure des plants à mesure qu'elles apparaissent. La présence d'humidité et d'eau (éclaboussures) joue pour beaucoup dans l'apparition et la progression de cette maladie. Le champignon produit une toxine qui contribue au jaunissement.

Stratégies de lutte : Cette maladie a surtout des répercussions esthétiques, mais elle peut provoquer une défoliation importante des plants lorsqu'elle survient en début de saison. Les cultivars de soya n'y sont pas tous sensibles au même degré, mais aucun

n'y est complètement résistant. Une bonne rotation incluant des cultures qui ne servent pas d'hôtes au champignon, comme le blé et le maïs, contribue à réduire la présence d'inoculum. L'emploi de fongicides n'est habituellement pas rentable.

NÉMATODE À KYSTE DU SOYA (*Heterodera glycines*)

Incidence : Depuis qu'il a été observé pour la première fois en Ontario en 1988, le nématode à kyste du soya (NKS) a été signalé dans la plupart des comtés situés à l'ouest de Toronto et plus récemment dans l'Est et au centre de l'Ontario ainsi qu'au Québec. Malheureusement, il continuera de se propager dans de nouvelles régions. Lors de récentes études menées dans le Sud-Ouest de l'Ontario, 80 % des champs examinés étaient infestés.

Bien que ce ravageur puisse être maîtrisé efficacement, il faut d'abord en connaître l'existence et savoir le reconnaître. Tous les producteurs de soya devraient en faire le dépistage et l'analyse. En Ontario, les pertes dues au NKS varient de 5 à 100 %. Malheureusement, au moment où les signes de présence du NKS se manifestent sur les plants, il a déjà causé des pertes de rendement de 25 à 30 %. Le NKS est impossible à éradiquer une fois que les champs en sont infestés.

Aspect : Ces organismes microscopiques en forme d'anguillules endommagent le système racinaire, ce qui empêche le plant d'absorber l'eau et les éléments nutritifs. Dans bien des cas, les signes de présence du NKS se manifestent dans un champ seulement lorsque les populations ont considérablement gonflé. Les signes alors visibles sur les parties aériennes comprennent le jaunissement des feuilles, le rabougrissement des plants et une maturité précoce, en particulier dans un sol léger par temps sec (voir photo 16-17). Les dommages occasionnés par le NKS, qui forment souvent des plaques circulaires, sont fréquemment attribués à tort à une carence en éléments nutritifs, à une inondation, aux herbicides, au compactage, à la sécheresse ou à la pourriture des racines (voir photo 16-18). Le jaunissement du pourtour des feuilles peut ressembler aux signes de carence en potassium, mais l'ajout de potassium ne réduit pas les dommages dus au NKS et n'élimine pas les signes. Il ne faut jamais tenter d'arracher un plant pour vérifier la présence du NKS, car il risque de perdre trop de racines et, de toute manière, les nématodes glissent des racines au moment de l'arrachage. On recommande plutôt d'utiliser une pelle pour dégager le plant et la terre qui entoure les racines.



Photo 16-17 – Les plants infectés par le nématode à kyste du soya peuvent être rabougris et avoir des feuilles jaunâtres



Photo 16-18 – Les signes visibles de la présence du NKS apparaissent en plaques circulaires et sont souvent attribués à tort à d'autres problèmes (p. ex. inondation, carence en éléments nutritifs, dommages causés par des herbicides, compactage)

Dans le sol, les signes de la présence du NKS comprennent un système racinaire peu étendu, rabougré et d'une couleur altérée (attribuable à des agents pathogènes causant la pourriture des racines) et un faible nombre de nodules fixateurs d'azote. Le signe le plus évident est la présence sur les racines de kystes formés par le nématode femelle adulte. Il s'agit de kystes blancs à jaune-brun mesurant moins de 1 mm de diamètre (voir photo 16-19). Les dommages causés par le NKS (y compris la mort des plants) sont plus évidents lorsque les plants sont soumis à un stress, surtout par temps chaud et sec. Si les conditions de croissance sont bonnes et que les plants subissent peu de stress, il se peut que les signes visibles en surface passent inaperçus. Au contraire, s'il y a des conditions de stress important, même une faible population de NKS peut causer des dommages très apparents et

entraîner de grandes pertes de rendement. Les plants ont une meilleure capacité à compenser les dommages causés par le NKS dans de bonnes conditions de croissance que dans des conditions de stress important.



Photo 16-19 – Kystes jaune-brun en forme de citron (de la taille d'une tête d'épingle) se formant sur les racines des plants de soya infestés par le nématode à kyste du soya

Les signes d'infestation du NKS ne sont pas toujours évidents, et on a observé des pertes de rendement de 25 à 30 % dans des champs sensibles sans qu'il y ait de signes visibles en surface. Ces signes se manifestent le plus souvent dans les points d'entrée de la machinerie, les aires d'entreposage du matériel et des véhicules, les tournières compactées, au sommet des collines ainsi qu'en bordure des champs où s'accumule la terre emportée par le vent.

Cycle biologique : Le cycle biologique du NKS comporte trois stades principaux : l'œuf, le stade juvénile et le stade adulte. Le cycle commence par l'éclosion des œufs, libérant de jeunes anguillules dans le sol. C'est le seul stade où le NKS peut infester les racines du soya. Une fois qu'ils ont pénétré les racines, les jeunes nématodes migrent vers les tissus de transport d'eau et d'éléments nutritifs (système vasculaire) et établissent un site d'alimentation (syncytium). C'est à ce stade que les femelles commencent à gonfler et finissent par percer la surface des racines. Les femelles adultes qui continuent de s'accrocher à la racine pour se nourrir pondent des masses d'œufs dans une gangue gélatineuse hors de leur corps. Peu de temps avant la fin du cycle, d'autres œufs se développent dans leur abdomen. Les corps, enchâssés dans les racines, forment des « kystes » (voir photo 16-20). Au début, les kystes sont blancs; ils deviennent ensuite jaunes, puis bruns, à mesure que les femelles viennent à maturité. Les kystes peuvent

contenir entre 100 et 300 œufs. Le nombre de kystes par plant varie de quelques-uns à des centaines. Dans un champ infesté, les kystes sont répartis dans toute la rhizosphère et peuvent survivre 10 années et même davantage. Le cycle biologique complet s'échelonne sur environ quatre semaines quand la température du sol se situe à 25 °C, mais peut durer cinq semaines, voire plus, par temps frais.

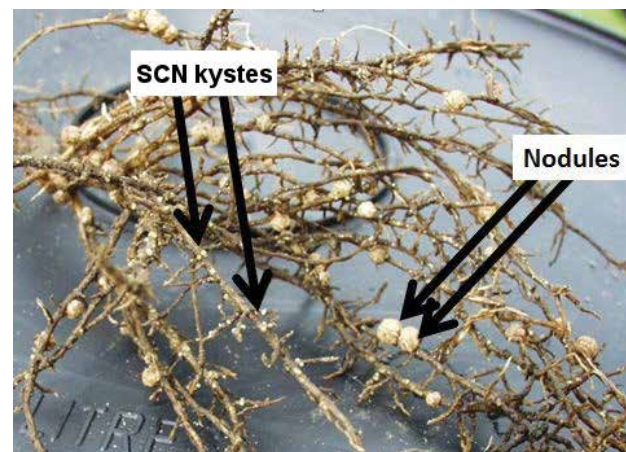


Photo 16-20 – Racines de soya couvertes de kystes de NKS, plus petits que les nodules fixateurs d'azote

Stratégies de lutte :

Les pratiques suivantes réduisent le risque qu'une infestation de NKS cause des pertes financières importantes :

- Utiliser des semences certifiées ou de bonne qualité, propres et exemptes d'agréats.
- En cas d'infestation, enlever toute terre collée à la machinerie agricole avant de passer d'un champ ou d'un terrain à un autre.
- Adopter des pratiques de conservation adéquates pour empêcher le transfert de terre entre les champs.
- Faire preuve de rigueur dans la lutte contre les mauvaises herbes. De nombreuses mauvaises herbes, particulièrement les annuelles comme le lamier pourpre, le lamier amplexicaule et le tabouret des champs, servent d'hôtes au NKS.
- Si on a confirmé la présence de NKS dans un champ, utiliser des cultivars de soya qui lui sont résistants (PI 88788, Peking, PI 437654), car le NKS entraîne des baisses de rendement importantes. Cela revêt une importance particulière dans le cas des nouvelles technologies ou caractéristiques, telles que la résistance aux herbicides.
- La résistance au NKS n'est pas totalement efficace; elle n'empêchera pas l'apparition de quelques kystes sur les racines. Plus le cultivar est résistant et moins la population de NKS dans le champ est

diversifiée, moins il y aura de kystes. Il convient de faire la rotation des cultivars résistants et des sources de résistance, car l'utilisation continue du même cultivar résistant au NKS pousse la population de nématodes à s'adapter et à se déplacer, rendant ainsi ces cultivars inefficaces contre les infestations. Le rapport sur les essais de rendement des cultivars de soya en Ontario fait état des cultivars résistants, des gènes de résistance et de leur comportement dans les sols infestés.

- Pratiquer une rotation incluant des cultures ne servant pas d'hôtes au NKS, comme le maïs, le blé, la luzerne, l'avoine ou les légumes (p. ex. tomate) et certaines cultures couvre-sol (voir section *Cultures couvre-sol*) qui abaissent les populations de NKS et améliorent le rendement. Il est déconseillé de remplacer dans la rotation le soya par des haricots secs comestibles (blancs ou colorés), étant donné que ces cultures sont également hôtes du NKS. Voir le tableau 16-1, *Risque de perte de rendement associé à différents niveaux de population de NKS (selon les résultats d'analyse du sol)*.
- Surveiller les populations de NKS dans le sol en prélevant des échantillons tous les trois à six ans. Envoyer les échantillons à l'un des laboratoires indiqués à l'annexe E, *Laboratoires de dépistage du nématode à kyste du soya*. Demander à ce que l'on compte séparément les œufs et les kystes.

Tableau 16-1 – Risque de perte de rendement associé à différents niveaux de population de NKS (selon les résultats d'analyse du sol)

Population de NKS (n ^{bre} d'œufs/100 g de sol)	Risque	Perte de rendement possible	Rotation
0 à 500 (sols grossiers et sableux)	Faible	0 à 20 %	4 ans
0 à 1 000 (sols fins limoneux ou argileux)	Faible	0 à 20 %	4 ans
1 000 (sols grossiers et sableux)	Élevé	20 à 50 %	6 ans
2 000 (sols fins limoneux ou argileux)	Élevé	20 à 50 %	6 ans
10 000 (tous les types de sols)	* Voir ci-dessous.	50 à 100 %	Non-hôte

Source : T. Welacky et A. Tenuta. Agriculture et Agroalimentaire Canada et MAAARO, 2014.

* Les cultivars résistants risquent d'être endommagés.

OÏDIUM (BLANC) (*Microsphaera diffusa*)

MILDIU (*Peronospora manshurica*)

Incidence : Ces deux maladies s'observent surtout par temps pluvieux ou humide. Bien que la plupart des champs soient touchés par ces maladies, on considère qu'il s'agit de maladies mineures et négligeables sur le plan économique.

Aspect : L'oïdium se manifeste sous forme de couche poudreuse blanche sur la face supérieure des feuilles (voir photo 16-21). Les graines de soya ne sont pas contaminées. Le mildiou se manifeste sous forme de taches foliaires jaunes ou brunes apparaissant de la fin de juillet à septembre (voir photo 16-22). Par temps humide, une moisissure grise ou bleu pâle apparaît au revers des feuilles, juste sous ces taches. Les feuilles gravement atteintes tombent prématurément. Des moisissures blanchâtres peuvent finir par recouvrir entièrement les graines, même à l'intérieur de gousses saines. Le semis de graines infectées peut donner des plantules malades.

Cycle biologique : Habituellement, l'oïdium se manifeste sur les feuilles en août et en septembre. Cette maladie se manifeste lorsque les signes commencent à apparaître au début de juillet et que le temps demeure frais, nuageux et humide jusqu'au remplissage des gousses. Le mildiou vit dans les feuilles infectées et sur les semences. Les spores, portées par le vent depuis les États-Unis jusqu'en Ontario, sont les sources d'infection les plus courantes.



Photo 16-21 – L'oïdium se manifeste sous forme de couche poudreuse blanche sur la face supérieure des feuilles



Photo 16-22 – Le mildiou se présente sous forme de taches jaunes ou brunes sur le dessus des feuilles et de moisissures bleues ou grises en dessous

Stratégies de lutte : L'enlèvement des résidus de récolte et l'inclusion dans la rotation d'espèces qui ne sont pas hôtes, comme le maïs et le blé, contribuent à prévenir l'apparition de ces deux maladies. De plus, le traitement fongicide des semences réduit l'incidence du mildiou transmis par celles-ci. Les produits recommandés figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

POURRITURE BRUNE DES TIGES (*Phialophora gregata*)

CHANCRE DES TIGES (*Diaporthe phaseolorum*)

SYNDROME DE LA MORT SUBITE (*Fusarium virguliforme*)

Incidence : On trouve ces trois maladies dans toutes les régions de l'Ontario où l'on cultive le soya, mais elles sont plus répandues dans les comtés du Sud-Ouest. Les pertes de rendement varient de quelques boisseaux à de grandes étendues de champs (surtout dans le cas du syndrome de la mort subite).

Aspect : Le tableau 16-2, *Signes de pourriture brune des tiges, de chancre des tiges et de syndrome de la mort subite*, décrit les signes correspondants à chaque maladie.

Pourriture brune des tiges : La maladie se manifeste généralement en août, durant le remplissage des gousses. Des zones jaunâtres et nécrotiques apparaissent entre les nervures des feuilles supérieures, comme dans le cas du syndrome de la mort subite. Les plants se flétrissent soudainement et les gousses sont mal remplies. La maladie est plus répandue dans les champs soumis à un travail réduit du sol.

Chancre des tiges : La maladie peut causer la fonte des semis et le flétrissement des plantules, mais elle s'attaque plus souvent aux plants de soya après la floraison. Les plants se flétrissent soudainement et les feuilles et pétioles s'affaissent, comme dans le cas de la pourriture phytophthoréenne. Des lésions brun rougeâtre apparaissent à l'extérieur des plants atteints, aux nœuds inférieurs (voir photo 16-23). En général, la moelle des plants malades brunit près des nœuds. Le champignon peut aussi provoquer le dépérissement de la tige ou des pointes plus tard dans la saison de croissance et causer une pourriture des semences semblable à celle causée par *Phomopsis*. Le chancre des tiges hiverne dans les résidus de culture et est plus répandu dans les champs soumis à un travail réduit du sol.



Photo 16-23 – Le chancre des tiges entraîne le flétrissement subit du plant et l'apparition de lésions brun rougeâtre près des nœuds inférieurs

Syndrome de la mort subite : Les plants atteints se flétrissent et meurent très rapidement en juillet et en août. On peut parfois observer une chlorose internervaire et une nécrose des feuilles supérieures (voir photo 16-24) ainsi qu'une défoliation. En général, les pétioles ne tombent pas. Les sols mouillés et les temps chauds sont propices à la progression de la maladie. Le collet des plants atteints est légèrement brun. La maladie est souvent causée par le nématode à kyste du soya, mais pas toujours.



Photo 16-24 – Les plants souffrant du syndrome de la mort subite se flétrissent et meurent rapidement; ils présentent parfois une chlorose internervaire et une nécrose des feuilles supérieures

Cycle biologique : Tous ces champignons survivent pendant de longues périodes dans les résidus de culture enfouis dans le sol. La pourriture brune des tiges survient au début de la saison de croissance, mais ne se

manifeste qu'un mois avant la récolte. Les conditions présentes durant le remplissage des gousses ont une incidence sur la progression de la maladie, qui se propage lorsque du temps frais et pluvieux est suivi de temps chaud et sec. Le chancre des tiges est favorisé par du temps assez chaud et pluvieux, et se manifeste entre la mi-juillet et la maturité. Le syndrome de la mort subite commence à se manifester entre la floraison et la maturité; la maladie progresse dans des sols frais et humides. Les champs bien fertilisés et vigoureux sont les plus susceptibles d'être touchés par le syndrome de la mort subite.

Stratégies de lutte : Le fait de pratiquer une rotation incluant du maïs et des céréales réduit l'incidence de ces maladies, qui sévissent le plus souvent dans des champs soumis à un travail réduit du sol. L'incorporation ou l'enlèvement des résidus infestés réduit également les risques d'infection. Il existe quelques cultivars de soya résistants ou tolérants à ces maladies.

Tableau 16-2 – Signes de pourriture brune des tiges, de chancre des tiges et de syndrome de la mort subite

Parties atteintes	Pourriture brune des tiges	Chancre des tiges	Syndrome de la mort subite
Racines	• Saines	• Saines	• Pourriture des racines • Brunissement des racines • Brunissement interne de la racine pivotante
Tige (extérieur)	• Saine	• Chancre brun rougeâtre foncé, enfoncé, commençant à un nœud • Chancre pouvant s'étendre à la longueur de la tige • Chancre généralement restreint à un seul côté	• Saine
Tige (intérieur)	• Moelle brune (centre) • Tissus blancs sous la surface de la tige	• Léger brunissement aux nœuds (première manifestation) • Tiges gravement atteintes complètement détériorées	• Moelle blanche et saine • Brunissement des tissus sous la surface de la tige
Feuilles	• Flétrissement des feuilles supérieures • Taches jaunes entre les nervures • Agrandissement jusqu'à ce que les tissus entre les nervures soient entièrement jaunis, puis brunis • Feuilles restant attachées au plant	• Jaunissement général des feuilles • Absence de points ou taches jaunes distincts • Jaunissement entre les nervures pouvant entraîner la nécrose ou la mort des tissus	• Flétrissement des feuilles supérieures • Taches jaunes entre les nervures • Agrandissement jusqu'à ce que les tissus entre les nervures soient entièrement jaunis, puis brunis • Feuilles restant attachées au plant

POURRITURE À SCLÉROTES (*Sclerotinia sclerotiorum*)

Incidence : La pourriture à sclérotés est une maladie sporadique plus dévastatrice lorsque le temps est frais et pluvieux pendant la floraison ou peu de temps avant la récolte.

Aspect : Les tiges et les gousses infectées sont brun pâle et semblent être détrempées (voir photo 16-25). Habituellement, des moisissures blanches et des sclérotés noirs se forment à la surface ou à l'intérieur des tiges des plants atteints. Les plants meurent généralement par touffes à la fin de la saison de croissance. Les sclérotés noirs se trouvent parfois sur les semences récoltées (voir photo 16-26). L'infection des gousses peut se propager aux graines, qui deviennent à leur tour recouvertes de moisissures blanches. **Il ne faut pas garder les graines des cultures infectées.**



Photo 16-25 – La pourriture à sclérotés infecte d'abord les vieilles fleurs et les feuilles mortes, et finit par s'étendre aux gousses, aux feuilles et aux tiges saines



Photo 16-26 – Les sclérotés noirs se trouvent parfois sur les semences récoltées

Stratégies de lutte : Dans les champs où la pourriture à sclérotés a déjà sévi, il faut éviter, pendant trois ou quatre ans, de cultiver des espèces hôtes (p. ex. canola, haricots secs comestibles, sarrasin et tournesol). La plupart des sclérotés qui se trouvent à une profondeur de moins de 2,5 cm (1 po) de la surface du sol germent au cours de l'année qui suit une sole de soya et ne présentent alors plus de risque. À la suite du soya, le semis direct laisse la plupart des sclérotés à la surface du sol, ce qui réduit considérablement la présence d'inoculum les années suivantes grâce à leur dégradation et aux ennemis naturels. Les sclérotés enfouis profondément dans le sol peuvent quant à eux survivre de cinq à sept ans, mais ils ne devraient pas causer de problèmes aux cultures de haricots ultérieures s'ils sont ramenés à la surface par le travail du sol avant le semis d'une culture qui ne sert pas d'hôte.

Les cultivars ne seraient pas tous aussi vulnérables à la pourriture à sclérotés. Bien qu'il ne semble exister aucun cultivar résistant, on a constaté sur le terrain que, dans une même région, les cultivars précoces sont moins sensibles à la pourriture à sclérotés que les cultivars tardifs, et que les cultivars moins prédisposés à la verse ont tendance à mieux résister à cette maladie. Dans les champs de soya qui ont déjà été fortement frappés par la pourriture à sclérotés, il faut privilégier les cultivars qui nécessitent entre 200 et 300 unités thermiques de croissance de moins que ce qui prévaut dans la région et qui ont une excellente résistance à la verse. Les fongicides foliaires donnent des résultats aléatoires et ne sont donc pas considérés comme efficaces.

ROUILLE ASIATIQUE DU SOYA (*Phakopsora pachyrhizi*)

Incidence : La rouille asiatique du soya est une nouvelle maladie fongique envahissante du soya en Amérique du Nord. Cette maladie destructrice devient une menace grandissante pour les producteurs canadiens de soya puisque l'agent qui en est responsable continue de se propager et hiverne dans le Sud des États-Unis. La présence confirmée de la rouille asiatique du soya en Ontario durant la saison de croissance 2007 montre qu'il existe une voie d'exposition et que le soya peut y être infecté même si l'agent pathogène responsable n'hiverne pas dans la province.

Aspect : Le signe le plus courant est l'apparition de petites lésions de couleur chamois à brun foncé ou brun rougeâtre de 2 à 3 mm de diamètre sur le dessous des feuilles, mais parfois aussi sur les pétioles,

les gousses et les tiges. Elles forment des pustules qui produisent des spores (voir photo 16-27). Les lésions de couleur chamois produisent davantage de spores que celles de couleur brun rougeâtre. Les feuilles infectées ont une apparence tachetée (voir photo 16-28). L'infection se déclare souvent sur les feuilles inférieures et progresse vers le haut du plant. Les feuilles finissent par jaunir et tomber. La perte de tissus photosynthétisants, la défoliation prématurée et la mort peuvent grandement diminuer le rendement. La rouille asiatique du soya se confond facilement avec la pustule bactérienne, la maladie des taches brunes, le mildiou ou la brûlure bactérienne, qui sont toutes des maladies courantes en Ontario.



Photo 16-27 – La rouille asiatique du soya, qu'un examen à la loupe permet de différencier des autres maladies foliaires, produit de petites lésions surélevées de couleur chamois à brun foncé ou brun rougeâtre qui produisent des spores



Photo 16-28 – Les feuilles infectées par la rouille asiatique du soya présentent des mouchetures jaunes qui, souvent, apparaissent d'abord sur les feuilles du bas avant de gagner progressivement le haut du plant

Cycle biologique : La rouille asiatique du soya est causée par un parasite obligatoire, c'est-à-dire qu'il a besoin de plants de soya vivants pour survivre. C'est une bonne nouvelle pour les producteurs de soya de l'Ontario, puisque l'agent responsable de cette maladie ne peut pas hibernier dans la province. En revanche, même si la rouille asiatique du soya ne peut survivre aux durs hivers de l'Ontario, les spores migrent chaque saison de croissance de leurs lieux d'hivernation dans le Sud des États-Unis. La survie des spores dépend de nombreux facteurs, en particulier du stade de croissance de la culture et des conditions environnementales lorsque les spores se déposent. Les spores ont besoin de feuilles demeurant mouillées longtemps, de températures entre 15 et 30 °C et d'une humidité relative élevée pour germer.

Stratégies de lutte : Les cultivars commerciaux de soya cultivés en Amérique du Nord ne résistent actuellement pas bien à la rouille asiatique du soya. Tant qu'il n'y aura pas de cultivars résistants, la lutte contre la rouille asiatique du soya reposera sur le dépistage, la détection précoce et l'utilisation de fongicides (voir photo 16-29). Contribuent à la surveillance de la maladie et à la prévision des risques qui y sont associés le vaste réseau nord-américain de parcelles d'alerte contre la rouille du soya (www.gfo.ca) et la plateforme ipmPIPE du département de l'Agriculture des États-Unis (www.sbrusa.net). Par ailleurs, une liste de fongicides efficaces contre cette maladie figure dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.



Photo 16-29 – Le dépistage et la pulvérisation opportune de fongicides, dont on voit les effets dans la moitié droite du champ, permettent de maîtriser la rouille asiatique du soya, qui, autrement, provoque les ravages que l'on voit à gauche

BRÛLURE BACTÉRIENNE

(*Pseudomonas savastanoi* du pathovar *glycinea*)

Incidence : La brûlure bactérienne est répandue dans toutes les régions de la province. La plupart des ans, elle a une incidence minimale. Elle cause toutefois des pertes de rendement et nuit à la qualité des semences quand le temps est frais et pluvieux pendant une longue période en été.

Aspect : La maladie se manifeste par l'apparition sur les feuilles des plants infectés de lésions noires ou rouges au pourtour jaune et au centre luisant (voir photo 16-30), qui disparaissent habituellement par temps sec et chaud. Les semences infectées présentent des taches aqueuses, commençant au hile, qui peuvent réduire la survie des semences et la germination.

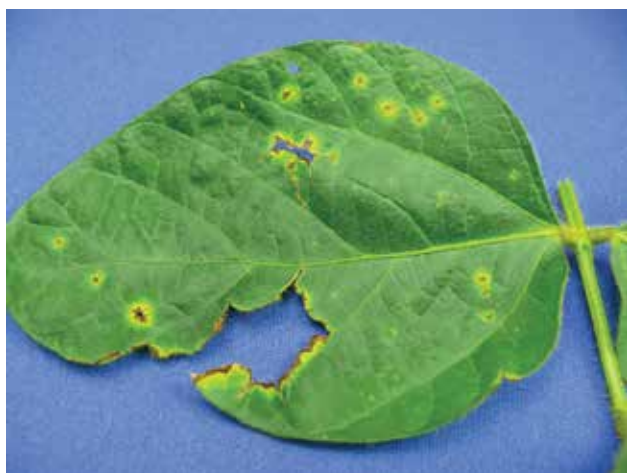


Photo 16-30 – La brûlure bactérienne produit un halo jaune distinctif autour des lésions, et les feuilles semblent souvent avoir été déchirées

Cycle biologique : Les bactéries survivent sur les semences et les résidus de cultures. Elles se propagent aux feuilles supérieures, essentiellement grâce aux éclaboussures de pluie, au vent et aux blessures causées aux plantes (grêle, insectes, machinerie, etc.). On compte différentes races physiologiques dans la province.

Stratégies de lutte :

- Alternier avec des cultures de maïs, de blé, etc.
- Enlever les résidus de cultures.
- Éviter d'aller dans le champ lorsque les feuilles sont mouillées.
- Choisir des cultivars ayant une certaine tolérance (aucun ne résiste à toutes les races physiologiques).

Maladies des gousses et des semences

MOSAÏQUE DU SOYA

(*Potyvirus*)

Incidence : La plupart des régions de la province sont légèrement touchées par cette maladie. Les champs de soya de spécialité ou de consommation humaine qui doivent donner des graines avec un tégument sans tache sont les plus vulnérables aux pertes économiques dues au virus de la mosaïque du soya.

Aspect : Les feuilles des plants infectés sont déformées, ridées et cloquées et ont des taches formant une sorte de mosaïque, qui est plus évidente sur les jeunes feuilles (voir photo 16-31). Les plants infectés peuvent être rabougris. Les semences infectées présentent un brunissement ou un noircissement caractéristique qui produit des stries depuis le hile (voir photo 16-32). On confond souvent les signes du virus avec les dommages causés par les herbicides hormonaux. Pourtant, les plants infectés par le virus de la mosaïque du soya sont répartis un peu partout dans le champ, et la zone touchée est habituellement plus petite que s'il s'agissait de dommages causés par un herbicide. De plus, les dommages semblent s'être produits de façon aléatoire dans le champ.



Photo 16-31 – La mosaïque du soya, dont le puceron du soya est le vecteur, se manifeste par la déformation des feuilles, la formation de cloques ainsi que le rabougrissement des plants



Photo 16-32 – Les graines infectées par le virus de la mosaïque du soja présentent un brunissement ou un noircissement caractéristique qui produit des stries depuis le hile

Cycle biologique : Le virus survit d'une saison à l'autre dans les graines infectées et est transmis d'un plant à l'autre par les pucerons.

Stratégies de lutte : En Ontario, on maîtrise cette maladie par l'utilisation de graines saines.

MARBRURE DES GOUSSES DU HARICOT (*Comovirus*)

Incidence : Récemment signalé en Ontario, le virus de la marbrure des gousses du haricot peut nuire à la qualité du soja et, par conséquent, aux possibilités d'exportation.

Aspect : L'un des signes courants de la maladie est la maturité irrégulière du soja (syndrome de la tige verte); les tiges et les feuilles demeurent vertes même si les gousses sont mûres. Les jeunes feuilles de la partie supérieure du feuillage ont souvent des marbrures vertes ou jaunes qui peuvent disparaître, puis réapparaître plus tard dans la saison de croissance. Dans les cas extrêmes, les feuilles et les gousses peuvent être déformées. La turgescence des feuilles infectées diminue, ce qui les fait s'enrouler. Souvent, à la suite d'un stress hydrique ou d'une sécheresse, les plants infectés comptent moins de gousses. Le tégument infecté présente des stries brunes ou noires depuis le hile.

Cycle biologique : Le temps frais est propice à la progression de la maladie. Contrairement au virus de la mosaïque du soja, le virus de la marbrure des gousses du haricot ne se transmet pas facilement par la semence; il est surtout propagé par la chrysomèle du

haricot et possiblement la chrysomèle du concombre. Ce virus a un grand nombre d'hôtes parmi les légumineuses et se transmet aux chrysomèles du haricot qui se nourrissent de plants infectés. Les blessures mécaniques contribuent également à la propagation du virus, surtout par temps pluvieux.

Stratégies de lutte : Dans les champs ayant déjà été infectés par ce virus, il convient d'utiliser des semences saines ou des cultivars résistants. Il faut également envisager de lutter contre les chrysomèles du haricot adultes lorsque les populations sont fortes en début de saison. Le seuil d'intervention applicable figure à la section *Chrysomèle du haricot* du chapitre 15, *Insectes et animaux nuisibles aux grandes cultures*.

CERCOSPORIOSE (*Cercospora sojina*)

Incidence : Les répercussions économiques de cette maladie sont généralement minimales; les comtés de l'extrême Sud-Ouest sont plus fréquemment touchés.

Aspect : Les lésions peuvent atteindre 5 mm (0,2 po) de diamètre et ont un centre chamois bordé de rouge foncé ou de brun. Les lésions plus anciennes fusionnent; les feuilles peuvent alors sembler effilochées ou présenter une mince fente au centre des lésions (voir photo 16-33).



Photo 16-33 – Les lésions foliaires de la cercosporiose sont bordées de rouge foncé ou de brun et ont un centre chamois qui peut se désintégrer et faire place à une perforation

Cycle biologique : L'agent pathogène hiverne dans des résidus. Des taches apparaissent sur les semences et les feuilles par temps chaud et humide, en particulier chez les cultivars très sensibles durant la floraison et la formation des gousses.

Stratégies de lutte :

- On procède à la rotation des cultures avec des plantes qui ne servent pas d'hôtes (p. ex. maïs, blé).
- On utilise de semences non infectées.
- On choisit un cultivar résistant.
- Les fongicides foliaires ne sont généralement pas rentables, à moins que la maladie apparaisse tôt dans la saison et qu'elle touche un cultivar très sensible (les produits recommandés figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*).

CERCOSPORIOSE ET MALADIE DES GRAINS POURPRES

(*Cercospora kikuchii*)

Incidence : La maladie se manifeste généralement tard dans la saison et peut causer des brûlures sur les feuilles et des taches sur les semences. Les pertes de rendement sont habituellement minimales, mais les taches peuvent nuire à la qualité des semences.

Aspect : Les feuilles présentent souvent des lésions allant du rouge au pourpre et mesurant moins de 1 cm (0,4 po) de diamètre qui deviennent visibles en août ou au début de septembre. Les lésions peuvent fusionner et former de larges zones infectées qui peuvent s'étendre le long de la nervure principale ou des nervures secondaires. Des lésions peuvent aussi apparaître sur les pétioles, les tiges et les gousses. Les signes sont souvent confondus avec les brûlures par le soleil ou les dommages causés par l'ozone. Les semences infectées changent de couleur (maladie des grains pourpres), leur tégument devenant partiellement ou entièrement violet ou pourpre pâle ou foncé (voir photo 16-34). Cette couleur caractéristique est souvent circonscrite aux deux couches supérieures du tégument. L'embryon n'est pas touché, pas plus que sa couleur. Dans la plupart des cas, une réduction de 7 à 13 % de la levée peut survenir dans le champ. Des essais en laboratoire ont démontré que la germination pouvait chuter de 30 %.

Cycle biologique : Le champignon hiverne dans les semences, mais les résidus de culture sont la principale source d'infection.

Stratégies de lutte :

- Utiliser des semences propres et les traiter avec des fongicides (des renseignements sur les différents produits figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*).



Photo 16-34 – La maladie se caractérise par l'apparition d'une teinte ou de taches pourpres sur les semences (et souvent même sur les feuilles)

- Faire la rotation des cultures et enlever les résidus pour réduire le risque d'infection.
- Choisir un cultivar ayant une bonne tolérance.

POURRITURE DES GRAINES (*Phomopsis longicolla*)

BRÛLURE PHOMOPSIENNE (*Diaporthe phaseolorum*)

Incidence : La pourriture des graines est depuis longtemps considérée comme la maladie du soya la plus grave en Ontario. Elle est surtout problématique par temps chaud et pluvieux durant la récolte. Il faut cependant garder en tête que retarder la récolte dans de telles conditions accroît l'incidence de la maladie.

Aspect : Deux maladies du complexe *Diaporthe/Phomopsis* sont courantes en Ontario : la pourriture des graines et la brûlure phomopsienne. La pourriture des graines se caractérise par de petites fentes près du hile des graines infectées (voir photo 16-35). Une moisissure blanche ou grise peut apparaître à la surface des graines. Le rendement, le grade, la viabilité et la vigueur de la semence s'en trouvent parfois réduits. Comme les graines gravement atteintes demeurent petites et légères, elles risquent d'être perdues lors de la récolte et des opérations de nettoyage, ce qui entraîne des pertes de rendement. La deuxième phase de la maladie, la brûlure phomopsienne, touche les tiges et les gousses. Bien que les plants soient infectés en début de saison, la maladie ne se manifeste qu'après la mi-saison. Sur les tiges apparaissent de petits points ou corpuscules

noirs surélevés (pycnides) alignés ou regroupés en îlots (voir photo 16-36). D'autres points noirs (anthracnose) apparaissent aussi en bon nombre sur les gousses, mais ils ne sont pas disposés de façon particulière.



Photo 16-35 – La pourriture des graines se caractérise par la présence, en partant du hile, de minces fissures et de moisissure qui réduisent la qualité et la vigueur des semences



Photo 16-36 – La brûlure phomopsienne se reconnaît aux petits points ou corpuscules noirs surélevés qui sont alignés ou regroupés en îlots sur la tige

Cycle biologique : Le champignon hiverne dans les graines et les résidus de culture. En début de saison, les spores sont éclaboussées sur les plantules. Du temps chaud, pluvieux et humide durant le remplissage des gousses est propice à la progression de la maladie.

Stratégies de lutte : Dans la mesure du possible, il faut choisir des cultivars de pleine saison qui parviendront à maturité dans les conditions fraîches de la fin de la saison de croissance. Les cultivars à cycle court pour une région donnée tendent à parvenir à maturité plus tôt par temps chaud et propice à la prolifération du

pathogène. On peut éliminer ou réduire l'incidence de la brûlure phomopsienne en adoptant une ou plusieurs des mesures suivantes :

- Faire la rotation des cultures et enlever les résidus de soja.
- Utiliser des semences saines.
- Retarder le semis pour éviter les conditions favorables à la prolifération du champignon.
- Faire la récolte au bon moment.

Il convient de récolter en premier le soja destiné à l'exportation et le soja de semence. Le traitement des semences entraîne habituellement une hausse de la germination et de la levée. Toutefois, les graines déformées ayant des moisissures visibles ne parviennent généralement pas à germer, même si elles sont traitées. Des renseignements sur les traitements homologués figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Maladies des fourrages

Maladies des plantules

POURRITURE DES SEMENCES

FONTE DES SEMIS

BRÛLURE DES PLANTULES (Espèces de *Pythium*)

Incidence : La pourriture des semences, la fonte des semis et la brûlure des plantules causées par *Pythium* sont surtout des maladies fongiques de début de saison qui s'attaquent à la luzerne. L'infection des plants survient généralement entre le semis et plusieurs semaines après la levée.

Aspect : Les semences infectées peuvent pourrir et les plantules gravement atteintes peuvent se flétrir, s'affaïsser et mourir. Ces maladies causent l'apparition de lésions humides ou aqueuses sur les racines et l'hypocotyle des plants infectés. Les plantules touchées ont une tige pincée ou ceinturée à la surface du sol ou atteinte de fonte des semis, ce qui peut entraîner leur verse et leur mort. Les parties infectées du champ forment souvent des plaques circulaires ou irrégulières.

Cycle biologique : La pourriture des semences, la fonte des semis et la brûlure des plantules causées par *Pythium* sont semblables à la pourriture phytophthoréenne en ce sens qu'elles produisent des

spores mobiles qui se déplacent dans l'eau pelliculaire entre les particules du sol et finissent par infecter les racines de luzerne.

Stratégies de lutte : Des lignes directrices sur le traitement des semences avec des fongicides figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Par ailleurs, il importe de drainer tout excès d'humidité dans le sol, d'éviter le compactage, de procéder au semis dans des conditions édaphiques et météorologiques propices à la levée et à la croissance rapides des plantules, et d'augmenter la densité de peuplement pour compenser toute perte.

POURRITURE PHYTOPHTHORÉENNE (*Phytophthora medicinis*)

Incidence : La pourriture phytophthoréenne est une maladie grave et courante de la luzerne. Elle survient principalement dans les sols mal drainés ou les loams argileux lors de longues périodes pluvieuses.

Aspect : Comme la maladie survient durant la levée des plants, les plantules y sont les plus vulnérables. À mesure que le peuplement vieillit, le risque d'infection diminue quelque peu. Les plantules atteintes sont rabougries, poussent lentement à cause de la réduction de leur système racinaire et finissent par se flétrir (voir photo 16-37). Les plantules touchées ont une tige pincée ou ceinturée à la surface du sol ou atteinte de fonte des semis, ce qui peut entraîner leur verse et leur mort. Les parties infectées du champ forment souvent des plaques circulaires ou irrégulières. Dans le cas des plantules plus âgées ou des plants établis, des lésions aqueuses brun rougeâtre peuvent apparaître sur les racines (voir photo 16-37). Lorsque l'infection est grave, les lésions peuvent noircir, et la racine pivotante peut pourrir complètement. Comme les racines ne peuvent pas absorber d'eau et d'éléments nutritifs, le plant se flétrit et meurt. Les feuilles inférieures commencent par jaunir et peuvent devenir brun rougeâtre à mesure que la maladie progresse.

Cycle biologique : Transmise par le sol, la pourriture phytophthoréenne peut endommager les racines et provoquer la mort des plants. Le champignon à l'origine de la maladie survit en tant que spores à paroi épaisse (oospores) qui, au printemps, produisent des spores mobiles qui migrent vers les racines des plants et les infectent. L'eau joue un rôle important, car ces spores mobiles (zoospores) se déplacent dans l'eau pelliculaire entre les particules du sol. La maladie



Photo 16-37 – La pourriture phytophthoréenne frappe dès la levée; les plantules infectées sont rabougries et commencent à se flétrir

progresses lorsque la température se situe entre 21 et 32 °C, par temps humide ou pluvieux. Les champs compactés ou mal drainés sont les plus vulnérables. Le risque d'infection diminue quelque peu à mesure que le peuplement vieillit. Le champignon peut survivre de nombreuses années dans des tissus végétaux infectés en tant qu'oospores.

Stratégies de lutte : Dans les champs ayant déjà été infectés par la pourriture phytophthoréenne, il convient d'utiliser des cultivars très résistants et des semences traitées. Il est aussi conseillé de consulter les données techniques des fournisseurs de semences fourragères pour connaître la tolérance et la résistance des cultivars aux différentes maladies, dont la pourriture phytophthoréenne. Des lignes directrices sur le traitement des semences avec des fongicides figurent d'ailleurs dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. La rotation des cultures a peu d'incidence sur la maladie. Parmi les autres mesures de lutte possibles, il y a lieu de mentionner :

- le maintien de la fertilité du sol, qui favorise la croissance des racines latérales;
- l'élimination de l'excès d'humidité par l'installation de tuyaux de drainage souterrains;
- la réduction du compactage du sol;
- l'atténuation des facteurs de stress tels que la présence d'insectes défoliateurs et de mauvaises herbes ayant résisté aux traitements, et la prévention des coupes inopportunes qui rendent les plants plus vulnérables à la maladie.

NÉCROSE RACINAIRE PRÉCOCE

(*Aphanomyces euteiches*)

Incidence : La nécrose racinaire précoce peut avoir de lourdes conséquences économiques. Elle est considérée comme l'une des principales maladies des plantules de luzerne et sévit surtout dans des sols humides et lourds. Elle s'attaque également aux plants de luzerne adultes ayant survécu et peut réduire considérablement le rendement et la vigueur des peuplements établis.

Aspect : La nécrose racinaire précoce peut se manifester sur les plantules et les plants. Les plantules infectées sont rabougries et caractérisées par leurs folioles et cotylédons jaunes ainsi que leurs racines et tiges grises et aqueuses. Les plantules gravement atteintes deviennent brun pâle ou brun foncé. Les plants établis, eux, deviennent rabougris et jaunes et ont un système racinaire réduit. Ces signes sont souvent attribués à tort à une carence en azote. Les plants infectés repoussent lentement après la récolte et l'hiver.

Cycle biologique : Le champignon survit dans le sol, sur des plants ou des résidus de culture infectés. L'infection ne se déclare que si le sol est saturé d'eau. La progression de cette maladie est favorisée par les températures allant de douces à élevées (16 à 30 °C) par temps humides ou pluvieux. Les champs compactés ou mal drainés sont particulièrement vulnérables. Comme la maladie survient durant la levée des plants, les plantules y sont les plus vulnérables. À mesure que le peuplement vieillit, le risque d'infection diminue quelque peu.

Stratégies de lutte : La meilleure mesure de lutte est l'emploi de cultivars résistants. Comme la maladie n'apparaît que dans des sols saturés, l'amélioration du drainage et la réduction du compactage en réduisent l'incidence. Des renseignements supplémentaires sont accessibles à l'adresse ontario.ca/cultures.

POURRITURE BRUNE

(*Phoma sclerotoides*)

Incidence : La présence de la pourriture brune a été confirmée en Ontario durant la saison de croissance 2007. La maladie est probablement répandue dans toute la province. Elle survient généralement dans les régions où l'hiver est rude puisqu'elle est souvent associée à la mortalité hivernale. Les plants atteints sortent lentement de leur période de dormance hivernale et ont une croissance printanière retardée, ce qui entraîne une baisse de rendement.

Aspect : La racine pivotante, les racines latérales et le collet présentent des lésions brunes (presque noires) enfoncées caractéristiques. Dans les cas graves, la racine pivotante est complètement pourrie. Le champignon n'infecte pas les parties aériennes des plants de luzerne.

Cycle biologique : Comme l'agent pathogène responsable de la pourriture brune se développe lorsque la température du sol est de 15 °C ou moins, il est surtout actif en automne et au printemps, quand les conditions environnementales sont propices à l'infection et que les plants sont en dormance. L'infection des racines ou du collet peut nuire à la santé du plant durant l'hiver, favoriser l'apparition d'autres maladies et causer la mortalité hivernale, l'affaiblissement des peuplements et des pertes de rendement. Comme ce champignon se développe très lentement, les dommages ne sont souvent pas visibles avant la deuxième ou la troisième année, lorsque les plants se rabougrissent ou meurent.

Stratégies de lutte : Comme les cultivars résistants offerts sur le marché ontarien sont limités, il faut employer des méthodes pour réduire le stress occasionné aux plants avant l'hiver (p. ex. éviter la récolte tardive ou la récolte d'automne excessive, maintenir la fertilité des sols et procéder à une rotation avec d'autres espèces que la luzerne pendant au moins trois ans) afin de limiter les pertes et d'augmenter la longévité des peuplements.

AUTRES POURRITURES DU COLLET ET DES RACINES TOUCHANT LA LUZERNE ET LE TRÈFLE ROUGE

La présence de facteurs de stress comme les maladies foliaires, les insectes, les récoltes fréquentes ou faites au mauvais moment, les rigueurs de l'hiver et un pH du sol peu élevé augmentent la gravité des dommages causés par les pourritures des racines et du collet. La présence de facteurs de stress pendant la saison de croissance rend les plants plus vulnérables aux rigueurs de l'hiver. Pour réduire la gravité des maladies, il importe d'employer de bonnes pratiques culturales, dont les suivantes :

- Établir un calendrier de récolte approprié.
- Maintenir un bon niveau de fertilité et un pH convenable.
- Lutter contre les cicadelles présentes dans la luzerne.
- Éviter d'endommager les collets avec la machinerie. La machinerie et le piétinement du bétail les abîment facilement, surtout lorsque le sol est mouillé.

ANTHRACNOSE DE LA LUZERNE (*Colletotrichum trifolii*)

ANTHRACNOSE DU TRÈFLE (*Kabatella caulivora*)

Incidence : L'anthracnose de la luzerne touche surtout les régions du Sud-Ouest de l'Ontario, alors que l'anthracnose du trèfle est répandue dans toute la province. Les pertes de luzerne et de trèfle rouge dues à l'anthracnose peuvent atteindre 25 %.

Aspect : Bien que les signes puissent apparaître tant sur la tige que sur les feuilles, ce sont les dommages au collet qui sont les plus graves. La maladie se manifeste sur la tige des cultivars résistants par l'apparition de petites lésions noires de forme irrégulière. Sur les cultivars vulnérables, les lésions sont larges, enfoncées et en forme d'ovale ou de losange. Le centre de ces lésions varie de chamois à jaune paille et est bordé de brun foncé. Lorsque le champignon se reproduit, le centre des lésions apparaissant sur la tige des cultivars vulnérables renferme de petits organes de fructification noirs, facilement visibles à l'œil nu ou à la loupe. Dans le cas d'infections graves, les lésions fusionnent et finissent par ceinturer complètement la tige, ce qui la fait flétrir ou mourir. Les tiges et les feuilles (pousses) mortes deviennent blanches et ressemblent à un crochet. Comme ces signes apparaissent un peu partout dans les champs, on les attribue souvent à tort à deux autres maladies (le rhizoctone noir et la fusariose vasculaire) ou au gel.

Les dommages au collet se manifestent par une coloration bleu-noir des tissus. La base des plants atteints se casse facilement. Si le tissu infecté est brun pâle, il s'agit probablement du rhizoctone noir ou de la fusariose vasculaire, et non de l'anthracnose (voir photo 16-38). L'infection du collet réduit le nombre de tiges par plant et finit par tuer ce dernier.

Dans les champs de trèfle rouge, l'anthracnose du trèfle peut s'avérer très destructrice. En plus de la plupart des signes touchant la luzerne décrits ci-dessus, la maladie peut entraîner le fendillement de la surface de la tige.

Cycle biologique : Ce champignon se développe dans des températures modérées par temps humide. Il survit dans les tiges, les feuilles ou les résidus infectés. Les spores produites au printemps sont disséminées par la pluie, qui éclabousse les plants sains. Le champignon peut se propager d'un champ à l'autre, notamment par le matériel agricole et l'érosion du sol.



Photo 16-38 – La fusariose vasculaire prend l'aspect de filaments brun foncé ou roux dans le xylème des racines

Stratégies de lutte : Des cultivars ayant une résistance moyenne ou élevée sont offerts. Il faut nettoyer le matériel de récolte avant de passer d'un champ à l'autre. La rotation des cultures a connu peu de succès dans les luzernières, mais elle fonctionne mieux dans les champs de trèfle rouge, dont la résistance n'est pas la même.

Maladies foliaires

TACHES COMMUNES (*Pseudopeziza medicaginis*)

TACHES DE POIVRE (*Leptosphaerulina trifolii* ou *L. briosiani*)

Incidence : De ces deux maladies foliaires répandues en Ontario, la maladie des taches communes est la plus destructrice. Elle peut entraîner une défoliation précoce et ainsi réduire la qualité et le rendement du foin, de même que la santé et la vigueur de la culture.

Il arrive que l'on confonde les taches de poivre avec les taches communes, car elles se présentent toutes deux au début comme de petits points noirs de 1 à 2 mm au centre chamois ou brun généralement entourés d'un halo jaune. Contrairement aux taches communes, les taches de poivre finissent par s'amalgamer et former des lésions plus étendues (voir photo 16-39).



Photo 16-39 – La maladie des taches de poivre se manifeste d’abord sur les feuilles par de petites taches sombres au centre chamois entourées d’un halo jaune, qui s’élargissent et finissent par s’amalgamer

Aspect : Ces maladies se manifestent d’abord sur les feuilles inférieures et progressent vers le haut. Les taches communes sont de petites taches rondes brunes ou noires de 1 à 2 mm de diamètre. Ces lésions s’amalgament rarement. Souvent, le centre des lésions sur le dessus des feuilles est surélevé. Ces centres contiennent des organes de fructification (bosses) noirs facilement visibles à la loupe. En cas de doute, on peut mettre quelques feuilles infectées et des essuie-tout mouillés dans un sac en plastique, ce qui accélérera la production de ces organes de fructification. Les feuilles atteintes jaunissent (feuilles chlorosées) et tombent prématurément.

Cycle biologique : Comme le temps frais et pluvieux favorise le développement des taches, on les trouve principalement sur les feuilles des premières coupes (printemps et début de l’été) et des repousses (automne). Les champignons pathogènes survivent sur les feuilles infectées et sur les feuilles mortes tombées au sol. Les spores produites sur les feuilles vivantes et mortes sont portées par l’air vers de nouveaux sites d’infection. Les jeunes feuilles sont les plus vulnérables.

Stratégies de lutte : Il importe de récolter le fourrage en temps opportun pour réduire les pertes de feuilles et l’incidence de la maladie dans la repousse. On trouve sur le marché certains cultivars tolérants aux taches communes, mais aucun n’a de résistance ou de tolérance aux taches de poivre. Il existe peu de stratégies pratiques de lutte contre les taches des feuilles dans les fourrages. Comme les maladies peuvent réduire la teneur en protéines des feuilles de légumineuses, il importe d’établir le moment de la récolte en fonction de la teneur optimale (au stade

du bouton pour la luzerne) et de la progression de ces maladies. Les produits recommandés figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

FLÉTRISSEMENT BACTÉRIEN (*Clavibacter michiganensis*)

Incidence : Le flétrissement bactérien était auparavant l’une des maladies des fourrages les plus dévastatrices en Ontario et partout où se trouvaient de telles cultures. La maladie est cependant moins courante aujourd’hui grâce à la mise au point de cultivars résistants.

Aspect : Le flétrissement bactérien se manifeste à mesure que le peuplement vieillit (trois ans ou plus). Les plants infectés sont rabougris et jaune-vert. Lorsque l’infection est grave, les plants ont une tige amincie et de petites feuilles déformées, tandis que les plants ayant subi un stress hydrique ou thermique, ou les deux, se flétrissent ou meurent un peu partout dans le peuplement. En fait, la maladie stresse le plant et augmente sa vulnérabilité à la destruction par l’hiver. La coupe transversale de la racine pivotante révèle des tissus vasculaires brun pâle ou jaunes près du pourtour.

Cycle biologique : Cette maladie est causée par une bactérie du sol qui survit pendant au moins 10 ans dans les racines de luzerne et les résidus de culture. Elle pénètre les plants par les blessures sur les racines et le collet ou par les tiges coupées. La bactérie se développe dans les tissus de transport d’eau et d’éléments nutritifs (système vasculaire), et les obstrue, ce qui provoque le flétrissement du plant.

Stratégies de lutte : Tous les cultivars recommandés sont résistants. Comme la maladie se répand par les blessures, il est conseillé de faucher d’abord les jeunes peuplements, moins vulnérables, pour ensuite passer aux plus vieux. Le fauchage doit se faire une fois que les peuplements sont secs, afin de limiter ou de réduire la propagation éventuelle de la maladie. La bactérie peut se propager par les semences et le foin.

VERTICILLIOSE (*Verticillium albo-atrum*)

Incidence : Dans la luzerne, l’incidence de la verticilliose augmente avec l’âge du peuplement; la maladie survient donc principalement après la deuxième année de culture. On trouve le champignon responsable de cette maladie dans la plupart des régions du Sud de l’Ontario. Il se peut que l’on observe

dans les champs qui ont déjà été infectés par cette maladie des plants morts dans de jeunes peuplements (deuxième année). La verticilliose peut réduire le rendement de 50 % et abréger la vie du peuplement.

Aspect : Au début, seulement quelques tiges sont touchées. Tôt ou tard, les feuilles des plants infectés finissent par se flétrir, s'enrouler vers l'intérieur et prendre une couleur brun orangé ou brun chamois (voir photo 16-40). Dans les premiers stades de la maladie, les feuilles ont un « V » jauni à l'extrémité des folioles. La croissance est souvent considérablement retardée, et les plants finissent par mourir. Même si toutes les feuilles meurent, les tiges restent vertes. Le champignon pénètre le plant par la racine ou les tiges coupées et se propage des vieux peuplements infectés aux jeunes peuplements par le matériel de récolte, les insectes et le fumier. La maladie provoque le brunissement des tissus vasculaires des racines et des tiges, que l'on peut observer en coupant la tige.



Photo 16-40 – Entraînant un retard de croissance, la verticilliose ne touche au départ que quelques tiges, dont les feuilles se flétrissent, s'enroulent vers l'intérieur et changent de couleur

Cycle biologique : Généralement, le champignon *Verticillium* pénètre le plant par les racines; il empêche les plants d'absorber l'eau, ce qui entraîne leur flétrissement. Il hiverne dans les résidus de plants infectés et, par temps frais et humide, produit de nombreuses spores sur les tissus infectés.

Stratégies de lutte : Le meilleur moyen de maîtriser cette maladie est d'utiliser des cultivars cotés résistants ou très résistants. Il convient de consulter les données techniques des fournisseurs de semences fourragères pour connaître la tolérance et la résistance des cultivars aux différentes maladies, dont la verticilliose. Le traitement fongicide des semences

réduit les infections précoces. Des lignes directrices sur les fongicides figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Le champignon se répand principalement par l'intermédiaire de la barre de coupe du matériel de récolte des fourrages. Avant la récolte, il faut la nettoyer avec une solution de 1 % d'agent de blanchiment, puis la rincer à l'eau claire et la huiler. On fauche d'abord les champs les plus jeunes pour ensuite passer aux plus vieux. La récolte précoce peut limiter les pertes de rendement et de qualité, ainsi que ralentir la propagation du champignon d'un champ à l'autre. Il doit y avoir un intervalle de deux ou trois ans entre les récoltes de luzerne. De plus, il importe d'adopter un bon programme de lutte contre les mauvaises herbes, car certaines peuvent servir d'hôtes intermédiaires.

Maladies des céréales

MALADIES DES PLANTULES

Pourriture des semences, fonte des semis et pourritures des racines

Voir la section *Généralités sur les pourritures des semences et la fonte des semis dans les grandes cultures* en début de chapitre.

Cycle biologique : Des organismes qui colonisent les semences et le sol sont responsables de la pourriture des semences et de la fonte des semis en début de saison ainsi que de la carie du grain (voir photo 16-41). Il faut traiter toutes les semences de blé avec des fongicides pour maîtriser les maladies transmises par le sol ou les semences, notamment les pourritures des semences, la fonte des semis, les maladies causées par *Septoria* et transmises par la semence, la fonte des semis causée par *Fusarium*, la carie naine, la carie du blé et le charbon nu. La meilleure protection contre la fonte des semis, le charbon nu et les caries consiste à traiter les semences avec une combinaison de fongicides, étant donné qu'aucun fongicide n'est efficace contre toutes ces maladies. De plus amples renseignements sur les traitements figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Un bon recouvrement des semences est indispensable à l'efficacité optimale du traitement. Ces maladies continuent de provoquer de lourdes pertes dans les champs dont les semences n'ont pas été traitées aux fongicides.



Photo 16-41 – Causée par plusieurs organismes, la fonte des semis empêche la levée de nombreuses plantules; celles qui lèvent tout de même paraissent jaunes et ont de la pourriture brune ou brun rougeâtre à la base de la tige

Fonte des semis causée par *Fusarium* – Piétin fusarien

(*F. culmorum*, *F. graminearum* et *F. avenaceum*)

Incidence : La fonte des semis causée par *Fusarium* se transmet par la semence ou les résidus de culture. Un peuplement mal établi, une levée inégale, des trous dans le champ ou des plants manquants sont les premiers signes d'infection de la semence ou des plantules (signes qui apparaissent entre le semis jusqu'à plusieurs semaines après la levée).

Aspect : Les semences pourrissent ou les plantules meurent avant leur levée. Les plantules qui lèvent sont jaunes et rabougries; leur collet, leurs racines ou la base de leur tige présentent une pourriture brune ou brun rougeâtre. La tige peut comporter des stries brunes ou rougeâtres. Les lésions sont de forme et de taille variables et n'ont pas de pourtours définis. La maladie peut aussi frapper les plants plus vieux, ce qui réduit le nombre de talles qui viennent à maturité ou leur taille. De plus, elles viennent souvent à maturité prématurément et comportent des épis blancs et ratatinés. Les plants infectés sont moins vigoureux.

Cycle biologique : Ces champignons infectent de nombreuses céréales, graminées et autres plantes, dont le maïs. Ils survivent dans les graines, les résidus de culture et le sol. Dans les céréales d'automne, ils envahissent le collet, les racines ou les gaines foliaires à l'automne. À ce stade, ils peuvent provoquer la pourriture des semences et la fonte des semis. Au printemps, les lésions continuent de s'étendre, donnant lieu à la pourriture du collet, de la tige et des racines.

Les sols humides à l'automne favorisent l'infection, et les sols secs et de fortes concentrations d'engrais azoté favorisent la progression de la maladie au printemps. Les champignons, surtout *F. graminearum*, infectent aussi les épis et contaminent les graines. La maladie risque de causer davantage de dégâts lorsque le blé suit des cultures de blé, d'orge ou de maïs.

Stratégies de lutte : Il convient de retarder le semis jusqu'à ce que les conditions soient favorables à une levée rapide et uniforme, d'éviter de semer du blé après du maïs et de maintenir un programme de fertilisation équilibré. Il existe des traitements fongicides des semences très efficaces contre les agents pathogènes transmis par les semences ou par le sol. De plus amples renseignements sur les traitements figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*. Les autres stratégies de lutte consistent à utiliser des cultivars tolérants, à semer des graines saines et à inscrire le blé dans une rotation sur au moins trois ans étant donné que les agents pathogènes peuvent survivre dans les résidus de blé.

PIÉTIN BRUN (Espèces de *Pythium*)

Incidence : Les dommages causés au blé par le piétin brun sont fréquents en Ontario. Il s'agit de l'une des principales maladies qui touchent les plantules des petites céréales. Plusieurs espèces de *Pythium* s'attaquent aux petites céréales et, même si ce genre est présent dans tous les sols, les pertes les plus grandes surviennent dans les sols argileux froids et détrempés. *Pythium* (comme *Phytophthora*) cause une pourriture aqueuse favorisée par un milieu saturé d'eau. L'infection est donc étroitement liée au taux d'humidité du sol et à sa teneur en argile. Plus le sol est détrempé et plus il renferme d'argile, plus les risques d'infection sont grands. *Pythium* produit des spores mobiles qui migrent dans l'eau pelliculaire du sol.

Aspect : Même si l'infection gagne d'abord l'embryon un ou deux jours après le semis, les plantules en meurent rarement. Les plants infectés paraissent rabougris et ont de petites feuilles vert pâle ou jaunes, signes souvent attribués à tort à une carence en éléments nutritifs. Souvent, les signes peuvent passer inaperçus jusqu'au printemps, où les plants non infectés commencent à croître rapidement. Les racines infectées sont brun clair et comportent peu ou pas de poils absorbants. L'infection commence à la pointe des racines et détruit les poils absorbants et les racines latérales fines, qui jouent un rôle primordial dans

l'absorption des éléments nutritifs. Les plants atteints sont souvent groupés par plaques et semblent malades. Il arrive que les plants gravement atteints se brisent au niveau du sol.

Cycle biologique : Les champignons survivent dans le sol et dans les résidus de culture. Ils produisent des spores (zoospores) qui envahissent les racines du blé en se déplaçant dans l'eau pelliculaire du sol. Certaines espèces sont plus dévastatrices dans les sols chauds, tandis que d'autres préfèrent les sols froids. Les dégâts sont moins importants lorsque la teneur du sol en phosphate est propice au bon développement des racines.

Stratégies de lutte : Il faut réduire au minimum le compactage du sol, retirer l'excès d'eau par un drainage accru et retarder le semis jusqu'à ce que les conditions édaphiques assurent une levée rapide et uniforme. Les traitements de semences contenant du métalaxyl ou du métalaxyl-M peuvent réduire les infections. De plus amples renseignements sur les traitements fongicides figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

PIÉTIN-ÉCHAUDAGE (*Gaeumannomyces graminis*)

Incidence : Le piétin-échaudage est une maladie fongique qui peut infecter le blé, l'orge, le seigle, diverses graminées et, dans une moindre mesure, l'avoine.

Aspect : Le piétin-échaudage se manifeste habituellement au stade de l'épiaison en faisant blanchir prématurément les épis, les tiges et les feuilles des plants gravement atteints (voir photo 16-42). Il ne faut que deux ou trois jours pour que les talles blanchissent. Les plants atteints peuvent être isolés, groupés en plaques circulaires d'un à plusieurs mètres de diamètre ou répartis par petits groupes à la grandeur du champ. Bien des plants semblent moyennement ou gravement rabougris et ont peu de talles. Les épis blanchis (morts) sont normalement stériles et apparaissent habituellement de trois à cinq semaines avant la récolte. Des épis blancs peuvent par ailleurs être attribuables à d'autres facteurs que le piétin-échaudage. Un blanchiment à peine perceptible se manifeste à la suite d'une infection par une maladie des racines, du collet et de la base de la tige. Des moisissures sombres apparaissent généralement sur les épis blancs, particulièrement par temps pluvieux.



Photo 16-42 – Visible à l'épiaison, le piétin-échaudage est une maladie racinaire qui fait blanchir l'épi, la tige et les feuilles

Les racines des plants atteints sont peu nombreuses, noircies et cassantes. La pourriture sombre s'étend souvent au collet et à la base de la tige. L'enlèvement de la gaine foliaire la plus basse révèle sur la tige une couche foncée et luisante de champignons qui se gratte facilement. Les tiges affaiblies penchent ou versent en différentes directions comme dans le cas du piétin-verse. La maladie est souvent limitée aux racines. Aucun signe n'apparaît alors sur le collet, les tiges et les épis. Le champignon responsable du piétin-échaudage dans le blé produit des spores (ascospores) à l'intérieur de minuscules structures noires (périthèces) sur la gaine de la feuille du bas et sur les résidus de chaume à la surface du sol.

Cycle biologique : Les résidus de culture infectés qui restent dans le sol sont la principale source de champignons. Ceux-ci survivent le mieux dans les résidus lorsque la teneur en azote du sol est élevée. Des filaments bruns mycéliens (hyphes) se forment dans les résidus, dans le sol et à la surface des racines, du collet et des tiges. Le champignon se propage d'un plant à l'autre par les « ponts » que forment les racines. Il est souvent possible de voir à la loupe les filaments bruns sur les racines, qui, elles, restent blanchâtres. Les racines noircissent après que le champignon y a pénétré. Une pourriture sèche brunâtre se forme sur le collet et les tiges infectés.

La gravité du piétin-échaudage augmente généralement à mesure que l'alcalinité (pH) s'élève et que la fertilité du sol (surtout les concentrations d'azote et de phosphore) diminue. Les sols humides, surtout au printemps et au début de l'été, sont très propices à cette maladie. Le compactage du sol aggrave le piétin-échaudage, qui est par ailleurs davantage favorisé

par du temps frais (de 12 à 18 °C) que par du temps chaud. La maladie est plus grave lorsque le blé est semé tôt que lorsqu'il est semé à la fin septembre ou en octobre. Dans les monocultures de blé sans rotation, le piétin-échaudage prend de plus en plus d'ampleur les trois à cinq premières années, mais décline par la suite. Cette maladie rend le blé sensible au stress hydrique, surtout en juin et en juillet.

Stratégies de lutte : Il faut surveiller de près la fertilité du sol : les sols neutres, alcalins ou infertiles sont les plus à risque. On ne doit pas épandre de chaux avant le semis. Les sols ayant une carence en potassium et en phosphore nuisent à la croissance des racines, ce qui rend les plants plus vulnérables. L'azote des nitrates augmente la gravité de la maladie. De plus, il convient de maîtriser les graminées, d'éviter les semis précoces, de pratiquer une rotation sur trois ans et d'éviter que le blé ne suive une culture de blé. Des renseignements sur les différents traitements fongicides des semences figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Maladies des feuilles et des tiges

PIÉTIN-VERSE

(*Pseudocercospora herpotrichoides*)

RHIZOCTONE OCELLÉ

(*Rhizoctonia cerealis*)

Incidence : Les champignons responsables de ces maladies peuvent infecter de nombreuses cultures. Les maladies qu'ils causent deviennent problématiques dans les champs ou les régions où les cultures céréalières prédominent et où les conditions de croissance sont fraîches et humides.

Aspect : Le piétin-verse et le rhizoctone ocellé produisent des lésions sur les gaines foliaires inférieures et les tiges de la plupart des céréales (voir photo 16-43). Le blé d'automne est plus sensible que les céréales de printemps. Au printemps, les deux maladies produisent des lésions elliptiques en forme d'œil sur l'entre-nœud inférieur près de la surface du sol. Ces lésions ont une bordure brun foncé et un centre de couleur chamois ou paille.

Il est difficile de distinguer ces deux maladies. Les taches de rhizoctone ocellé sont plus superficielles et leur pourtour est nettement défini, alors que les plants infectés par le piétin-verse ont de la moisissure dans la cavité à la base de la tige. Dans les cas graves, les plants infectés par ces maladies peuvent verser, plier ou casser



Photo 16-43 – Le piétin-verse et le rhizoctone ocellé produisent des lésions elliptiques en forme d'œil sur l'entre-nœud inférieur, près de la surface du sol

à la surface du sol en raison de l'affaiblissement de la tige dans les zones lésées. Ces maladies se manifestent aussi par des baisses de rendement, le blanchiment des épis et la mort des talles.

Cycle biologique : Le champignon du piétin-verse survit dans les résidus de végétaux infectés pendant trois ans ou plus et prolifère dans des conditions fraîches et humides. Le champignon du rhizoctone ocellé survit dans le sol et sur les résidus de culture infectés. Cette maladie frappe plus durement dans les sols légers, secs et acides durant les printemps frais. Le temps sec à l'automne et au printemps favorise le développement du rhizoctone ocellé.

Stratégies de lutte : Il faut éviter de semer des céréales deux années d'affilée; un intervalle d'au moins deux ans est préférable. Les pratiques qui consistent à enfouir le chaume dans le sol réduisent efficacement la gravité du piétin-verse, qui augmente lorsque le chaume reste à la surface. Le rhizoctone ocellé frappe plus durement lorsque les semis sont précoces et profonds. Le traitement des semences aux fongicides peut réduire les pertes. De plus amples renseignements figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

MOISSISSURES NIVÉALES

(*Microdochium nivale* et espèces de *Typhula*)

Incidence : Même si les moisissures nivéales ne se manifestent que sous des conditions environnementales particulières, elles sont présentes la majorité des années à divers degrés. Elles frappent plus durement les années où une couche de neige apparaît tôt à l'automne (mi-novembre) et persiste jusqu'à la fin mars ou jusqu'en avril.

Aspect : Les signes de moisissures nivéales apparaissent peu après la fonte des neiges. Des plants isolés, des groupes de plants ou de grandes zones du champ peuvent être atteints. La maladie se reconnaît d'abord et avant tout aux plants morts qui sont visqueux, bruns et pourris (voir photo 16-44). Le blé semé tôt est habituellement touché étant donné que les plants luxuriants favorisent l'infection et la propagation de la maladie. Les plants qui ne meurent pas (dont le collet est sain) peuvent présenter une ou plusieurs feuilles totalement ou partiellement nécrosées (dont les pointes sont brunes). Les signes les plus prononcés sont dans les zones du champ qui ont reçu une épaisse couche de neige, notamment sur les pourtours du champ, dans les tournières et au bas des collines. Les dommages typiques dans le blé causés par l'hiver et attribuables à d'autres causes se manifestent généralement dans les zones où la neige ne s'est pas accumulée ou qui ont été couvertes de glace. Les signes sont prononcés dans les champs ensemencés avec de la semence non traitée ou de mauvaise qualité. Les printemps chauds et secs freinent la maladie et favorisent la croissance rapide des plants. Les plants lourdement endommagés se remettent souvent de la maladie avec peu ou pas de répercussions sur le rendement.



Photo 16-44 – Apparaissant à la fonte des neiges après de longues périodes d'enneigement, les moisissures nivéales entraînent la mort des plants, qui deviennent visqueux, bruns et pourris

Cycle biologique : Les champignons qui causent les moisissures nivéales tolèrent les basses températures et prolifèrent sous une épaisse couche de neige. Les couches de neige de plus de 30 cm (12 po) isolent le sol et l'empêchent de geler tout en maintenant la température de la surface à 0 °C ou tout juste au-dessus. Ces conditions réduisent considérablement la photosynthèse; le plant de blé en croissance n'a d'autre

choix que d'utiliser ses réserves de glucides et de protéines pour survivre. Le plant subit donc un stress et est plus vulnérable aux maladies, en particulier aux moisissures nivéales.

Stratégies de lutte : Aucun cultivar de blé d'automne n'est résistant, et les cultivars n'ont pas tous la même tolérance. Le traitement des semences est très efficace contre les moisissures nivéales, mais un bon recouvrement est indispensable. Les années où les moisissures nivéales réduisent considérablement la densité de peuplement, il faut réensemencer le champ d'une céréale de printemps ou de soya. La maladie ne touche pas les céréales semées au printemps.

ROUILLE DES FEUILLES (*Puccinia triticina*)

ROUILLE DES TIGES (*Puccinia graminis*)

ROUILLE JAUNE (*Puccinia striiformis*)

Incidence : Divers types de rouille touchent le blé et l'orge. Les trois types que l'on trouve dans le blé sont la rouille des feuilles, la rouille des tiges et la rouille jaune (voir tableau 16-3, *Comparaison des principales rouilles des petites céréales en Ontario*). Des trois, la rouille des feuilles est la plus courante. Elle se manifeste à divers degrés chaque année et menace principalement la production de petites céréales. La rouille des tiges, malgré son recul, peut être gravement problématique lorsque des petites céréales sont cultivées près d'épine-vinette. Par ailleurs, une nouvelle rouille des tiges (Ug99) menaçant la production mondiale de blé est apparue dans d'autres régions du monde. Pour ce qui est de la rouille jaune, son incidence a augmenté dans la province au cours des dernières années, mais elle dépend grandement des conditions environnementales en début de saison. La plupart des années, les pertes de rendement causées par les trois types de rouille sont faibles, car les maladies apparaissent souvent une fois que le blé d'automne est presque parvenu à maturité. Plus l'infection survient tôt, plus elle nuit au rendement.

Aspect : La rouille des feuilles touche le limbe et les gaines foliaires, tandis que la rouille des tiges peut se développer sur les feuilles, les gaines foliaires, les tiges et les épis. La rouille des feuilles se manifeste d'abord par l'apparition de petites taches (pustules) jaune-brun qui renferment des spores orange ou brun orangé (voir photo 16-45). Dans la plupart des cas, l'infection

apparaît sur le dessus des feuilles et des gaines foliaires. Lorsque l'infection est grave, les feuilles deviennent nécrosées, c'est-à-dire qu'elles jaunissent et brunissent. Dans les céréales de printemps, les champs semés tardivement sont plus vulnérables à cette maladie. Quant à eux, les cultivars de blé d'automne qui parviennent à maturité tardivement sont légèrement plus à risque. La rouille des tiges se manifeste d'abord par l'apparition de taches brun rougeâtre sur les deux faces des feuilles, les tiges et les épis (voir photo 16-46). Quand les taches s'étendent, elles éclatent et libèrent des spores dans l'air. La surface des tissus paraît alors déchiquetée.

La rouille jaune (voir photo 16-47) touche habituellement le limbe des feuilles et parfois les épis dans les cas très graves, mais rarement les gaines foliaires ou les tiges. Elle cause l'apparition de petites lésions circulaires jaune-orange, semblables à des cloques, qui fusionnent pour former des rayures.



Photo 16-45 – La rouille des feuilles cause l'apparition, sur le limbe et les gaines foliaires, de petites taches jaune-brun contenant des spores orange ou brun orangé

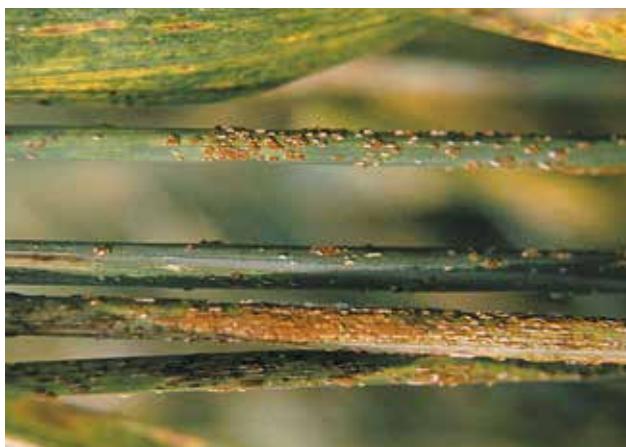


Photo 16-46 – La rouille des tiges peut toucher les gaines foliaires, les tiges et les épis

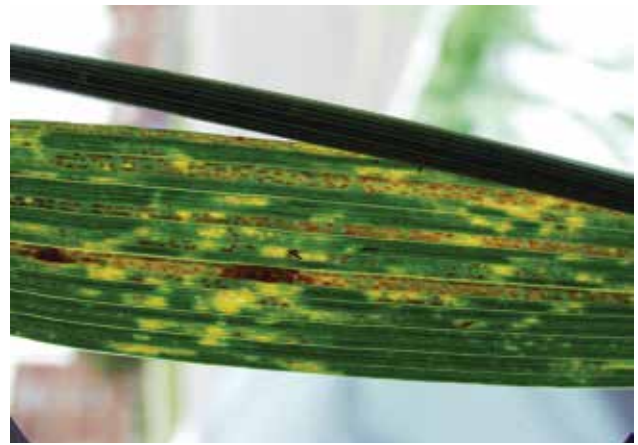


Photo 16-47 – Les lésions jaune-orange causées par la rouille jaune ressemblent à de petites cloques circulaires qui fusionnent pour former des rayures

Cycle biologique : Le champignon responsable de la rouille des tiges a besoin de l'épine-vinette pour compléter son cycle biologique. Le champignon responsable de la rouille des feuilles, par contre, hiverne rarement dans la province; il est porté par les vents orageux en provenance des plants infectés des régions productrices de blé du Sud des États-Unis et du Mexique. La plupart des années, les spores de la rouille des feuilles arrivent tard (après la floraison du blé) et engendrent donc peu de pertes économiques. Ces maladies frappent plus durement lorsque les températures sont chaudes (de 20 à 28 °C le jour et de 16 à 22 °C la nuit) et que la culture est soumise à des rosées fréquentes du stade sortie de la feuille de l'épi à la floraison (stades 37 et de 61 à 71 sur l'échelle de Zadok, respectivement).

Contrairement à la rouille des feuilles et à la rouille des tiges, la rouille jaune n'a pas besoin d'un hôte intermédiaire pour compléter son cycle biologique. En plus du blé, ses hôtes comprennent de nombreuses graminées telles que le seigle, l'orge et diverses graminées vivaces qui lui servent de réservoir. L'agent responsable de la rouille jaune n'hiverne pas en Ontario et, parmi les agents responsables des trois types de rouille, c'est le seul qui préfère les températures fraîches. En effet, la progression de la rouille jaune est favorisée au début du printemps ou durant une longue période de temps frais (de 10 à 15 °C) combinée à des feuilles qui restent mouillées.

Stratégies de lutte : Il faut éliminer l'hôte intermédiaire, l'épine-vinette, pour réduire l'incidence de la rouille des tiges, et utiliser dans la mesure du possible des cultivars résistants. Comme la rouille des feuilles apparaît habituellement en premier sur les

deux feuilles du haut, il importe, durant le dépistage, de surveiller non seulement les signes de la maladie sur la deuxième feuille du haut avant l'épiaison, mais aussi la feuille de l'épi durant l'épiaison. Un traitement fongicide foliaire s'impose lorsque la feuille de l'épi compte de 5 à 10 pustules ou que 1 % de la surface de la feuille de l'épi est touché (de l'épiaison jusqu'à la fin de la floraison) et que du temps humide et pluvieux est annoncé. Le semis précoce de céréales de printemps permet aux plants de parvenir à maturité avant que les niveaux d'inoculum ne soient élevés. Dans l'avoine, la rouille des feuilles (rouille couronnée) est liée à la présence de nerprun commun, hôte intermédiaire de l'agent pathogène; il faut donc enlever ou détruire les nerpruns. Des lignes directrices sur les fongicides figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Tableau 16-3 – Comparaison des principales rouilles des petites céréales en Ontario

Points à considérer	Rouille des feuilles	Rouille jaune	Rouille des tiges
Parties atteintes	Feuilles	Feuilles et épis	Tiges et feuilles
Couleur de la lésion (pustule)	Orange	Jaune	Rouge foncé
Forme de la lésion	Simple	Rayures	Simple
Températures	15 à 27 °C	12 à 21 °C	18 à 30 °C
Incidence en Ontario	Annuelle et variable	Croissante depuis 2 ans	Très faible

JAUNISSE NANISANTE DE L'ORGE

Incidence : On dit de la jaunisse nanisante de l'orge qu'elle est la maladie virale des céréales la plus largement répandue et la plus dévastatrice. Le virus de la jaunisse nanisante de l'orge infecte un grand nombre d'hôtes appartenant à la famille des graminées, dont le blé, l'avoine et l'orge. De ces trois céréales, l'avoine est considérée comme la plus sensible.

Aspect : Les principaux signes sont le rabougrissement du plant accompagné de la coloration jaune, rouge ou violacée de la pointe des feuilles (voir photo 16-48). Ces signes sont souvent attribués à tort à des carences en éléments nutritifs, à des facteurs environnementaux ou à d'autres maladies virales, comme la mosaïque striée du blé et la mosaïque à Polymyxa du blé (voir tableau 16-4, *Comparaison des virus s'attaquant aux céréales*). Comme il est très difficile d'identifier les agents pathogènes viraux, il faut s'en remettre à des

analyses sérologiques précises. L'idéal est de transmettre des échantillons à un laboratoire de diagnostic offrant de telles analyses.



Photo 16-48 – Transmis par les pucerons, le virus de la jaunisse nanisante de l'orge se manifeste par le rabougrissement des plants accompagné d'une coloration jaune, rouge ou violacée de la pointe des feuilles

Cycle biologique : Le virus de la jaunisse nanisante de l'orge est transmis uniquement par les pucerons. Plusieurs espèces de pucerons ont été identifiées comme vecteurs de cette maladie, notamment le puceron vert des graminées, le puceron du maïs, le puceron des céréales et le puceron du merisier à grappes. Ce sont des vecteurs parfaits pour le virus de la jaunisse nanisante de l'orge puisqu'ils entrent en contact avec la sève des végétaux, dont ils se nourrissent directement, privant ainsi les plants des éléments nutritifs dont ils ont besoin pour croître. La maladie se manifeste généralement après le départ des pucerons en nuisant à la croissance des racines, en réduisant le tallage, en retardant la maturité et en causant des signes semblables à ceux d'une carence en éléments nutritifs. Les plants infectés sont habituellement regroupés par plaques de 1 à 2 m (3 à 7 pi) de diamètre, mais peuvent aussi être distribués uniformément à la grandeur du champ si la population de pucerons y est uniformément répartie. Les pertes de rendement sont très étroitement liées au stade de la culture où se produit l'infection. En général, les pertes sont plus importantes lorsque l'infection touche les plantules à l'automne (plus de 30 %) plutôt qu'au printemps.

Stratégies de lutte : Il existe peu de méthodes de lutte. Dans les céréales d'automne, la meilleure stratégie consiste à éviter de semer tôt. En effet, le semis précoce laisse plus de temps aux pucerons pour infecter les plants à l'automne. Les dates de semis optimales ou recommandées pour le blé d'automne (voir la section *Dates de semis* du chapitre 4, *Céréales*)

tiennent compte du virus de la jaunisse nanisante de l'orge et de la mouche de Hesse, et visent l'obtention de plants vigoureux très résistants à l'hiver. Le semis précoce durant un automne doux ou tardif permet aux pucerons de survivre plus longtemps qu'à l'habitude; il est donc uniquement avantageux dans les céréales de printemps. Les pulvérisations de produits chimiques visant à enrayer les vecteurs que sont les pucerons ne sont ni pratiques, ni économiques, car le dépistage des pucerons est très difficile. Quand les populations de pucerons deviennent visibles, l'infection a fort probablement déjà eu lieu. Les pulvérisations préventives ne sont pas non plus rentables étant donné que la maladie est difficile à prévoir.

MOSAÏQUE À POLYMYXA DU BLÉ

MOSAÏQUE STRIÉE DU BLÉ (*Polymyxa graminis*)

Incidence : Il est facile de confondre le virus de la mosaïque à *Polymyxa* du blé et le virus de la mosaïque striée du blé étant donné qu'ils se manifestent par les mêmes signes, ont le même cycle biologique et se répartissent de la même façon dans le champ. Il arrive par ailleurs que les deux virus soient présents dans le même champ.

Aspect : Les signes foliaires typiques de la mosaïque à *Polymyxa* du blé sont une mosaïque de taches vertes sur fond jaune, et ceux de la mosaïque striée du blé, des stries jaunes ou vert pâle parallèles aux nervures des feuilles. Les stries sont souvent fuselées, ce qui donne aux lésions l'aspect de filosités. Le virus de la mosaïque striée du blé peut aussi causer le rabougrissement des plants et nuire au tallage.

Cycle biologique : Il n'est pas rare que de nombreux plants soient infectés par les deux virus, étant donné que ceux-ci ont le même vecteur, un champignon terricole appelé *Polymyxa graminis*. Ce champignon produit des zoospores (spores mobiles dans l'eau) qui envahissent les poils absorbants et les cellules épidermiques des jeunes plants lorsque le sol est

fortement chargé d'humidité ou dans les zones basses et détrempées du champ. Ce sont ces zoospores qui transmettent le virus aux plants. Le champignon peut demeurer dans le sol pendant au moins huit ans. L'important n'est pas d'identifier lequel des deux virus est présent, mais bien de déterminer que les signes ne sont pas attribuables à d'autres causes (champignons, bactéries, etc.). Sont à risque les champs qui ont servi à plusieurs reprises à la culture de blé d'automne au cours des huit à dix dernières années. Les pertes de rendement varient de moins de 5 % à 40 %, mais sont généralement faibles. Les signes apparaissent habituellement tôt au printemps, lorsque la croissance reprend. La température optimale pour leur apparition va de 5 à 15 °C.

Stratégies de lutte : Comme le champignon qui est le vecteur des deux virus peut survivre de nombreuses années dans le sol, la rotation des cultures ne permet pas toujours de combattre la maladie. L'inoculum du virus de la mosaïque striée du blé semble moins important dans les champs qui ont reçu au fil des ans d'abondants épandages de fumier de volaille et de bétail.

OÏDIUM (BLANC) (*Blumeria graminis*)

Incidence : L'oïdium est une maladie courante des végétaux qui peut causer des dommages dans les champs de blé et d'orge. Les cultivars de blé n'ont pas tous la même vulnérabilité à cette maladie. La maladie prive les plants d'éléments nutritifs et réduit la capacité photosynthétisante des feuilles. Les infections qui atteignent la feuille de l'épi et la deuxième feuille sont plus graves. La santé des deux feuilles du haut détermine le calibre, le poids spécifique et le rendement du grain. Difficiles à prévoir, les pertes de rendement sont généralement minimales lorsque l'infection survient tôt, à moins que le temps ne reste frais et humide. Elles peuvent représenter de 2 à 30 % du rendement total, mais il est très rare en Ontario qu'elles dépassent les 10 ou 15 %.

Tableau 16-4 – Comparaison des virus s'attaquant aux céréales

Virus	Vecteurs	Principaux signes	Autres hôtes
Virus de la jaunisse nanisante de l'orge	Pucerons	Chlorose générale, coloration rouge ou violacée, rabougrissement	Orge, avoine, maïs, sorgho, millet, graminées
Virus de la mosaïque à <i>Polymyxa</i> du blé	Champignon terricole (<i>Polymyxa graminis</i>)	Mosaïque vert-jaune, rabougrissement, formation de rosettes	Seigle, orge, graminées, sorgho
Virus de la mosaïque striée du blé	Champignon terricole (<i>Polymyxa graminis</i>)	Mosaïque jaune-vert, stries, filosité	Seigle, orge

Aspect : Le signe caractéristique de l'oïdium est la moisissure duveteuse blanche ou grise qui se forme souvent d'abord sur les feuilles du bas (voir photo 16-49). Dans des conditions favorables, l'infection peut progresser rapidement vers le haut sur les feuilles, les gaines foliaires, les tiges et les épis. Les feuilles se couvrent alors de stries jaunes allongées ou de zones qui peuvent brunir et mourir prématurément. Les plants gravement atteints peuvent verser ou présenter un mauvais remplissage des grains. Les zones gris pâle de la moisissure, plus vieilles, ont souvent de petites taches noires. La moisissure est surtout visible au petit matin, lorsque les plants sont encore mouillés. Comme l'infection est superficielle, on peut facilement enlever la moisissure en grattant la surface des zones atteintes.



Photo 16-49 – L'oïdium provoque la formation de moisissure duveteuse blanche ou grise sur les feuilles du bas avant de gagner le haut du plant

Cycle biologique : Le champignon survit dans les résidus de culture, comme la paille ou le chaume, les plantules de blé d'automne, les céréales spontanées et le blé. Surtout disséminées par le vent, les spores libérées ont besoin d'un taux d'humidité relative frôlant les 100 % et de températures entre 15 et 21 °C. Les conditions météorologiques qui assèchent le champ, par exemple les jours chauds, secs et ensoleillés, ralentissent la progression de la maladie, qui s'arrête dès que les températures atteignent plus de 25 °C. Un peuplement dense et une culture vigoureuse peuvent nuire à l'assèchement des feuilles et créer des conditions propices à l'oïdium. L'oïdium progresse rapidement dans les champs ayant reçu de fortes doses d'azote, élément qui favorise le tallage, ce qui donne des peuplements denses et augmente la vulnérabilité de la culture. Il importe de faire le dépistage de l'oïdium dans les champs qui ont reçu plus de 78 kg/ha (70 lb/ac) d'azote.

Stratégies de lutte : Dans la plupart des cas, l'oïdium a peu de répercussions sur le seigle ou l'avoine, qui y sont très résistants. Dans les zones susceptibles d'être

fortement infectées par cette maladie, il convient d'utiliser des cultivars de blé d'automne résistants (tolérants). L'enlèvement des résidus de culture par le travail du sol conjugué à la pratique d'une rotation des cultures qui délaisse le blé ou les autres céréales sensibles pendant au moins deux ans peut réduire l'incidence de la maladie. L'application de fongicides foliaires est nécessaire lorsque l'infection risque d'entraîner des pertes de rendement. Le seuil établi pour l'application de fongicides diffère selon l'âge de la culture. La maîtrise de l'oïdium en début de saison est justifiée si l'infection atteint de 5 à 10 % de la surface des feuilles du bas. Ce traitement peut réduire l'ampleur de la maladie par la suite. Plus tard dans la saison, l'infection de la feuille de l'épi (1 % de la surface) et de la deuxième feuille (de 3 à 5 % de la surface) exige une intervention immédiate, surtout si l'on annonce une longue période de pluie ou de temps humide. Des renseignements sur les produits fongicides figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Maladies de l'épi et du grain

TACHES SEPTORIENNES (*Septoria tritici*)

TACHE DES GLUMES (*Stagonospora nodorum*)

Incidence : Les taches septoriennes et la tache des glumes sont deux maladies causées par des espèces différentes de champignons du même genre (*Septoria*). Les deux maladies ont des répercussions économiques. Elles frappent la plupart des petites céréales et bien des graminées, mais le blé est le seul hôte important parmi les cultures commerciales.

Aspect : La maladie des taches septoriennes s'attaque uniquement aux feuilles, tandis que la tache des glumes s'attaque à la fois aux feuilles et aux glumes. La maladie se manifeste d'abord par de petites taches vert pâle ou jaunes entre les nervures des feuilles du bas (voir photo 16-50); ces taches s'allongent ensuite pour créer des lésions brun rougeâtre de forme irrégulière. À l'intérieur de ces lésions, on peut facilement observer à la loupe des pycnides (organes de fructification du champignon) brun foncé ou noirs.

Apparaissant après l'épiaison, la tache des glumes est favorisée par le temps chaud et humide. De petites taches ovales, irrégulières, allant du gris au brun,

apparaissent sur les feuilles, et des zones brun violacé se forment sur les glumes (voir photo 16-51). Les zones atteintes présentent également de petites pycnides noires. La présence de pycnides est un signe important qui permet de distinguer les taches septoriennes et la tache des glumes d'autres maladies foliaires.

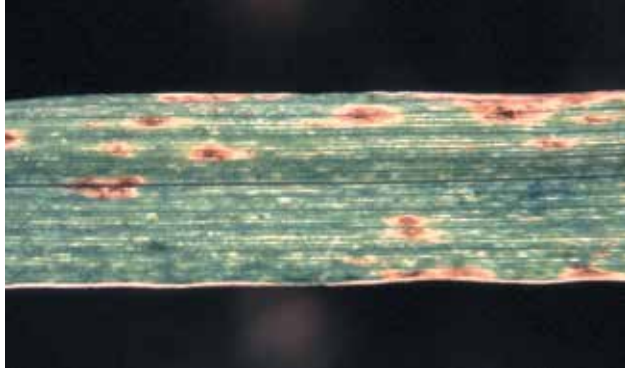


Photo 16-50 – Les taches septoriennes se manifestent par de petites taches vert pâle ou jaunes qui s'allongent pour former des lésions brun rougeâtre



Photo 16-51 – La tache des glumes se manifeste par l'apparition de petites taches ovales grises ou brunes sur les feuilles et de zones brun violacé sur les glumes

Cycle biologique : Les champignons du genre *Septoria* survivent dans les semences, la paille, le chaume ou le blé spontané. Ils sont favorisés par les conditions pluvieuses ou humides et les températures modérées; avec l'oïdium, les maladies foliaires qu'ils causent sont donc souvent les premières à se manifester au printemps. Même si les grandes chaleurs limitent la progression des deux champignons, *Stagonospora* est légèrement plus tolérant à la chaleur que *Septoria*. De longues périodes de pluie en mai et au début de juin augmentent l'incidence des maladies. À la phase

foliaire, les deux maladies progressent normalement de bas en haut. En revanche, à la phase où la tache des glumes se manifeste sur les glumes, la maladie ne progresse pas à la verticale dans le feuillage, mais se propage rapidement dans le champ, n'infectant que les épis.

Stratégies de lutte : La rotation avec des cultures autres que des céréales, l'enfouissement des résidus de céréales et l'enlèvement du blé spontané réduisent la survie de ces champignons. Malheureusement, la plupart des années, il y a suffisamment de spores pour déclencher la maladie dans des conditions environnementales favorables. Il importe d'avoir un programme de fertilisation équilibré puisque les fortes doses d'engrais et le semis précoce peuvent donner un feuillage dense avant l'hiver, ce qui expose davantage les plants à ces maladies. Le blé d'automne peut contracter la maladie des taches septoriennes sous la couche de neige. Il faut utiliser des semences de bonne qualité traitées avec un fongicide afin de prévenir les infections transmises par les semences. À l'heure actuelle, les cultivars ont une tolérance limitée. Les fongicides foliaires combattent efficacement les taches septoriennes et la tache des glumes. Les seuils d'intervention varient selon le stade de croissance du blé. Une application est justifiée s'il y a une ou deux lésions (couvrant 1 % de la surface de la feuille) sur la première feuille sous la feuille de l'épi jusqu'au moment du gonflement, ou s'il y a une ou deux lésions (couvrant 1 % de la surface de la feuille) sur la feuille de l'épi au moment de l'épiaison (floraison). Des renseignements sur les fongicides figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

TACHES BRONZÉES (*Pyrenophora tritici-repentis*)

Incidence : La méthode de travail réduit du sol a augmenté l'incidence des taches bronzées dans la province, mais les pertes économiques entraînées par la maladie sont négligeables. Cependant, comme la maladie est souvent confondue avec les taches septoriennes, les erreurs de diagnostic peuvent entraîner des applications inutiles de fongicides foliaires. L'orge et l'avoine sont beaucoup plus tolérantes aux taches bronzées que le blé.

Aspect : La maladie se manifeste d'abord sur les feuilles du bas sous forme de petites mouchetures chamois-brun qui grossissent pour former des taches chamois ovales ou circulaires de 5 à 15 mm (0,2 à 0,6 po) entourant un petit point central brun foncé. Un halo

jaune vif entoure les lésions. Les lésions sont faciles à voir lorsque la feuille est à contre-jour.

Cycle biologique : Le champignon survit sur les résidus de blé. La progression de la maladie est favorisée par de longues périodes de temps frais, couvert et humide au début de la saison de croissance. Les spores sont disséminées par le vent.

Stratégies de lutte : La plupart des cultivars de blé sont sensibles aux taches bronzées. Il faut donc inclure dans la rotation des cultures qui ne servent pas d'hôtes à ce pathogène, notamment d'autres céréales, du maïs, du soya et de la luzerne. Des renseignements sur les différents traitements fongicides figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

CHARBON NU (*Ustilago tritici*)

Incidence : Par le passé, le charbon nu comptait parmi les maladies du blé et de l'orge les plus dévastatrices en Ontario. Le traitement des semences aux fongicides permet aujourd'hui de maîtriser très efficacement cette maladie. Par ailleurs, l'emploi de semences de blé infectées et non traitées peut entraîner des pertes de rendement de 10 à 30 %.

Aspect : Les grains sont remplacés par des masses de spores sèches et noires, visibles peu après l'épiaison (voir photo 16-52). Avec le temps, il ne reste plus que des épis nus. Les plants infectés paraissent normaux jusqu'à l'épiaison.



Photo 16-52 – Le charbon nu provoque le remplacement des grains par des masses de spores sèches et noires, visibles peu après l'épiaison

Cycle biologique : Le champignon qui cause la maladie survit dans les grains de blé infectés et infecte par la suite les plants en croissance. Le champignon gagne tout le plant et finit par infecter l'épi et remplacer les grains. Les spores, disséminées par le vent, infectent les plants adjacents. Les semences infectées paraissent normales et ne peuvent donc être distinguées de celles qui sont saines. Le blé et l'orge sont les hôtes principaux, alors que l'avoine et le seigle sont assez tolérants.

Stratégies de lutte : Il convient de semer des semences sélectionnées préalablement traitées avec un fongicide systémique. De plus amples renseignements figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

FUSARIOSE DE L'ÉPI (*Fusarium graminearum*)

Incidence : La fusariose de l'épi est l'une des maladies des petites céréales les plus répandues en Ontario. Ces dernières années, d'importants foyers d'infection se sont déclarés lorsque le temps a été chaud et pluvieux entre le stade de la floraison et le stade pâteux mou. La fusariose peut non seulement entraîner des pertes de rendement considérables, mais également produire des mycotoxines dangereuses pour le bétail.

Aspect : Les signes de la fusariose de l'épi apparaissent peu après la floraison. Les épillets atteints (glumes et fleurons) semblent avoir mûri (blanchi) prématurément par comparaison aux épis sains, qui sont verts. Le champignon peut s'attaquer à la totalité ou à une partie de l'épi. Le blanchiment des épis apparaît de trois à cinq jours après l'infection. L'épi au complet peut être détruit lorsque le col (dernier entre-nœud de la tige sous l'épi) est infecté (voir photo 16-53). Par temps chaud et humide, le champignon produit un anneau de spores allant du saumon au rose à la base de l'épillet ou dans le sillon du grain. Si les conditions se maintiennent, l'infection peut se propager aux grains adjacents. Les grains infectés sont habituellement ratatinés, plissés et légers. Ils ont un aspect rugueux et galeux et peuvent être brun clair, rose ou blanc grisâtre. Le nombre de grains atteints dépend du moment de l'infection et des conditions météorologiques lors de l'infection.

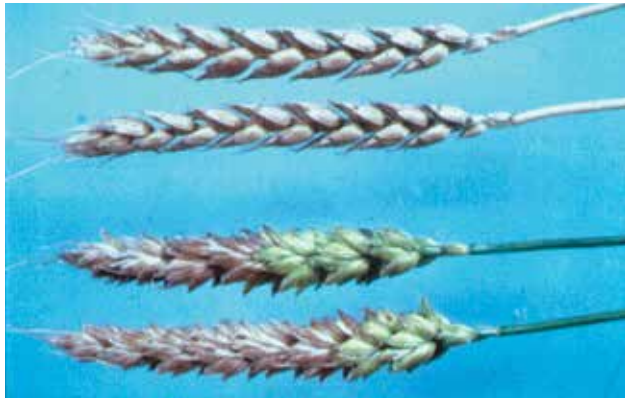


Photo 16-53 – La fusariose de l'épi fait blanchir l'épi en totalité ou en partie, alors que la tige reste habituellement verte

Le semis de semences infectées peut exposer la culture à la phase de brûlure des plantules de la maladie, distincte de la fusariose de l'épi. Les grains infectés risquent de ne pas germer et peuvent donner des peuplements clairsemés. Les plants infectés qui lèvent manquent parfois de vigueur et finissent souvent par mourir avant de s'être établis. Les plantules infectées peuvent être brun clair ou brun rougeâtre et être couvertes de moisissure blanche ou rose. Les plants en croissance sont habituellement de plus petite taille et ont moins de talles et de plus petits épis. Si l'on coupe la racine ou le collet, on peut apercevoir une pourriture brun clair ou brun rougeâtre.

Cycle biologique : Même si plusieurs espèces de *Fusarium* peuvent provoquer la fusariose de l'épi, le principal agent pathogène est *Fusarium graminearum*, qui peut par ailleurs infecter le maïs, le blé, l'orge, l'avoine et le seigle. Toutes les espèces hivernent dans des grains, des paillettes, du chaume ou des résidus de paille ou de tiges infectés qui ont été laissés à la surface du sol. Les champignons survivent entre les cultures sous forme de spores asexuées (conidies), de filaments mycéliens (mycélium) et d'organes de fructification noir violacé (périthèces), qui produisent les spores sexuées (ascospores). Les champignons prolifèrent et produisent des spores depuis le moment de la récolte jusqu'à ce que les résidus de culture se soient décomposés dans le sol.

Le vent et les éclaboussures d'eau propagent les deux types de spores depuis les résidus infectés de la culture précédente jusqu'aux épis de blé. Les conidies sont produites sur les résidus de maïs et de petites céréales durant les épisodes de temps chaud et humide, tandis que les ascospores sont libérées par temps pluvieux et sec. Le champignon peut ainsi disséminer des spores

dans l'air pendant une longue période. Les spores qui atterrissent sur les épis ont besoin de pluie ou d'une forte rosée pour germer et envahir les parties florales (anthères, glumes et autres parties de l'épi). Le risque d'infection augmente considérablement lorsque ces spores retombent durant de longues périodes de temps chaud, pluvieux et humide où la température se maintient entre 22 et 27 °C. Plus la période de temps pluvieux se prolonge pendant la floraison, plus le risque d'infection est grand et plus la maladie risque d'être grave. Si le temps chaud et humide persiste, les masses de spores rose saumon produites sur les épillets sont disséminées par l'air et peuvent constituer une autre source d'infection.

Stratégies de lutte : Le semis de blé après des cultures de blé ou de maïs est à éviter. La présence de résidus de l'une ou l'autre de ces cultures à la surface du sol dans les champs de blé augmente considérablement le risque d'infection par la fusariose de l'épi. Le labour propre des résidus infectés réduit les risques d'infection par les spores provenant du champ. Toutefois, la fusariose de l'épi peut quand même être propagée par les spores poussées par le vent depuis les champs avoisinants dans des conditions météorologiques favorables. Comme bon nombre de grains infectés sont petits, ratatinés et plus légers que les grains sains, il est possible que le fonctionnement du ventilateur à une vitesse supérieure à la normale fasse en sorte qu'une grande partie de ces grains soient rejetés à l'arrière de la moissonneuse-batteuse, mais il se peut que l'on perde ainsi d'autres bons grains (jusqu'à 0,13 t/ha ou 3 bo/ac). De bonnes pratiques d'entreposage et de séchage limitent la propagation de la fusariose de l'épi après la récolte. L'utilisation de cultivars tolérants réduit le risque d'infection.

Une étude sur la lutte contre la fusariose de l'épi, menée au campus de Ridgetown de l'Université de Guelph, a débouché sur l'élaboration d'un modèle de prévision de vomitoxine, une mycotoxine, à partir de données recueillies sur de nombreuses années. Ce modèle, appelé DONcast, est assez novateur puisqu'il met en relation l'accumulation de vomitoxine dans le grain de blé et les conditions environnementales durant l'épiaison et indique leur incidence sur la production d'inoculum, l'infection des épis de blé et la prolifération fongique qui suit dans l'épi. De plus amples renseignements sont accessibles sur le site Web de Weather INnovations Consulting LP, au www.weatherinnovations.com. De l'information sur les différents produits fongicides figure dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

CARIE NAINE (*Tilletia controversa*)

CARIE DU BLÉ (*Tilletia tritici*)

Incidence : La carie du blé survient dans les cultures de blé de printemps ou de blé d'automne de toutes les régions de l'Ontario, alors que la carie naine touche surtout les comtés bordant la baie Georgienne et le lac Huron, où la couverture de neige est épaisse et reste jusqu'au début du printemps. Les années où la maladie frappe durement, certains champs comportent plus de 50 % de plants infectés.

Aspect : En Ontario, trois espèces de champignons peuvent causer la carie dans le blé d'automne. Les deux premiers, *Tilletia tritici* et *Tilletia laevis*, causent la carie du blé. Le troisième, *Tilletia controversa*, cause la carie naine. Ces trois champignons pathogènes se manifestent principalement par la production de balles sporifères, qui remplacent les grains sains. Ces balles renferment des masses de spores poudreuses noires, appelées téliospores. Lorsque le grain infecté est récolté ou broyé, ces balles se brisent facilement et libèrent les spores qu'elles contenaient, ce qui provoque la contamination des grains. Outre la présence des balles sporifères, l'un des signes les plus évidents de ces maladies est l'odeur âcre de poisson que les spores dégagent. Cette odeur est importante, puisque la maladie peut entraîner une mise en quarantaine. En effet, bon nombre de pays importateurs ne tolèrent aucunement les chargements de blé contaminé. Souvent, le nuage de spores et l'odeur caractéristique sont les premiers signes d'infection à apparaître dans la culture.

La carie du blé et la carie naine sont difficiles à différencier, de sorte que le diagnostic doit souvent être confirmé par un examen microscopique. Elles se distinguent cependant par le fait que les balles sporifères de la carie du blé sont de taille et de forme semblables à celles des grains qu'elles remplacent, tandis que dans le cas de la carie naine, les balles sporifères sont plus petites et sont généralement plus arrondies. De plus, les plants infectés par la carie naine sont considérablement plus courts (la moitié de la taille des plants sains), tandis que ceux infectés par la carie du blé ne sont que légèrement plus petits que les plants sains. Un quatrième champignon cause la carie indienne ou carie de karnal, mais il n'y a heureusement pas d'incidence de cette maladie en Ontario.

Cycle biologique : La carie naine et la carie du blé peuvent être transmises aux plants de blé d'automne soit par le sol, soit par les semences. Même si la carie

du blé peut être transmise par le sol, le champignon semble être surtout transmis par les semences et se maîtrise facilement au moyen de l'un des traitements des semences actuellement homologués. La carie naine est plus difficile à combattre, puisque les spores peuvent survivre pendant 10 ans ou plus dans le sol.

Stratégies de lutte : Il convient d'utiliser des semences exemptes de spores et de jeter les semences qui proviennent de champs infectés. Certains traitements de semences homologués sont plus efficaces que d'autres. De plus amples renseignements figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Autres conseils :

- **Régler l'organe de coupe de la moissonneuse-batteuse à la bonne hauteur.**
Les plants de blé infectés par la carie naine sont beaucoup plus courts que les plants sains. Le fait de relever l'organe de coupe réduit la quantité de balles sporifères récoltées.
- **Procéder à la récolte lorsque la teneur en eau est inférieure à 15 %.**
Les balles sporifères et les spores sèches ont tendance à être rejetées plus facilement par la moissonneuse-batteuse. Plus les grains sont mouillés, plus il est probable que les spores y adhèrent. Il est très difficile de retirer les balles humides de la moissonneuse-batteuse étant donné qu'elles sont très lourdes.
- **Régler le ventilateur de la moissonneuse-batteuse à sa vitesse maximale.**
Le réglage du ventilateur à sa vitesse maximale permet de rejeter une bonne partie des balles sporifères. La perte de grains sains sera minimale.
- **Récolter séparément les zones adjacentes aux bordures de champ et aux boisés.**
L'incidence de la maladie est plus grande là où les accumulations de neige sont plus grandes et plus prolongées. En récoltant le reste du champ séparément, on réduit au minimum le nombre de balles sporifères dans les grains.
- **Nettoyer les grains avant de les entreposer.**
Il importe de retirer le plus possible de balles sporifères des grains avant de les entreposer puisque celles-ci se brisent lorsque l'on manipule les grains ou qu'on les sort des cellules de stockage. Comme les balles sporifères ont à peu près la même taille que les graines de renouée liseron, les cribles qui enlèvent les graines de renouée liseron devraient en retirer un bon nombre des grains.
- **Assurer la bonne aération des grains entreposés.**
Il faudra beaucoup de temps pour que les grains soient débarrassés de l'odeur de poisson.

ERGOT**(Claviceps purpurea)**

Incidence : L'ergot infecte à l'occasion l'orge, le blé et le triticale. Même si les pertes de rendement sont dans la plupart des cas négligeables, les répercussions de cette maladie sur la qualité du grain et sa facilité d'écoulement peuvent être graves étant donné que les grains ergotés sont toxiques pour les animaux d'élevage et les humains. Il faut donc faire preuve de prudence au moment de servir aux animaux, surtout aux porcs, des grains contenant des corps noirs. L'ergot survient rarement et sporadiquement en Ontario, mais dans certains champs qui ont été endommagés entre autres par le gel ou des herbicides, elle peut être grave au point de rendre les épis stériles. Les fleurons stériles ont tendance à rester ouverts, ce qui les rend plus vulnérables aux infections.

Aspect : Le premier signe de cette maladie fongique est généralement l'apparition de sclérotés bruns à violet foncé qui sortent des épillets. Ces sclérotés remplacent les grains et peuvent atteindre 1 cm (0,4 po) de long.

Cycle biologique : Le champignon hiverne sous forme de sclérotés dans le sol et sur les semences. Les sclérotés produisent des spores qui infectent les fleurons. Les insectes contribuent ensuite à infecter d'autres épis. Le temps pluvieux, humide et frais prolonge la floraison et augmente de ce fait le risque d'infection. Les sclérotés de l'ergot sont bien adaptés et peuvent survivre de nombreuses années dans le sol.

Stratégies de lutte : Il importe d'utiliser des semences propres et exemptes de sclérotés et de laisser un intervalle d'au moins un an entre les cultures sensibles (p. ex seigle, blé, orge, triticale).

Maladies de l'orge**FONTE DES SEMIS, PIÉTIN COMMUN ET TACHES HELMINTHOSPORIENNES****(Cochliobolus sativus)**

Incidence : Les taches helminthosporiennes (voir photo 16-54), la fonte des semis et le piétin commun, souvent graves et répandus, sont tous causés par le même champignon, qui hiverne dans le sol, les semences et les résidus d'orge. Toutes les semences d'orge devraient donc être traitées avec un fongicide (voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*). Pour réduire la gravité des taches helminthosporiennes, il faut

éviter de cultiver de l'orge après de l'orge, du blé ou des graminées. Le semis précoce aide à prévenir les maladies graves en juillet. L'orge est moins lourdement frappée si elle est cultivée avec de l'avoine.



Photo 16-54 – Les taches helminthosporiennes provoquent l'apparition de taches brunes sur les feuilles et peuvent causer la fonte des semis et la pourriture de la base de la tige

RAYURES RÉTICULÉES**(Pyrenophora teres)****RHYNCHOSPORIOSE****(Rhynchosporium secalis)**

Les rayures réticulées (voir photo 16-55) et la rhynchosporiose surviennent surtout par temps frais et humide. Les cultivars à deux rangs sont en général plus sensibles à ces maladies que ceux à six rangs. Pour empêcher la prolifération des agents pathogènes, il faut éviter les cultures successives d'orge, enterrer le plus possible le chaume et la paille, et traiter les semences avec un fongicide (voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*).

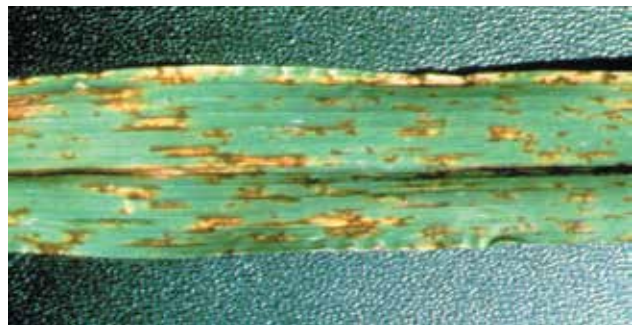


Photo 16-55 – Les rayures réticulées se manifestent d'abord par des taches vert pâle ou brunes qui s'étendent et par des lignes qui donnent à la feuille un aspect réticulé

FUSARIOSE DE L'ÉPI

Voir la section *Fusariose de l'épi* des maladies des céréales.

Maladies de l'avoine

TACHES SEPTORIENNES

NÉCROSE DES TIGES

(*Phaeosphaeria avenaria*)

La maladie des taches septoriennes peut causer de graves dommages à tous les cultivars d'avoine recommandés. Elle se reconnaît aux taches allongées, marbrées et brun clair et brun foncé qui apparaissent sur le limbe des feuilles et se propagent le long des gaines et des tiges. À un stade avancé, ces dernières deviennent noires et se cassent facilement, entraînant la verse des plants. Il convient d'éviter de cultiver de l'avoine après de l'avoine ou des céréales mélangées. Des renseignements sur les différents traitements fongicides figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

ROUILLE COURONNÉE

(*Puccinia coronata* de la variété *avenae*)

La rouille couronnée est une maladie de l'avoine et de certaines graminées sauvages comme la fétuque et le ray-grass. La rouille couronnée est généralement grave et peut causer de lourdes pertes, surtout dans le centre et l'Est de l'Ontario.

Aspect : Le signe le plus caractéristique de la maladie est la production de pustules orange sur les feuilles et les gaines. Ces pustules peuvent produire des milliers de spores jaune-orange qui peuvent se disséminer dans d'autres champs ou infecter les plants adjacents. La maladie peut progresser rapidement dans des conditions propices, et de nouvelles pustules peuvent se former tous les sept à dix jours.

Cycle biologique : L'agent pathogène n'est transmis ni par les semences, ni par le sol. La principale source locale de spores est le nerprun cathartique, mais des spores sont également portées par le vent depuis le Sud des États-Unis. Il existe différentes races de champignons qui peuvent se modifier et nuire au rendement d'un cultivar donné au fil du temps. La maladie est surtout problématique lorsqu'elle frappe tôt dans la saison, que le temps est doux ou chaud (de 20 à 25 °C) de jour et frais (de 15 à 20 °C) de nuit et qu'il y a suffisamment d'humidité (pluie, rosées fréquentes).

Stratégies de lutte :

1. Il importe d'utiliser un cultivar tolérant. Les cultivars ne sont pas tous aussi sensibles à la maladie. Comme de nouvelles races de rouille apparaissent, la tolérance d'un cultivar peut être réduite. Les résultats des essais de rendement des cultivars de céréales de printemps réalisés en Ontario, accessibles au www.gocereals.ca, donnent des renseignements détaillés à ce sujet.
2. Le semis doit se faire aussitôt que possible au printemps pour éviter l'infection plus tard dans la saison.
3. Les fongicides foliaires sont efficaces s'ils sont appliqués au bon moment, près de la sortie de la feuille paniculaire de manière à protéger celle-ci. Des lignes directrices sur les fongicides figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

NÉMATODE À KYSTE DE L'AVOINE

(*Heterodera avenae*)

Les dégâts causés par ce nématode se manifestent dans les deux ou trois semaines qui suivent la levée de l'avoine. Les plants très infectés semblent alors arrêter subitement leur croissance, et leurs feuilles pâlisent et commencent à mourir depuis la pointe. Comme il n'y a pas de tallage, le peuplement est clairsemé et présente des plants rabougris produisant peu de grains. Dans la terre, les racines présentent un retard de croissance considérable et ont généralement une couleur altérée : elles sont jaune pâle sur les jeunes plants et brun jaunâtre sur les plants matures, alors que celles des plants sains sont d'un blanc franc.

Pour confirmer que les dégâts sont causés par ce nématode, il est possible d'envoyer un échantillon de plants atteints avec la terre qui entoure leurs racines à la Clinique de diagnostic phytosanitaire des Services de laboratoire de l'Université de Guelph, située au 95 Stone Road West, Guelph (Ontario) N1H 8J7. Des frais sont exigés pour ce service.

Il ne faut pas semer de céréales de printemps dans les champs où le nématode à kyste de l'avoine a causé des dégâts l'année précédente, mais plutôt une légumineuse ou une plante sarclée. On peut semer du maïs si la population de nématodes est faible; sinon, il en souffrira. Cependant, puisque les nématodes s'attaquent aux racines du maïs sans s'y reproduire, leur population sera décimée par la culture répétée du maïs.

Maladies des haricots secs comestibles

MESURES PRÉVENTIVES GÉNÉRALES

1. Laver à fond, au détergent, tout le matériel servant au nettoyage, au transport et à la mise en terre des semences pour enlever toute terre qui pourrait y adhérer. Désinfecter le matériel avec un composé d'ammonium quaternaire ou de l'hypochlorite de sodium (p. ex. agent de blanchiment 10 %). Rincer les surfaces traitées avec de l'eau propre pour les empêcher de rouiller.
2. Pratiquer une rotation sur trois ou quatre ans incluant des cultures appartenant à des familles différentes.
3. Ne pas épandre de fumier contenant des résidus de haricots sur les champs destinés à cette culture.
4. Ne pas entrer dans le champ de haricots si le feuillage est mouillé pour éviter la propagation des maladies.

COMPLEXE DE LA POURRITURE DES RACINES (*Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, espèces de *Pythium* et *Chalara basicola*)

Incidence : Nombre d'organismes causent la pourriture des racines de haricots secs comestibles. En Ontario, les principaux champignons pathogènes responsables sont *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* et *Chalara* (anciennement appelé « *Thielaviopsis* »). Ils peuvent se présenter seuls ou en combinaison, ce qui est souvent le cas. On parle alors de « complexe de la pourriture des racines ». La gravité des dégâts varie selon l'état de santé général et les antécédents de la culture, la sensibilité du cultivar et les conditions environnementales.

Aspect : Les signes peuvent apparaître sur les plants à tout stade de croissance. Les infections de début de saison se manifestent normalement par la pourriture des semences et la fonte des semis, réduisant ainsi la densité de peuplement (problèmes de levée). Les plants qui survivent à une infection en début de saison (fonte des semis) ou qui deviennent infectés plus tard affichent des signes caractéristiques de pourriture des racines, notamment l'altération de la couleur des racines et le rabougrissement et le flétrissement du plant (voir photo 16-56).



Photo 16-56 – Causé par différents organismes, le complexe de la pourriture des racines entraîne le rabougrissement et le flétrissement des plants de haricots secs comestibles et l'altération de la couleur des racines

La pourriture fusarienne se manifeste d'abord (dans les premières semaines) par de petites lésions brun rougeâtre qui, à mesure que le plant vieillit, s'amalgament pour former de grandes lésions ou des stries à la surface de la racine pivotante. La coupe de la racine pivotante, du collet et du bas de la tige révèle des tissus de transport d'eau brun rougeâtre. Sur les plants dont la racine pivotante est endommagée, des racines adventives peuvent se développer au-dessus de la zone endommagée. Les infections tardives tuent rarement les plants, mais entraînent leur rabougrissement.

La pourriture pythienne se reconnaît à la lésion brune gorgée d'eau qui débute à la base de la racine pivotante et qui progresse le long de la racine et de la tige jusqu'à 2 ou 3 cm (0,8 à 1,2 po) au-dessus du sol. Souvent, l'infection tue les plantules, ce qui nuit à l'établissement du peuplement. Même si les plantules plus vieilles et les plants matures ne meurent pas nécessairement, leurs racines sont souvent coupées, ce qui donne des plants rabougris, mal ancrés et flétris qui semblent malades.

Le rhizoctone commun est une pourriture des racines causée par *Rhizoctonia* qui provoque la formation de lésions enfoncées brun rougeâtre sur la tige et la racine pivotante, généralement près de la surface du sol. Les lésions peuvent ceinturer complètement la tige, provoquant du coup le rabougrissement ou la mort du plant. Elles sont d'un rouge brique caractéristique visible immédiatement après l'arrachage du plant et qui s'estompe rapidement à l'air. Il s'agit là d'un moyen de distinguer cette maladie de la pourriture fusarienne.

La pourriture noire des racines causée par *Chalara* produit des lésions brunes ou noires sur la racine pivotante et les racines latérales. Si le plant est gravement atteint, la racine pivotante peut être entièrement noire.

Cycle biologique : Les champignons responsables de ces pourritures survivent dans le sol, dans les débris de végétaux ou sous forme de mycélium. Ils sont attirés par les sucres et les exsudats des racines en croissance. Ils posent surtout problème lorsque le temps est frais et pluvieux durant le semis ou lorsque ces conditions retardent la levée ou la croissance des plantules. Un stress hydrique entre le milieu et la fin de la saison (temps sec) augmente l'incidence des infections des racines par *Fusarium* et *Rhizoctonia*.

Stratégies de lutte : Il est impossible d'éliminer ces maladies, mais les pertes de rendement qui en découlent peuvent être réduites par l'adoption des bonnes pratiques culturales suivantes :

- Choisir des cultivars ayant une bonne tolérance générale aux pourritures des racines.
- Favoriser la croissance des racines par de bons programmes de fertilisation. Veiller à ce que le sol soit riche en matière organique.
- Garder le sol meuble en pratiquant une rotation des cultures convenable (intervalle de trois ans entre deux cultures de haricots, quels qu'ils soient) et en évitant de le travailler lorsqu'il est détrempé ou de le travailler trop finement.
- Retirer l'excès d'eau en améliorant le drainage souterrain et en réduisant au minimum le compactage du sol.
- Traiter les semences contre les pourritures des racines afin de protéger les plants durant la germination et le début de la croissance. Voir les lignes directrices en la matière dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Brûlures bactériennes

BRÛLURE BACTÉRIENNE COMMUNE
(*Xanthomonas campestris* du pathovar *phaseoli*)

GRAISSE BACTÉRIENNE À HALO
(*Pseudomonas syringae* du pathovar *phaseolicola*)

TACHE BACTÉRIENNE
(*Pseudomonas syringae* du pathovar *syringae*)

Incidence : Plusieurs bactéries différentes peuvent causer des dommages graves aux haricots secs comestibles. En Ontario, la brûlure bactérienne

commune et la graisse bactérienne à halo sont les principales maladies bactériennes qui touchent cette culture. La plupart des cultivars de haricots sont sensibles à la brûlure bactérienne commune, mais résistent à la graisse bactérienne à halo. La tache bactérienne a récemment été observée pour la première fois en Ontario dans les cultures de haricot adzuki, mais elle peut toucher tous les types de haricots secs.

Aspect : Ces maladies sont difficiles à distinguer l'une de l'autre. La brûlure bactérienne commune et la graisse bactérienne à halo se manifestent d'abord par de petites cloques d'eau sur les folioles. Dans le cas de la brûlure bactérienne commune, ces cloques sont foncées et apparaissent sur le revers des folioles en premier (voir photo 16-57). Elles grossissent et s'amalgament pour former, entre les nervures, de grandes zones brunes et sèches au pourtour jaune. Ce pourtour jaune clair est mince dans le cas de la brûlure bactérienne commune et plus large et plus apparent dans le cas de la graisse bactérienne à halo. Par temps chaud, il arrive que ce halo jaune ne se forme pas.



Photo 16-57 – Les brûlures bactériennes se manifestent d'abord par l'apparition sur les folioles de petites cloques d'eau qui s'amalgament pour former, entre les nervures, de grandes zones brunes et sèches au pourtour jaune

À mesure que ces maladies progressent, les feuilles infectées deviennent cassantes et tombent prématurément. Les plants infectés peuvent perdre leurs feuilles une semaine ou deux avant les plants sains. Dans les cas graves, les petites nervures et la nervure principale prennent une coloration rougeâtre. Les feuilles des plants infectés par la graisse bactérienne à halo s'enroulent, et les jeunes feuilles jaunissent sans présenter de halo perceptible ni de zones de tissu mort. La graisse bactérienne à halo se distingue généralement de la brûlure bactérienne commune par les lésions plus

petites et le halo jaune-vert plus large qu'elle crée sur les feuilles, la brûlure bactérienne commune causant quant à elle un mince pourtour jaune.

Les maladies se manifestent sur les gousses par des lésions rondes et gorgées d'eau (voir photo 16-58) ou des stries le long des sutures qui renferment en leur centre une masse de bactéries jaune ou crème leur donnant un aspect gras. Avec le temps, ces lésions se creusent et s'assèchent. Elles présentent alors un pourtour brun rougeâtre et un centre jaune. Plus l'infection des gousses survient tôt, plus les répercussions sur la qualité des graines sont grandes. Généralement, les graines sont ratatinées et, dans le cas de la brûlure bactérienne commune, ont des taches brun jaunâtre. Les graines infectées produisent des plants à la tige ceinturée ou ayant de la pourriture au-dessus du nœud cotylédonaire. Ces plants affaiblis peuvent verser.



Photo 16-58 – Gousses infectées par la brûlure bactérienne

La tache bactérienne cause quant à elle l'apparition sur les feuilles de petites zones nécrosées circulaires au pourtour habituellement jaune. Les lésions s'amalgament pour former des stries brunes entre les nervures. L'infection des pétioles cause le flétrissement et la mort des feuilles. Les lésions sur les gousses et la tige sont semblables à celles causées par la graisse bactérienne à halo.

Cycle biologique : Les bactéries responsables n'hivernent pas en Ontario normalement; elles survivent d'une année à l'autre dans les semences infectées. Une fois que les plants sont infectés, la maladie se propage aux plants sains à la faveur des intempéries et de la circulation des travailleurs et de la machinerie d'un champ à l'autre lorsque les plants sont mouillés. La

pluie et la grêle peuvent aussi propager les bactéries dans le champ. Les dommages causés par la grêle, le vent, les orages violents et la machinerie favorisent l'infection et la propagation de la maladie dans un même champ et entre les champs voisins. La présence de ces trois maladies bactériennes est favorisée par une forte humidité et différentes températures (plus de 27 °C pour la brûlure bactérienne commune, moins de 27 °C pour la graisse bactérienne à halo et moins de 30 °C pour la tache bactérienne).

Stratégies de lutte : Les bactéricides cupriques peuvent être utiles contre les brûlures bactériennes à condition qu'ils soient appliqués tôt, avant que l'infection se répande. Comme les bactéricides n'offrent qu'une protection à court terme, plusieurs applications sont souvent nécessaires dans des conditions propices à l'infection. Habituellement, les bactéries n'hivernent pas dans les champs, mais il vaut mieux laisser un intervalle d'un an entre les cultures sensibles. Il importe de ne pas employer de semences provenant de champs infectés, de ne pas semer la culture à côté d'un champ ayant été gravement infecté l'année précédente et d'incorporer les débris de haricots infectés dans le sol après la récolte. Les brûlures bactériennes se propagent facilement lorsque les plants sont mouillés par la pluie ou la rosée. Il faut donc éviter la circulation de la machinerie et des travailleurs dans les champs mouillés. De plus, il faut nettoyer le matériel avant de passer d'un champ à l'autre. Récemment, des cultivars de haricots blancs offrant une résistance génétique aux brûlures bactériennes ont été mis au point. Ces cultivars sont offerts aux producteurs ontariens.

ANTHRACNOSE (*Colletotrichum lindemuthianum*)

Incidence : L'anthracnose est une maladie redoutable des haricots comestibles en Ontario. On la combat par l'utilisation de cultivars résistants, de semences saines et de traitements de semences. Des dommages considérables sont à craindre dans les champs où la maladie apparaît à la suite d'une infection par de nouvelles souches du champignon pathogène ou de l'utilisation de semences infectées.

Aspect : Les signes comprennent l'apparition de lésions rondes, angulaires ou ovales sur les feuilles, les tiges et les gousses (voir photo 16-59). Les lésions sont enfoncées ou semblables à des cratères et ont un anneau noir distinct sur leur pourtour. Souvent, le centre des lésions est recouvert de plusieurs petites

masses de spores noires. Au revers des feuilles, les nervures sont généralement brun-rouge ou rouge violacé. Les pertes de rendement sont attribuables au vieillissement précoce des feuilles, à la mort prématurée des plants, au rabougrissement des semences et au nombre élevé de graines présentant des lésions sur le tégument.



Photo 16-59 – L’anthracnose provoque l’apparition sur les feuilles, les tiges et les gousses de lésions rondes ou angulaires qui sont enfoncées et ont un anneau noir sur leur pourtour

Cycle biologique : Le champignon survit d’année en année, principalement sous forme de spores ou de lésions sur les semences. L’utilisation de semences saines est primordiale pour combattre la maladie. Une fois que la maladie apparaît dans un champ, elle peut être propagée tant dans le champ même que d’un champ à l’autre par les déplacements de la machinerie agricole, des animaux et des humains. Le temps pluvieux est propice à sa propagation, puisque les éclaboussures d’eau chargées de spores provenant des zones infectées peuvent être transportées par le vent et les eaux de ruissellement. À la suite d’averses prolongées, les infections peuvent prendre des proportions épidémiques.

Il existe plusieurs races (souches) d’anthracnose. Toutes se manifestent de la même manière sur les plants. Tous les cultivars de haricots blancs recommandés actuellement possèdent une bonne résistance aux races bêta et gamma de l’anthracnose. Il est bon de consulter chaque année la fiche technique du MAAARO intitulée *Essais de rendement des haricots secs comestibles* ou de faire une recherche sur le site www.gobeans.ca pour connaître les cultivars résistants aux races alpha et delta et se tenir au fait des éventuelles nouvelles races.

Stratégies de lutte : Pour prévenir l’anthracnose, il convient d’utiliser des semences saines traitées avec un fongicide, d’incorporer les résidus de haricots infectés dans le sol après la récolte, d’inscrire la culture de haricots dans une rotation incluant pendant au moins deux ans des cultures autres que des cultures hôtes et de rester hors des champs lorsque les plants sont mouillés.

NÉMATODE À KYSTE DU SOYA (*Heterodera glycines*)

Même si le soya est son hôte privilégié, le nématode à kyste du soya trouve aussi refuge dans un grand nombre de plantes, dont les haricots secs comestibles. Le nématode à kyste du soya est de plus en plus présent dans les régions productrices de haricots de la province. Le semis de haricots secs comestibles dans des champs infestés par ce nématode peut augmenter l’incidence du complexe de la pourriture des racines, étant donné que le nématode endommage les racines et ouvre ainsi la voie aux organismes responsables de ces pourritures. De plus amples renseignements sur le nématode à kyste du soya figurent dans la section à ce sujet.

MOSAÏQUE COMMUNE DU HARICOT

Incidence : Le virus de la mosaïque commune du haricot est présent partout dans la province où l’on cultive des haricots secs comestibles. Certaines années, la maladie peut frapper durement des champs en particulier.

Aspect : L’infection des haricots secs comestibles par le virus se manifeste de différentes manières. Les feuilles des plants infectés présentent des taches gaufrées formant une mosaïque vert foncé et jaune-vert pâle. Le pourtour des feuilles s’enroule vers le bas. Les plants sont rabougris et, si l’infection survient tôt, peuvent fleurir mais risquent de ne pas produire de graines. Un autre signe, appelé « réaction des racines noires », se manifeste chez les cultivars qui possèdent un gène particulier (gène I résistant dominant). Ces cultivars ont une résistance à toutes les souches du virus de la mosaïque commune du haricot, sauf lorsque les plants poussent à des températures élevées, qui provoquent la réaction des racines noires (réaction d’hypersensibilité), c’est-à-dire le brunissement ou le noircissement des tissus vasculaires à l’intérieur des tiges et le flétrissement suivi de la mort des plants. Le signe le plus évident de cette réaction est l’apparition de stries noires ou brunes sur l’extérieur de la tige

(tissus de transport d'eau) à partir de la surface du sol. Ce noircissement n'est parfois visible que d'un côté de la tige.

Cycle biologique : Le virus se propage principalement d'un champ à l'autre par les semences infectées. Les pucerons peuvent par la suite propager le virus à l'intérieur même d'un champ. Des pertes importantes sont enregistrées lorsque des cultivars sensibles sont infectés tôt en raison soit de semences infectées, soit de la proximité de plants infectés ou de champs abritant d'importantes populations de pucerons. Il existe plusieurs souches du virus, mais c'est la souche 1 qui prédomine en Ontario.

Stratégies de lutte : Il importe de ne pas utiliser de semences provenant de plants malades et d'éviter d'endommager les plants lors du sarclage. Une liste de cultivars résistants figure dans la fiche technique du MAAARO intitulée *Essais de rendement des haricots secs comestibles* et sur le site Web de l'Ontario Pulse Crop Committee (www.gobeans.ca); ces ressources devraient être consultées chaque année.

POURRITURE À SCLÉROTES (*Sclerotinia sclerotiorum*)

Incidence : La pourriture à sclérotés est difficile à prévoir, même si la plupart des années, elle frappe davantage les cultures de haricots secs comestibles que celles de soya. La maladie est plus dévastatrice lorsque le temps est relativement frais et pluvieux pendant la floraison ou peu de temps avant la récolte.

Aspect : L'infection survient d'abord dans les tissus morts à la suite d'autres causes (p. ex. fleurs ou feuilles à la base du plant). L'infection des gousses, des tiges et des feuilles se fait par contact entre les tissus infectés et les tissus sains. Les zones atteintes sont blanchies, et une moisissure blanche (mycélium) se forme habituellement à la surface des plants (voir photo 16-60). Des sclérotés noirs et durs sont produits à la surface ou à l'intérieur de la tige (voir photo 16-61). Les sclérotés qui se trouvent dans le sol produisent des structures en forme de coupe (apothécies) qui projettent des spores sur les plants-hôtes (voir photo 16-62).



Photo 16-60 – La pourriture à sclérotés produit des lésions couvertes de moisissure blanche sur la tige



Photo 16-61 – Des sclérotés noirs et durs apparaissent à la surface ou à l'intérieur de la tige et des gousses



Photo 16-62 – Les sclérotés qui se trouvent dans le sol produisent des structures en forme de coupe (apothécies) qui projettent des spores sur les plants-hôtes

Stratégies de lutte : Les pratiques suivantes contribuent à réduire au minimum les pertes causées par la pourriture à sclérotés :

- Utiliser des cultivars moins vulnérables ou des cultivars au port dressé.
- Ne pas semer de haricots secs comestibles après d'autres grandes cultures (p. ex. soya, betterave sucrière, canola, tournesol, chanvre), toutes sensibles à la pourriture à sclérotés, dans les champs où la maladie a déjà sévi. Autrement, laisser un intervalle d'au moins trois ans entre les cultures sensibles.
- Veiller à la bonne circulation de l'air en respectant les taux de semis recommandés et en espaçant convenablement les rangs afin d'abaisser le taux d'humidité et de rendre l'environnement moins propice à la prolifération de la maladie. Éviter la surfertilisation, qui accélère la fermeture du couvert. Cela évitera par le fait même une augmentation de l'humidité, qui crée un milieu propice à l'infection.
- Appliquer des fongicides foliaires au moment de la première floraison, avant que la maladie ne se manifeste; les pulvérisations faites après l'apparition de la maladie ne permettent pas de combattre la pourriture à sclérotés efficacement. Voir les fongicides recommandés dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

Maladies du canola

COMPLEXE DES MALADIES DES PLANTULES

Incidence : L'établissement du peuplement est une préoccupation majeure des producteurs de canola. Si le peuplement s'établit mal, c'est souvent à cause d'infections aux plantules causées par un ou plusieurs champignons qui provoquent différentes maladies faisant partie de ce que l'on appelle le « complexe des maladies des plantules ». Les principaux champignons en cause sont *Rhizoctonia*, *Fusarium* et *Pythium*. Ils sont le plus problématiques par temps frais.

Aspect : L'infection se manifeste par de nombreux signes, dont la pourriture des semences, la fonte des semis avant et après la levée, la brûlure des plantules et la pourriture des racines des plantules, qui apparaissent pendant les quatre premières semaines ou avant le stade 4 feuilles. Les semences peuvent ne pas germer ou mourir peu après la levée. Les plantules qui lèvent peuvent paraître normales, mais avoir des racines pourries. La fonte des semis se produit quand la pourriture des racines monte le long de

la tige (hypocotyle), causant un ceinturage ou un pincement de la tige à la surface du sol ou tout près. La tige est affaiblie et risque de casser ou de s'affaisser à l'endroit où se forment les lésions d'un brun rougeâtre caractéristiques. Généralement, les plantules infectées se flétrissent ou meurent en réaction au stress causé par la réduction, l'étranglement ou la pourriture de leur système racinaire, en particulier par temps sec. Les peuplements sont lents à lever, clairsemés ou inégaux et ont un rendement réduit. En cas de pertes graves, la reprise des semis peut s'imposer.

Cycle biologique : Les champignons en cause survivent dans le sol, dans des résidus de végétaux en décomposition. Les conditions qui ralentissent la germination et la croissance sont propices à leur prolifération. Les parties souterraines se lignifient au stade de 2 à 4 feuilles, que les plants vigoureux atteignent rapidement. À ce stade, les plantules peuvent lutter contre la progression de l'infection et arrivent à régénérer leurs racines plus vite qu'elles n'en perdent. *Pythium* préfère les sols frais et humides, et *Rhizoctonia*, les sols secs et légers.

Stratégies de lutte : Il convient de semer des semences de bonne qualité dans un lit de semence ferme et humide quand les conditions sont propices à une germination rapide, en évitant de les enfouir profondément. Le traitement des semences aux fongicides réduit l'incidence des infections et facilite l'établissement du peuplement (voir la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*). De plus, il importe de maintenir un bon équilibre des éléments nutritifs et d'éviter un apport excessif d'engrais pour ne pas favoriser les maladies et les phytotoxicités.

JAMBE NOIRE

(*Leptosphaeria maculans*)

Incidence : La jambe noire est une maladie fongique présente partout au Canada où l'on cultive le canola. Dans l'Ouest canadien, il existe deux souches (de virulence faible et élevée) du champignon, qui y entraînent des pertes substantielles. Ces dernières années, l'incidence de la maladie a augmenté en Ontario, en particulier dans les champs de canola d'automne. Heureusement, la souche virulente, responsable des pertes dans l'Ouest, n'y a pas encore été signalée.

Aspect : L'infection se manifeste d'abord sur les cotylédons ou sur les feuilles, où se forment des taches blanches ou chamois circulaires ou irrégulières de 1 à

2 cm (0,4 à 0,8 po) de diamètre, chacune contenant de nombreux petits points noirs, soit des pycnides (voir photo 16-63). Au fil de la saison, le champignon peut s'étendre à la tige et au collet, formant un chancre qui ceinture la tige (voir photo 16-64). Les plants gravement atteints mûrissent prématurément, et leur collet ou le bas de leur tige vire au noir ou au gris. Les plants gravement infectés versent et ont de petites graines ratatinées, probablement elles-mêmes infectées par le champignon.



Photo 16-63 – La jambe noire provoque l'apparition de taches blanches ou chamois circulaires ou irrégulières contenant de nombreux points noirs (pycnides)



Photo 16-64 – La jambe noire se propage à la tige et y produit un chancre qui ceinture la base de la tige

Cycle biologique : Le champignon causant la jambe noire survit sur les résidus de canola ainsi que sur les semences et les plants infectés. Il peut se propager d'un champ à l'autre par les résidus ou les plants infectés. Ses spores sont disséminées par la pluie, le vent et les semences infectées.

Stratégies de lutte : Il convient de faire une bonne rotation des cultures en laissant au moins trois ans entre les cultures de canola et d'utiliser des cultivars moins sensibles. La plupart des cultivars sont cotés sur une échelle de 1 (résistants) à 5 (très sensibles). Les traitements fongicides réduisent les infections transmises par les semences et réduisent au minimum le risque d'introduction de la jambe noire dans de nouveaux champs. Cependant, la maladie peut quand même se propager d'un champ à l'autre par les plants et les résidus infectés. Les différents traitements possibles sont décrits dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

POURRITURE À SCLÉROTES

Incidence : La pourriture à sclérotés est une maladie du canola qui se manifeste de manière sporadique dans une région et dont l'incidence varie considérablement d'une année à l'autre. Par conséquent, il est très difficile de prévoir la gravité ou l'apparition de cette maladie, très destructrice pendant les longues périodes de temps pluvieux. Des pertes pouvant atteindre 50 % peuvent survenir dans des conditions qui lui sont favorables.

Aspect : La pourriture à sclérotés provoque la formation de lésions blanchies sur les tiges et de sclérotés noirs et durs à l'intérieur de ces dernières, en plus de causer le vieillissement prématuré des plants. Cette maladie est souvent problématique lorsque le canola suit des cultures de canola, de haricots blancs, de soya ou de tournesol. L'infection qui commence sur les fleurs mortes se propage aux tissus adjacents, où elle provoque la mort des ramifications ou des plants. Les plants peuvent verser. Les tiges atteintes paraissent habituellement blanchies (voir photo 16-65). Les infections du canola par la pourriture à sclérotés peuvent être graves si les deux dernières semaines de juin sont marquées par du temps frais et pluvieux qui se poursuit jusqu'au début juillet, lors de la floraison. Les sclérotés noirs se retrouvent parfois dans les semences de canola récoltées. Elles peuvent d'ailleurs avoir une couleur et une taille similaires (voir photo 16-66).



Photo 16-65 – La pourriture à sclérotés cause le vieillissement prématuré des plants de canola

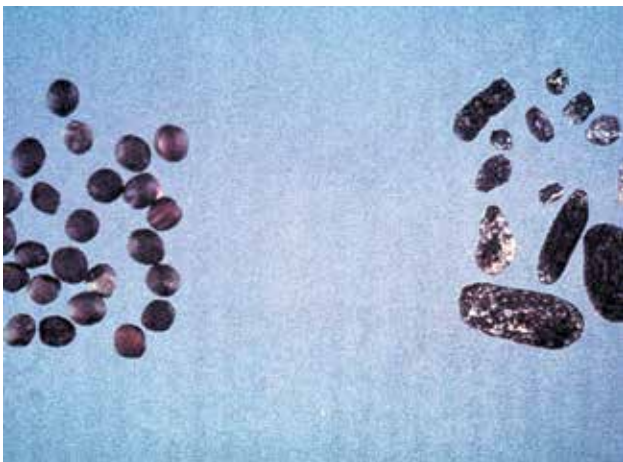


Photo 16-66 – Les sclérotés noirs produits par la pourriture à sclérotés se retrouvent parfois dans les semences de canola récoltées

Stratégies de lutte : Dans des champs qui ont déjà été infectés par la pourriture à sclérotés, il convient d'utiliser des semences propres et homologuées et de pratiquer sur au moins quatre ans une rotation des cultures incluant des cultures qui ne sont pas touchées comme le maïs, le blé, l'orge ou l'avoine. Pendant cette rotation, il faut éviter de semer des cultures sensibles comme la moutarde, le tournesol, les haricots secs, le soya, les pois des champs, les lentilles ou les pois chiches. Actuellement, il n'existe pas de cultivars résistants. Les champs doivent demeurer exempts de mauvaises herbes dicotylédones, car beaucoup servent d'hôtes intermédiaires à cette maladie. Les traitements fongicides foliaires sont efficaces, mais exigent un dépistage sur le terrain et doivent être effectués à des moments précis. Des renseignements sur les différents traitements possibles figurent dans la publication 812F du MAAARO, *Guide de protection des grandes cultures*.

MOSAÏQUE DU NAVET

Incidence : Le virus de la mosaïque du navet est devenu un problème important dans certaines régions où le canola d'automne est cultivé.

Cycle biologique et aspect : L'infection se produit à l'automne et provoque l'apparition de marbrures sur les feuilles (régions jaunes ou vert pâle entourées de la couleur verte normale) et le plissement ou le gaufrage du limbe entre les nervures (voir photo 16-67). La croissance printanière est lente. Les plants gravement atteints sont rabougris, tordus et généralement vert pâle ou jaunes. Les gousses sont déformées et de très nombreuses graines sont mal remplies. La maladie semble frapper plus durement les régions où l'on cultive des crucifères (p. ex rutabaga) et les champs où il y a beaucoup de mauvaises herbes et de céréales spontanées.



Photo 16-67 – Le virus de la mosaïque du navet provoque l'apparition de marbrures sur les feuilles et le plissement ou le gaufrage du limbe, en plus de faire jaunir le plant et d'en freiner la croissance

Stratégies de lutte : Généralement, l'incidence de la mosaïque du navet est forte dans le canola d'automne spontané. Bien que le semis précoce puisse contribuer à la survie hivernale de la culture dans certaines régions, il semble aggraver les infections par le virus de la mosaïque du navet où la maladie est déjà présente. Seules des infections mineures ont été signalées dans les cultures de canola de printemps.

Annexes

Annexe A – Fournisseurs de matériel pour le dépistage d'insectes

Note : La présentation de la liste de fournisseurs ci-dessous n'implique aucunement que le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario approuve ou recommande ces derniers.

BioQuip Products

2321, rue Gladwick
Rancho Dominguez (Californie)
C.P. 90220
Tél. : 310 667-8800
Télec. : 310 667-8808
www.bioquip.com

Distributions Solida inc.

Tél. : 418 826-0900
Télec. : 418 826-0901
www.solida.ca

Gempler's inc.

1125 Deming Way
C.P. 449132
Madison (Wisconsin) 53744
Tél. : 1 800 382-8473
Télec. : 1 800 551-1128
www.gemplers.com

Great Lakes IPM

10220 North Crystal Road
Vestaburg (Michigan)
C.P. 48891
Tél. : 989 268-5693
Télec. : 989 268-5911
www.greatlakesipm.com

Atelier Jean Paquet

3, rue du Coteau
C.P. 953
Pont-Rouge (Québec)
Canada G3H 2E1
Tél./télec. : 418 873-2984

Annexe B – Feuille de calcul des doses d'azote pour le maïs (unités métriques) et explications détaillées

Les cinq tableaux (non numérotés) suivants font partie de la *Feuille de calcul des doses d'azote pour le maïs*.

A. Besoins de base en azote (choisir au tableau A)	_____
B. Ajustement en fonction du rendement (Rendement [t/ha] _____ x 13,6) =	+ _____
C. Ajustement selon le nombre d'unités thermiques Nombre d'UTC-M1 dans la région = _____ Moins - 2 800 Total = _____ x 0,041 =	+ _____
D. Ajustement selon la culture précédente (choisir au tableau D)	- _____
E. Ajustement selon le rapport de prix de l'azote et du maïs (choisir au tableau E)	- _____
F. Dose totale d'azote suggérée (A + B + C - D - E)	= _____
G. Soustraire l'azote appliqué au démarrage	- _____
H. Soustraire l'azote provenant du fumier ¹	- _____
I. Azote additionnel en présemis (F - G - H)	= _____
OU	
J. Azote additionnel en bandes latérales (si une quantité supplémentaire d'azote est appliquée en bandes latérales, multiplier la valeur I par le chiffre correspondant du tableau J)	= _____

¹ Les apports en azote provenant du fumier sont indiqués au chapitre 9, *Fertilité et éléments nutritifs*.

Tableau A. Besoins de base en azote (kg/ha)

Texture du sol	Besoins de base en azote	
	Sud-Ouest et Centre de l'Ontario	Est de l'Ontario*
Argile, argile lourde	53	1
Loam argileux	40	1
Loam	32	1
Sable loameux	46	19
Loam sableux	38	19
Sable	52	19
Argile sableuse, loam sablo-argileux	43	19
Loam limoneux	20	1
Loam limono-argileux	36	1
Argile limoneuse	49	1

* L'Est de l'Ontario comprend Frontenac, Renfrew et les comtés plus à l'est.

Tableau D. Ajustement selon la culture précédente

Culture précédente	Ajustement (kg/ha)
Maïs-grain	0
Maïs à ensilage	14
Céréales	12
Soya	30
Haricots secs comestibles	30
Trèfle en culture couvre-sol (enfoui)	82
Trèfle en culture couvre-sol (semis direct)	67
Fourrages vivaces	
Moins du tiers en légumineuses	0
Un tiers à un demi en légumineuses	55
Plus de la moitié en légumineuses	110

Tableau E. Ajustement selon le rapport de prix de l'azote et du maïs

Prix du maïs	Prix de l'azote (\$/kg)					
	1,00 \$	1,25 \$	1,50 \$	1,75 \$	2,00 \$	2,25 \$
120 \$/t	22	36	50	64	78	*
130 \$/t	18	31	44	57	70	82
140 \$/t	14	26	38	50	62	74
150 \$/t	11	22	34	45	56	67
160 \$/t	8	19	29	40	50	61
170 \$/t	6	16	26	35	45	55
180 \$/t	4	13	22	32	41	50
190 \$/t	2	11	19	28	37	46
200 \$/t	0	8	17	25	34	42
210 \$/t	*	6	14	22	30	38
220 \$/t	*	5	12	20	27	35
230 \$/t	*	3	10	17	25	32

* Pour ces rapports de prix, les ajustements n'ont pas été calculés.

Tableau J. Azote additionnel en bandes latérales – Ajustement en fonction de la période d'application (Sud-Ouest et Centre de l'Ontario seulement)

Texture du sol	Ajustement (kg/ha)
Argile, loam argileux, loam, loam limoneux, argile limoneuse, loam limono-argileux	0,8
Argile sableuse, loam sablo-argileux, loam sableux	0,9
Sable, sable loameux	1,0

Explication des facteurs de la feuille de calcul

A. Besoins de base en azote

Dans la plupart des régions de la province, ce sont les sols à texture moyenne (loams limoneux et loams) qui fournissent le plus d'azote aux cultures de maïs, comme l'indiquent leurs « besoins de base en azote » moindres (tableau A). Dans les sols à texture plus grossière ou plus fine, les besoins en azote sont plus élevés.

Les données recueillies indiquent que les besoins en azote des sols de la vallée de l'Outaouais sont considérablement inférieurs à ceux des autres régions de la province, mais on ne sait pas exactement pourquoi. C'est le cas de tous les sols situés dans les comtés à l'est de l'axe de Frontenac.

Puisque ces valeurs proviennent des données moyennes recueillies dans un grand éventail de sites, elles représentent les besoins prévus pour les sols ayant des caractéristiques « moyennes ». Quand les sols ont des propriétés s'écartant de la moyenne (p. ex. une teneur en matière organique plus élevée ou plus basse), les doses d'azote optimales peuvent différer.

B. Ajustement en fonction du rendement

Il existe un lien vague mais certain entre les besoins d'azote plus grands de certains champs et leurs rendements plus élevés aux doses d'azote optimales. Le facteur rendement, qui est dérivé des données sur la réponse aux apports d'azote (0,77 lb d'azote par boisseau de rendement), correspond presque à la quantité d'azote prélevée du sol que l'on retrouve dans le grain.

Il faut utiliser les rendements moyens des cinq dernières années pour estimer le potentiel de production du champ. Le fait d'utiliser un rendement potentiel gonflé dans cet ajustement n'augmenterait pas la productivité du champ. Les coûts seraient par ailleurs plus élevés en raison de l'azote gaspillé, lequel pourrait être nuisible à l'environnement. Pour évaluer le rendement de maïs-grain à partir du rendement de maïs à ensilage, on doit diviser par 5 le rendement d'ensilage pour obtenir des tonnes à l'hectare (t/ha) ou des tonnes courtes à l'acre (t. c./ac), ou multiplier par 7 les t. c./ac pour connaître le nombre de boisseaux à l'acre (bo/ac).

C. Ajustement selon le nombre d'unités thermiques

Les recherches indiquent que le maïs a besoin de plus d'azote dans les régions où la saison de croissance est longue. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que le stress hydrique sur la culture est accru dans les régions où les températures moyennes sont supérieures, ce qui affaiblirait l'efficacité des apports d'azote, ou par le fait que les teneurs en matière organique du sol sont différentes.

D. Ajustement selon la culture précédente

Les besoins en azote sont étroitement liés à la culture qui a été faite dans le champ en question juste avant le maïs. Des cultures comme le maïs-grain immobilisent d'importantes quantités d'azote minéral dans le sol au fur et à mesure que se décomposent les résidus riches en carbone, ce qui se traduit par une hausse des besoins en azote. Les cultures de légumineuses fourragères fixent l'azote atmosphérique et le rendent accessible à la culture de maïs au cours de la décomposition des résidus, entraînant ainsi une baisse des besoins d'azote.

E. Ajustement selon le rapport de prix

La dose d'azote optimale est atteinte lorsque la hausse de rendement occasionnée par la dernière livre d'azote ajoutée parvient tout juste à compenser le coût de l'azote supplémentaire. Lorsque le coût de l'engrais azoté monte ou que le prix de vente du maïs récolté baisse, il faut un plus fort rendement pour payer chaque livre supplémentaire d'azote. Autrement dit, la dose

d'azote donnant le meilleur rendement économique pour chaque ajout d'engrais diminue. On indique au tableau E l'importance de la baisse des doses d'azote pour différentes combinaisons de prix du maïs et de l'azote.

On peut calculer l'ajustement des doses d'engrais pour les prix hors des fourchettes données comme suit :

- Déterminer le prix d'un kilogramme d'azote. Diviser le prix d'une tonne d'engrais par le nombre de kilogrammes d'azote dans chaque tonne (pourcentage d'azote multiplié par 10). Calculer le prix à la livre en multipliant par 0,45 le prix au kilogramme. Par exemple, si l'urée (46 % d'azote) se vend 865 \$ la tonne, le prix d'un kilogramme d'azote sera de 865 \$/460 kg = 1,88 \$/kg, ou 0,85 \$/lb.
- Estimer la valeur d'un kilogramme (ou d'une livre) de maïs pour l'année suivant la récolte (sauf si le maïs a été préalablement vendu à prix fixe), y compris tous les paiements de stabilisation, moins les frais de séchage, de transport et d'élevateur. Le maïs donné comme nourriture aux animaux à la ferme est évalué au prix payé pour du maïs qu'on achèterait de l'extérieur. Le prix d'un kilogramme de maïs est le prix attendu d'une tonne, divisé par 1 000. Le prix d'une livre de maïs est le prix net attendu d'un boisseau, divisé par 56.
- Calculer le rapport de prix de l'azote et du maïs en divisant le prix d'un kilogramme (ou d'une livre) d'azote par la valeur d'un kilogramme (ou d'une livre) de maïs.
- Soustraire 5 du rapport de prix, parce que les recommandations d'azote ont été élaborées pour un rapport de 5.
- Multiplier le résultat par 6,7 (ou par 6 dans le cas des unités impériales); inscrire ce nombre dans la case d'ajustement du rapport de prix.

F. Dose totale d'azote suggérée

Cette valeur, calculée en faisant la somme des valeurs de A à E, représente les doses totales requises par la culture, qui sont normalement obtenues au moyen d'engrais de démarrage, d'applications à la volée ou en bandes latérales et de fumier.

G. Soustraire l'azote appliqué au démarrage

Toute dose d'azote appliqué au démarrage doit être incluse ici.

H. Soustraire l'azote provenant du fumier

L'azote que contient le fumier (ou les biosolides) devrait être inclus ici. Plus l'évaluation de l'azote biodisponible provenant du fumier est juste, selon des doses précises d'épandage du fumier et des analyses de ce dernier, plus l'apport d'azote provenant du fumier s'approchera de la réalité. Pour une estimation de l'azote biodisponible provenant du fumier, se référer au tableau 9-10, *Quantités habituelles d'azote, de phosphate et de potasse biodisponibles selon la source d'éléments nutritifs organiques*.

I. Azote additionnel en présemis

La différence entre la dose totale d'azote recommandée et les apports provenant de l'engrais de démarrage et du fumier correspond à la quantité d'azote qui devra être appliquée en présemis.

OU

J. Azote additionnel en bandes latérales

L'azote qui est appliqué juste avant que la culture en ait besoin est utilisé plus efficacement que l'azote appliqué en présemis, car les pertes par dénitrification ou lessivage s'en trouvent réduites. La différence est plus prononcée dans les sols à texture lourde. Les applications d'azote en bandes latérales ne sont généralement pas profitables dans des sols sableux. **NOTE :** Ce facteur d'ajustement n'est pas valable dans l'Est de l'Ontario, où les doses d'azote recommandées sont déjà relativement faibles.

Annexe C – Laboratoires accrédités pour les analyses de sol en Ontario

Les laboratoires ci-dessous sont accrédités pour effectuer les analyses de sol portant sur le pH, le pH tampon, le phosphore, le potassium, le magnésium et l'azote des nitrates dans les sols de l'Ontario.

Nom du laboratoire	Adresse	Tél./téléc./courriel
A & L Canada Laboratories inc. www.alcanada.com/fr/	2136 Jetstream Road London (Ontario) N5V 3P5	Tél. : 519 457-2575 Téléc. : 519 457-2664 Courriel : aginfo@alcanada.com
Activation Laboratories Itée www.actlabsag.com	41, rue Bittern Ancaster (Ontario) L9G 4V5	Tél. : 905 648-9611 1 888 228-5227 Téléc. : 905 648-9613 Courriel : victoriapechorina@actlabs.com
Brookside Laboratories inc. www.blinc.com	200 White Mountain Drive New Bremen (Ohio) 45869	Tél. : 419 977-2766 Téléc. : 419 977-2767 Courriel : jbrackman@blinc.com
Exova inc. (Ottawa) www.exova.com	8-146 Colonnade Road Ottawa (Ontario) K2E 7Y1	Tél. : 613 727-5692 Téléc. : 613 727-5222
SGS – Agrifood Laboratories www.agtest.com	503 Imperial Road, Unit #1 Guelph (Ontario) N1H 6T9	Tél. : 519 837-1600 1 800 265-7175 Téléc. : 519 837-1242 Courriel : ca.agri.guelph.lab@sgs.com
Stratford Agri Analysis www.stratfordagri.ca	1131, rue Erie C.P. 760 Stratford (Ontario) N5A 6W1	Tél. : 519 273-4411 1 800 323-9089 Téléc. : 519 273-2163 Courriel : info@stratfordagri.ca
Université de Guelph, Laboratory Services www.guelphlabservices.com	Université de Guelph 95 Stone Road West C.P. 3650 Guelph (Ontario) N1H 8J7	Tél. : 519 767-6299 Téléc. : 519 767-6240 Courriel : afinfo@uoguelph.ca

Il n'existe aucune accréditation officielle pour l'analyse de tissus végétaux ou de fumier en Ontario, mais tous les laboratoires accrédités pour les analyses de sol font l'objet d'une surveillance quant à leur compétence en analyse de tissus végétaux et de fumier. Pour une liste à jour, consulter le site Web du MAAARO à ontario.ca/cultures.

Annexe D – Laboratoires d’analyse : aliments pour animaux, moisissures et mycotoxines

Pour une liste à jour, consulter le site Web du MAAARO à ontario.ca/cultures.

A & L Canada Laboratories inc.

2136 Jetstream Road
London (Ontario) N5V 3P5
Tél. : 519 457-2575
Téléc. : 519 457-2664
www.alcanada.com/fr/

Actlabs Agriculture

41, rue Bittern
Ancaster (Ontario) L9G 4V5
Tél. : 905 648-9611
www.actlabsag.com

Purina

Laboratoire central de Strathroy
127, rue Zimmerman Sud
Strathroy (Ontario) N7G 3W3
Tél. : 519 245-9600

Laboratory Services

Université de Guelph
95 Stone Road West
Guelph (Ontario) N1H 8J7
Tél. : 519 767-6299
www.guelphlabservices.com/ahl/

SGS – Agrifood Laboratories

503 Imperial Road, Unit #1
Guelph (Ontario) N1H 6T9
Tél. : 519 837-1600 ou 1 800 265-7175
Téléc. : 519 837-1242
www.agtest.com

Intertek

960C Alloy Drive
Thunder Bay (Ontario) P7B 6A4
Tél. : 1 807 345-5392

Shur-Gain

RR 4, 600, rue James Sud
St. Marys (Ontario) N4X 1C7
Tél. : 519 349-2152
www.shurgain.com

Stratford Agri Analysis

1131, rue Erie
C.P. 760
Stratford (Ontario) N5A 6W1
Tél. : 519 273-4411 ou 1 800 323-9089
Téléc. : 519 273-4411
www.stratfordagri.ca

Annexe E – Laboratoires de dépistage du nématode à kyste du soya

Communiquer avec les laboratoires ci-dessous pour connaître les tarifs actuels et les procédures de manipulation et d'expédition de nématodes.

A & L Canada Laboratories inc.

2136 Jetstream Road
London (Ontario) N5V 3P5
Tél. : 519 457-2575
Téléc. : 519 457-2664
www.alcanada.com/fr/

SGS – Agrifood Laboratories

503 Imperial Road, Unit #1
Guelph (Ontario) N1H 6T9
Tél. : 519 837-1600 ou 1 800 265-7175
Téléc. : 519 837-1242
www.agtest.com

Pest Diagnostic Clinic

Laboratory Services
Université de Guelph
95 Stone Road West
Guelph (Ontario) N1H 8J7
Tél. : 519 767-6299
Téléc. : 519 767-6240
www.guelphlabservices.com

Annexe F – Laboratoires offrant des tests de germination sur demande en Ontario

Ces laboratoires sont accrédités par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA).

Canadian Seed Laboratories Itée

208, rue St. David
C.P. 217
Lindsay (Ontario) K9V 5Z4
Tél. : 705 328-1648
Téléc. : 705 324-2550

Ce laboratoire est aussi accrédité pour évaluer la pureté des semences.

Canadian Seed Laboratories Itée. est aussi accrédité pour dépister certaines maladies des semences.

D'autres laboratoires sont accrédités par l'ACIA, mais ils n'acceptent aucun échantillon provenant de l'extérieur.

Dow AgroSciences

50, avenue Industrial
Blenheim (Ontario) NOP 1A0
Tél. : 519 676-1863, poste 330

Kent Agri Lab

RR 2
Tupperville (Ontario) NOP 2M0
Tél. : 519 627-3737
Téléc. : 519 627-3737

Ce laboratoire est aussi accrédité pour évaluer la pureté des semences.

Lang Germination

6, rue Clarinda
C.P. 419
Teeswater (Ontario) N0G 2S0
Tél. : 519 392-8203
Téléc. : 519 392-8203

Livingstone Seed Laboratory

500, boulevard Rexdale
C.P. 27050
Comptoir postal
Etobicoke (Ontario) M9W 6L0
Tél. : 416 743-7191
Téléc. : 416 743-7191

Ce laboratoire est aussi accrédité pour évaluer la pureté des semences.

Miller Seed Farm

RR 2
Bath (Ontario) K0H 1G0
Tél. : 613 352-7453
Téléc. : 613 352-7453

Perth Seed Laboratory

RR 5
Mitchell (Ontario) N0K 1N0
Tél. : 519 348-9057
Téléc. : 519 348-8165

Ce laboratoire est aussi accrédité pour évaluer la pureté des semences.

Annexe G – Réglementation des néonicotinoïdes en Ontario

Pour de l'information à jour, visiter le

<https://www.ontario.ca/fr/page/reglementation-des-neonicotinoides>.

L'Ontario prend des mesures pour renforcer la santé des pollinisateurs et ainsi assurer la bonne condition des écosystèmes, la productivité du secteur agricole et la vigueur de l'économie.

La Stratégie pour la santé des pollinisateurs comporte de multiples facettes :

- Programmes financiers d'aide aux apiculteurs qui enregistrent des pertes importantes dans leurs ruches;
- Réglementation qui restreint l'utilisation de semences de maïs et de soya traitées aux néonicotinoïdes;
- Élaboration d'un Plan d'action pour la santé des pollinisateurs complet qui touche à différents facteurs de stress pour les pollinisateurs.

La Stratégie s'appuie sur d'anciens travaux visant à améliorer la santé des pollinisateurs et définit les cibles suivantes :

- Réduction de 80 % du nombre d'acres de champs ensemencés de graines de maïs et de soya traitées aux néonicotinoïdes d'ici 2017;
- Atteinte d'un taux de mortalité hivernale des abeilles mellifères de 15 % d'ici 2020.

Dans le cadre de la stratégie globale de protection des pollinisateurs, l'exigence suivante a été ajoutée à la réglementation prise en application de la *Loi sur les pesticides* de l'Ontario (1990) : les producteurs de maïs et de soya et les personnes utilisant des semences traitées par des entrepreneurs doivent démontrer la nécessité d'épandre des pesticides de catégorie 12 dans les champs d'une exploitation agricole avant de pouvoir en acheter et en utiliser. La nouvelle version de la réglementation est entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2015.

Pesticides de catégorie 12

Le gouvernement provincial doit classer les pesticides et régir leur vente, leur utilisation, leur transport, leur entreposage et leur élimination.

Les semences traitées sont des graines enrobées d'un pesticide. La nouvelle réglementation crée une nouvelle catégorie de pesticides – les pesticides de catégorie 12 – qui englobe les semences de maïs et de soya traitées avec les néonicotinoïdes suivants :

- Imidaclopride;
- Thiaméthoxame;
- Clothianidine.

Cette nouvelle catégorie vise les semences de maïs destinées à la production de céréales ou à l'ensilage ainsi que les semences de soya.

Le règlement ne s'applique pas au maïs à éclater, au maïs sucré ou au maïs destiné à la production de semences, ni aux semences de soya destinées à la production de semences certifiées dans le cadre d'un contrat. Les semences de maïs et de soya traitées seulement avec un fongicide ne sont pas considérées comme des pesticides de catégorie 12 selon la réglementation.

Les producteurs qui ne sèment pas de graines de maïs ou de soya traitées aux néonicotinoïdes ne sont pas visés par les nouvelles exigences réglementaires.

Les producteurs ne peuvent acheter et utiliser que des

semences traitées aux néonicotinoïdes que les fournisseurs ont fait inscrire dans la *Liste des pesticides de catégorie 12*. Cette liste est publiée chaque année au mois d'août à l'adresse suivante :

[ontario.ca/fr/page/pesticides-de-categorie-12](https://www.ontario.ca/fr/page/pesticides-de-categorie-12).

La réglementation ne comporte pas d'exigences liées au transport et à l'entreposage des pesticides de catégorie 12.

Les producteurs doivent se servir des pesticides de catégorie 12 conformément aux directives que le gouvernement fédéral présente sur l'étiquette.

Certaines exigences réglementaires visant à réduire l'utilisation des semences de maïs et de soya traitées aux néonicotinoïdes sont mises en œuvre de manière graduelle.

Dates importantes concernant la réglementation

À partir du 31 août 2016, si des producteurs veulent acheter et utiliser des semences de maïs et de soya traitées aux néonicotinoïdes (pesticides de catégorie 12) en prévision de la saison des semis de 2017, ils doivent :

- suivre la nouvelle formation sur la lutte antiparasitaire intégrée;
- remplir un rapport d'évaluation parasitaire;
- signer le formulaire *Déclaration écrite relative à la lutte antiparasitaire intégrée (LAI)* indiquant qu'ils tiennent compte des principes de la lutte antiparasitaire intégrée.

Les producteurs devront fournir ces renseignements, ainsi que le numéro de leur certificat de formation sur la lutte antiparasitaire intégrée, au représentant commercial ou au fournisseur de semences (y compris ceux vendant des semences directement aux producteurs) auprès duquel ils ont acheté les semences, ou à l'entrepreneur en traitement des semences qui a traité les semences aux néonicotinoïdes.

Les pesticides de catégorie 12 ne peuvent être utilisés que dans la ou les zones d'application de l'exploitation agricole indiquées dans le rapport d'évaluation parasitaire.

Formation sur la lutte antiparasitaire intégrée

La lutte antiparasitaire intégrée est une méthode de gestion des ravageurs viable sur les plans environnemental et économique. Elle appuie le recours à différentes techniques de prévention et de réduction des risques associés aux ravageurs et aide les insectes utiles, comme les pollinisateurs. Dans le cadre de cette méthode, on utilise les pesticides en dernier recours pour régler les problèmes de ravageurs.

À compter du 31 août 2016, la réussite de la nouvelle formation sur la lutte antiparasitaire intégrée sera obligatoire pour l'achat et l'utilisation de semences de maïs et de soya traitées aux néonicotinoïdes. Les producteurs devront prouver qu'ils ont suivi cette formation en soumettant leur numéro de certificat à un représentant commercial, à un fournisseur de semences ou à un entrepreneur en traitement des semences. La certification reste valide pendant cinq ans (autrement dit, les producteurs ne devront faire la formation qu'une fois tous les cinq ans).

Les producteurs peuvent suivre la formation en classe à divers endroits, ou en ligne par l'intermédiaire du campus de Ridgeway de l'Université de Guelph (<http://french.ipmcertified.ca/>). Pour les encourager à participer, la formation sera offerte **gratuitement** jusqu'au 30 avril 2017.

Les producteurs n'ont pas à suivre la formation s'ils sont propriétaires d'une exploitation agricole qui embauche des gens pour acheter et utiliser les pesticides de catégorie 12.

Appendix G – Réglementation des néonicotinoïdes en Ontario (suite)

En pareil cas, c'est la personne qu'ils engagent (p. ex. le gestionnaire ou superviseur de l'exploitation) qui doit faire la formation.

Une personne qui a suivi la formation sur la lutte antiparasitaire intégrée peut superviser au maximum sept personnes qui emploient des pesticides de catégorie 12 sur l'exploitation agricole. Les producteurs qui n'ont pas l'intention d'acheter et d'utiliser des semences traitées aux néonicotinoïdes ne sont pas tenus de suivre la formation. Des semences non traitées ou des semences de maïs ou de soya traitées uniquement avec un fongicide, par exemple, ne constituent pas des pesticides de catégorie 12.

Rapport d'évaluation parasitaire

Un rapport d'évaluation parasitaire est un document prouvant qu'il existe un problème de ravageurs nécessitant l'emploi de semences traitées aux néonicotinoïdes. Pour acheter des pesticides de catégorie 12, une personne (c.-à-d. le producteur) doit fournir un rapport d'évaluation parasitaire à un fournisseur, à un représentant commercial ou à un entrepreneur en traitement des semences.

L'évaluation parasitaire doit être réalisée conformément à la ligne directrice *Évaluation parasitaire préalable à l'utilisation de pesticides de catégorie 12* (couramment appelée « Guide d'évaluation parasitaire »). Cette ligne directrice énonce la manière dont l'évaluation doit être effectuée, définit les seuils minimums et indique comment déterminer la ou les zones d'application de l'exploitation agricole où les pesticides de catégorie 12 seront utilisés.

Il y a deux types d'évaluation parasitaire : l'inspection du sol et l'inspection des cultures.

Inspection du sol

L'évaluation parasitaire du sol permet de confirmer la présence d'une moyenne de deux asticots ou plus ou d'un ver fil-de-fer dans des champs d'une exploitation agricole (voir le Guide d'évaluation parasitaire à ontario.ca/fr/page/guide-devaluation-parasitaire pour en savoir plus sur les exigences de dépistage et les seuils de présence de parasites). Le rapport doit confirmer qu'on a atteint ou dépassé les seuils de présence de parasites.

Il appartient aux producteurs de décider à quel moment ils procéderont au dépistage des ravageurs dans le sol; l'idéal est de le faire au printemps ou à l'automne.

Du 31 août 2016 au 31 août 2017, les producteurs pourront réaliser une évaluation parasitaire et préparer un rapport s'ils détiennent un numéro de certificat pour la nouvelle formation sur la lutte antiparasitaire intégrée.

À compter du 31 août 2017, on appliquera graduellement la nouvelle exigence selon laquelle l'évaluation parasitaire du sol et le rapport connexe devront être effectués par un conseiller en lutte antiparasitaire.

Pour l'inspection du sol, il faudra remplir et signer un formulaire *Inspection du sol – Rapport d'évaluation parasitaire*, qui se trouve dans le Répertoire central des formulaires de l'Ontario à l'adresse ontario.ca/formulaires.

Mise en œuvre graduelle de l'exigence liée au conseiller en lutte antiparasitaire – Inspection du sol

Le formulaire *Inspection du sol – Rapport d'évaluation parasitaire* doit être rempli chaque année. On peut l'utiliser pour l'achat et l'utilisation de pesticides de catégorie 12 en tout temps au cours des 12 mois suivant la date de l'inspection pour la ou les zones d'application définies dans le formulaire. L'exigence selon laquelle un conseiller en lutte

antiparasitaire doit effectuer l'évaluation parasitaire du sol est actuellement mise en œuvre graduellement, sur une base géographique. Voir le tableau *Annexe G-1* pour le calendrier de mise en œuvre.

Une fois l'exigence mise en œuvre, un conseiller en lutte antiparasitaire devra faire ou superviser l'évaluation et préparer un rapport au moins tous les trois ans. Les producteurs qui possèdent un certificat pour la formation sur la lutte antiparasitaire intégrée peuvent continuer de mener des évaluations parasitaires les années où le recours à un professionnel n'est pas encore obligatoire.

Les producteurs doivent consulter le tableau ci-dessous pour savoir quand l'exigence de recourir à un conseiller en lutte antiparasitaire sera en vigueur dans leur comté ou région.

Ce tableau présente la date de mise en œuvre à partir de laquelle un conseiller en lutte antiparasitaire doit réaliser ou superviser l'inspection du sol dans les différentes régions de l'Ontario. Chacune de ces dates correspond à une annexe de la réglementation. Après la date de mise en œuvre, un conseiller en lutte antiparasitaire doit inspecter le sol au moins tous les trois ans.

Tableau Annexe G-1 – Mise en œuvre graduelle de l'exigence liée au conseiller en lutte antiparasitaire

Date	Annexe	Comtés ou régions
31 août 2017	Annexe 1	Dufferin, Frontenac, Halton, Lambton, Middlesex, Muskoka, Prince Edward, Stormont, Dundas, Glengarry, Toronto, Wellington
31 août 2018	Annexe 2	Bruce, Elgin, Grey, Haldimand, Hamilton, Huron, Nipissing, Norfolk, Ottawa, Oxford, Peel, Sudbury, Waterloo
31 août 2019	Annexe 3	Algoma, Brant, Chatham-Kent, Cochrane, Durham, Essex, Haliburton, Hastings, Kawartha Lakes, Kenora, Lanark, Leeds et Grenville, Lennox and Addington, Manitoulin, Niagara, Northumberland, Parry Sound, Perth, Peterborough, Prescott et Russell, Rainy River, Renfrew, Simcoe, Thunder Bay, Témiscamingue, York

Inspection des cultures

Cette méthode permet de déterminer si le pourcentage de pertes causées par certains ravageurs est :

- d'au moins 15 % dans une culture de maïs (ver fil-de-fer, asticots, mouche des légumineuses ou chrysomèle des racines du maïs);
- d'au moins 30 % dans une culture de soya (ver fil-de-fer, asticots, mouche des légumineuses ou chrysomèle du haricot).

Les producteurs qui croient que leurs cultures ont été endommagées par des ravageurs peuvent décider de demander une évaluation des dommages. Ils devront alors faire appel à un conseiller en lutte antiparasitaire, car cette évaluation nécessite des connaissances spécialisées sur les ravageurs et les dommages faits aux cultures.

Dans le cas d'une évaluation parasitaire ciblant les dommages faits aux cultures, un conseiller en lutte antiparasitaire doit remplir et signer un formulaire

Appendix G – Réglementation des néonicotinoïdes en Ontario (suite)

Inspection des cultures – Rapport d'évaluation parasitaire, qui se trouve dans le Répertoire central des formulaires de l'Ontario à l'adresse ontario.ca/formulaires.

Envoi d'un rapport d'évaluation parasitaire dûment rempli

Les producteurs doivent fournir le rapport d'évaluation parasitaire dûment rempli au fournisseur ou au représentant commercial en semences traitées auprès duquel ils se sont procuré des semences traitées aux néonicotinoïdes, ou à un entrepreneur en traitement des semences pour faire traiter des semences aux néonicotinoïdes. Ils doivent en outre conserver une copie du rapport à leur exploitation agricole pendant au moins deux ans.

Le fournisseur ou l'entrepreneur en traitement des semences soumettra ensuite le rapport au ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario.

Pour en savoir plus :

Centre d'information du ministère de l'Environnement et de l'Action en matière de changement climatique
Tél. : 416 325-4000 (sans frais : 1 800 565-4923)
Courriel : picemail.moe@ontario.ca

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario
Tél. : 1 877 424-1300 (ATS : 1 855 696-2811)
Courriel : ag.info.omafra@ontario.ca

Annexe H – Calculs afférents à la détermination du seuil de nuisibilité économique de la pyrale du maïs

On peut utiliser les calculs ci-dessous pour déterminer s'il est rentable de pulvériser un insecticide sur une culture non transgénique. Voir la section *Pyrale du maïs*.

Souches univoltines (dans les régions où il n'y a qu'une génération de la pyrale du maïs par année)

- A. % de plants criblés _____ = Nombre de plants ayant des criblures ÷ total des plants inspectés
Dérouler un plant criblé provenant de chaque emplacement et chercher des larves.
- B. Nombre de larves par plant _____ = Nombre de larves vivantes par plant déroulé x (A) % de plants ayant des piqûres ÷ 100
Exemple : 25 plants ayant des criblures et 1,5 larve par plant déroulé
Le nombre de larves par plant est de 0,38 = $1,5 \times 25 \div 100$
On évalue à 5 % la perte de rendement pour chaque larve vivante trouvée¹. Par conséquent :
- C. Perte de rendement possible en % _____ = (B) x 5 ÷ 100
- D. Perte possible en \$ _____ = (C) Perte de rendement possible en % x rendement prévu en t/ha (bo/ac) x valeur en \$/t (\$/bo)
- On estime à 75 % l'efficacité du traitement persicide¹. Par conséquent :
- E. Perte évitable en \$ _____ = (D) Perte possible en \$ x % efficacité du traitement pesticide
- F. Coût du traitement _____ = Prix du pesticide + coût de l'application
- G. Gain (+) ou perte (-) résultant du traitement _____ = (E) – (F)

¹ On peut utiliser une autre valeur estimative au besoin.

Souches bivoltines (dans les régions où il y a deux générations de la pyrale du maïs par année)

- A. Nombre de larves par plant (comptages cumulatifs effectués à 7 jours d'intervalle) _____ = nombre de masses d'œufs/plant x 2 pyrales/masse d'œufs (On présuppose un taux de survie de deux larves par masse d'œufs; ce taux peut varier selon les conditions météorologiques et la taille des masses d'œufs.)
- B. Perte de rendement en % _____ = (A) Nombre de larves/plant x perte de rendement de 4 % par larve/plant (On doit utiliser une perte de 3 % par larve par plant si l'infestation se produit une fois que les soies ont brunî. Les avantages économiques des traitements risquent de baisser rapidement si les infestations surviennent après que le maïs a atteint le stade du gonflement.)
- C. Perte de rendement en t/ha (bo/ac) _____ = Perte de rendement en % x rendement prévu en t/ha (bo/ac)
- D. Perte en \$/ha (ac) _____ = (C) Perte de rendement en t/ha (bo/ac) x prix prévu en \$/t (\$/bo)
- E. Perte évitable par ha (ac) _____ = (D) Perte en \$/ha (ac) x efficacité de 75 % (Ce pourcentage est une moyenne; on peut utiliser une autre valeur estimative au besoin.)
- F. Coût du traitement _____ = Prix du pesticide + coût de l'application
- G. Gain (+) ou perte (-) résultant du traitement _____ = (E) – (F)

Annexe I – Autres ressources

Université de Guelph**Campus principal**

Guelph (Ontario) N1G 2W1

Tél. : 519 824-4120

www.uoguelph.ca**Campus de Ridgeway**

Ridgeway (Ontario) NOP 2C0

Tél. : 519 674-1500

www.ridgetownc.uoguelph.ca**Département de phytotechnie**www.plant.uoguelph.ca**Département de phytotechnie, Université de Guelph**

50 Stone Road West

Guelph (Ontario) N1G 2W1

Tél. : 519 824-4120, poste 56083

Département de phytotechnie, Simcoe

1283, Blue Line Road, C.P. 587

Simcoe (Ontario) N3Y 4N5

Tél. : 519 426-7127

Département de phytotechnie, Vineland

4890, avenue Victoria Nord, C.P. 7000

Vineland Station (Ontario) LOR 2E0

Tél. : 905 562-4141

Télec. : 905 562-3413

Vineland Research and Innovation Centre

4902, avenue Victoria Nord

Vineland Station (Ontario) LOR 2E0

Tél. : 905 562-0320

Télec. : 905 562-0084

www.vinelandontario.ca**Services de laboratoire**www.uoguelph.ca/labserv**Laboratoire d'analyse des résidus de pesticides et oligo-éléments**

95 Stone Road West

Guelph (Ontario) N1H 8J7

Tél. : 519 823-1268

Clinique de diagnostic phytosanitaire

95 Stone Road West

Guelph (Ontario) N1H 8J7

Tél. : 519 767-6256

Centres de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada**Centre de recherches de l'Est sur les céréales et les oléagineux**

960, avenue Carling

Ottawa (Ontario) K1A 0C6

Tél. : 613 759-1952

www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation**Centre de recherche et de développement de Harrow**

2585 County Road 50

Harrow (Ontario) NOR 1G0

Tél. : 519 738-2251

Centre de recherches du Sud sur la phytoprotection et les aliments

1391, rue Sandford

London (Ontario) N5V 4T3

Tél. : 519 457-1470

Ferme expérimentale de Vineland

4902, avenue Victoria Nord

Vineland (Ontario) LOR 2E0

Tél. : 905 562-4113

Agence canadienne d'inspection des alimentswww.inspection.gc.ca**Bureaux régionaux (phytoprotection)****Belleville**

345, rue College Est

Belleville (Ontario) K8N 5S7

Tél. : 613 969-3333

Hamilton

709, rue Main Ouest, bureau 101

Hamilton (Ontario) L8S 1A2

Tél. : 905 572-2201

London

1200 Commissioners Road East, Unit 19

London (Ontario) N6A 3E3

Tél. : 519 691-1306

Niagara Falls

350, rue Ontario, bureau 13

C.P. 9

St Catharines (Ontario) N2R 5L8

Brantford

Édifice fédéral, angle des rues Dalhousie et Queen

C.P. 637

Brantford (Ontario) N3T 5P9

District d'Ottawa

3 Observatory Crescent, building 3

Ferme expérimentale, Ottawa (Ontario) K1A 0C9

Tél. : 613 274-7374, poste 221

Bureau de Toronto

1124, avenue Finch Ouest, bureau 2

Downsview (Ontario) M3J 2C6

Tél. : 416 665-5055

Windsor

2000, avenue Continental

Windsor (Ontario) N9E 3P1

Tél. : 519 969-2522

Annexe J – Longueur de rang équivalent à un millième d'acre

Écartement des rangs	Longueur de rang équivalent à 1/1 000 d'acre^{1, 2}
18 cm (7 po)	22,8 m (74 pi 8 po)
38 cm (15 po)	10,62 m (34 pi 10 po)
51 cm (20 po)	7,97 m (26 pi 2 po)
56 cm (22 po)	7,24 m (23 pi 9 po)
71 cm (28 po)	5,69 m (18 pi 8 po)
76 cm (30 po)	5,31 m (17 pi 5 po)
91 cm (36 po)	4,43 m (14 pi 6 po)

¹ Pour calculer le nombre de plants sur un millième d'hectare, multiplier le nombre de plants dans une longueur de rang par 2,47.

² Multiplier le nombre de plants dans la longueur de rang par 1 000 pour déterminer le nombre de plants par acre.

Annexe K – Détermination de la densité de peuplement de la culture et des populations d'ennemis à l'aide d'un cadre

Compter le nombre de plants qui se trouvent à l'intérieur du cerceau ou du cadre carré et le multiplier par le facteur indiqué pour obtenir la densité de peuplement par hectare ou par acre.

Dimensions intérieures	Superficie	Facteur par lequel multiplier le nombre de plants à l'intérieur du cerceau pour obtenir le :	
		N ^{bre} de plants par hectare	N ^{bre} de plants par acre
Cerceau			
91 cm (36 po)	0,66 m ² (7,1 pi ²)	15 228	6 162
84 cm (33 po)	0,55 m ² (5,9 pi ²)	18 122	7 334
76 cm (30 po)	0,46 m ² (4,9 pi ²)	21 928	8 874
71,8 cm (28,25 po)	0,37 m ² (4,36 pi ²)	24 711	10 000
61 cm (24 po)	0,29 m ² (3,1 pi ²)	34 263	13 866
Cadre carré			
63,6 x 63,6 cm (25 x 25 po)	0,405 m ² (4,36 pi ²)	24 712	10 000
100 x 100 cm (40 x 40 po)	1,00 m ² (11,1 pi ²)	10 000	3 920

Annexe L – Teneurs en eau, poids spécifiques et taux de semis des semences de céréales commerciales

Culture	Taux de semis	Poids des semences¹	Teneur en eau
Blé d'automne et de printemps	100 à 130 kg/ha	74,8 kg/hl (60 lb/bo) (365 g/0,5 l)	14,0 %
Avoine	60 à 110 kg/ha	42,4 kg/hl (34 lb/bo) (192 g/0,5 l)	13,5 %
Orge d'automne et de printemps	80 à 160 kg/ha	59,9 kg/hl (48 lb/bo) (288 g/0,5 l)	14,8 %
Seigle	70 à 95 kg/ha	69,9 kg/hl (56 lb/bo) (339 g/0,5 l)	14,0 %
Triticale	75 à 100 kg/ha	65 kg/hl (52 lb/bo)	—
Maïs de grande culture	11 à 22 kg/ha	69,9 kg/hl (56 lb/bo) (353 g/0,5 l)	15,5 %
Haricots blancs (rangs de 70 cm)	40 à 45 kg/ha	75 kg/hl (60 lb/bo)	—
Soya	65 à 155 kg/ha	74,8 kg/hl (60 lb/bo) (382 g/0,5 l)	13,0 %
Pois des champs	130 à 200 kg/ha	75 kg/hl (60 lb/bo)	—
Sarrasin	55 kg/ha	59,8 kg/hl (48 lb/bo) (294 g/0,5 l)	45,6 %
Lin	40 kg/ha	69,9 kg/hl (56 lb/bo) (331 g/0,5 l)	10,0 %
Canola de printemps et d'automne	45 kg/ha	62 kg/hl (50 lb/bo)	10,5 %
Millet commun	40 kg/ha	70 kg/hl (56 lb/bo)	—
Tournesol oléagineux	4 kg/ha	33,6 kg/hl (27 lb/bo) (162 g/0,5 l)	9,5 %
Tournesol rayé (de confiserie)	6 kg/ha	39,9 kg/hl (24 lb/bo) (149 g/0,5 l)	9,5 %
Moutarde blanche	8 à 11 kg/ha	70 kg/hl (56 lb/bo)	—
Sorgho herbacé	14 kg/ha	50 kg/hl (40 lb/bo)	—
Sorgho	14 kg/ha	70 kg/hl (56 lb/bo)	—
Alpiste annuel	35 kg/ha	62 kg/hl (50 lb/bo)	—
Lupin	150 à 180 kg/ha	75 kg/hl (60 lb/bo)	—

Source : Commission canadienne des grains

¹ Les poids par boisseau indiqués dans ce tableau sont les mêmes que ceux qu'utilise le département de l'Agriculture des États-Unis (USDA).

— = aucune donnée disponible

Annexe M – Le Système international d'unités (système métrique)**Unités métriques****Longueur**

10 millimètres (mm) = 1 centimètre (cm)

100 centimètres (cm) = 1 mètre (m)

1 000 mètres = 1 kilomètre (km)

Superficie100 m × 100 m = 10 000 m² = 1 hectare (ha)100 ha = 1 kilomètre carré (km²)**Volume****Solides**1 000 millimètres cubes (mm³) = 1 centimètre cube (cm³)1 000 000 cm³ = 1 mètre cube (m³)**Liquides**

1 000 millilitres (ml) = 1 litre (l)

100 l = 1 hectolitre (hl)

Équivalences poids-volume (pour l'eau)

(1,00 kg) 1 000 grammes = 1 litre (1,00 l)

(0,50 kg) 500 g = 500 ml (0,50 l)

(0,10 kg) 100 g = 100 ml (0,10 l)

(0,01 kg) 10 g = 10 ml (0,01 l)

(0,001 kg) 1 g = 1 ml (0,001 l)

Poids

1 000 milligrammes (mg) = 1 gramme (g)

1 000 g = 1 kilogramme (kg)

1 000 kg = 1 tonne (t)

1 mg/kg = 1 partie par million (ppm)

Équivalences solides-liquides1 cm³ = 1 ml1 m³ = 1 000 l**Conversion de petits volumes (approximation)**

5 ml = 1 cuillère à thé

15 ml = 1 cuillère à soupe

28,5 ml = 1 once liquide

Conversion des doses d'épandage**Du système métrique au système impérial ou américain (approximation)**

Litres par hectare × 0,09 = gallons impériaux par acre

Litres par hectare × 0,11 = gallons américains par acre

Litres par hectare × 0,36 = pintes impériales par acre

Litres par hectare × 0,43 = pintes américaines par acre

Litres par hectare × 0,71 = chopines impériales par acre

Litres par hectare × 0,86 = chopines américaines par acre

Millilitres par hectare × 0,014 = onces liquides américaines par acre

Grammes par hectare × 0,015 = onces par acre

Kilogrammes par hectare × 0,89 = livres par acre

Tonnes par hectare × 0,45 = tonnes courtes par acre

Du système impérial ou américain au système métrique (approximation)

Gallons impériaux par acre × 11,23 = litres par hectare (l/ha)

Gallons américains par acre × 9,35 = litres par hectare (l/ha)

Pintes impériales par acre × 2,8 = litres par hectare (l/ha)

Pintes américaines par acre × 2,34 = litres par hectare (l/ha)

Chopines impériales par acre × 1,4 = litres par hectare (l/ha)

Chopines américaines par acre × 1,17 = litres par hectare (l/ha)

Onces liquides impériales par acre × 70 = millilitres par hectare (ml/ha)

Onces liquides américaines par acre × 73 = millilitres par hectare (ml/ha)

Tonnes courtes par acre × 2,24 = tonnes par hectare (t/ha)

Livres par acre × 1,12 = kilogrammes par hectare (kg/ha)

Livres par acre × 0,45 = kilogrammes par acre (kg/ac)

Onces par acre × 70 = grammes par hectare (g/ha)

Facteur de conversion pratique (approximation)

Litres par hectare × 0,4 = litres par acre

Kilogrammes par hectare × 0,4 = kilogrammes par acre

Appendix M – Le Système international d'unités (système métrique) (suite)

Conversion de poids sec (approximation)

Unités métriques / unités impériales

Grammes ou kilogrammes/hectare / onces ou livres/acre

100 g/ha = 1,5 oz/ac

200 g/ha = 3 oz/ac

300 g/ha = 4,25 oz/ac

500 g/ha = 7 oz/ac

700 g/ha = 10 oz/ac

1,10 kg/ha = 1 lb/ac

1,50 kg/ha = 1,25 lb/ac

2,00 kg/ha = 1,75 lb/ac

2,50 kg/ha = 2,25 lb/ac

3,25 kg/ha = 3 lb/ac

4,00 kg/ha = 3,5 lb/ac

5,00 kg/ha = 4,5 lb/ac

6,00 kg/ha = 5,25 lb/ac

7,50 kg/ha = 6,75 lb/ac

9,00 kg/ha = 8 lb/ac

11,00 kg/ha = 10 lb/ac

13,00 kg/ha = 11,5 lb/ac

15,00 kg/ha = 13,5 lb/ac

Tables de conversion – Unités métriques à impériales (approximation)

Longueur

1 millimètre (mm) = 0,04 pouce

1 centimètre (cm) = 0,40 pouce

1 mètre (m) = 39,40 pouces

1 mètre (m) = 3,28 pieds

1 mètre (m) = 1,09 verge

1 kilomètre (km) = 0,62 mille

Superficie

1 centimètre carré (cm²) = 0,16 pouce carré

1 mètre carré (m²) = 10,77 pieds carrés

1 mètre carré (m²) = 1,20 verge carrée

1 kilomètre carré (km²) = 0,39 mille carré

1 hectare (ha) = 107 636 pieds carrés

1 hectare (ha) = 2,5 acres

Volume (solides)

1 centimètre cube (cm³) = 0,061 pouce cube

1 mètre cube (m³) = 1,31 verge cube

1 mètre cube (m³) = 35,31 pieds carrés

1 000 mètres cubes (m³) = 0,81 acre-pied

1 hectolitre (hl) = 2,8 boisseaux

Volume (liquides)

1 millilitre (ml) = 0,035 once liquide (impériale)

1 litre (l) = 1,76 chopine (impériale)

1 litre (l) = 0,88 pinte (impériale)

1 litre (l) = 0,22 gallon (impérial)

1 litre (l) = 0,26 gallon (américain)

Poids

1 gramme (g) = 0,035 once

1 kilogramme (kg) = 2,21 livres

1 tonne (t) = 1,10 tonne courte

1 tonne (t) = 2 205 livres

Pression

1 kilopascal (kPa) = 0,15 livre/po²

Vitesse

1 mètre par seconde = 3,28 pieds par seconde

1 mètre par seconde = 2,24 milles à l'heure

1 kilomètre à l'heure = 0,62 mille à l'heure

Température

°F = (°C × 1,8) + 32

Tables de conversion – Unités impériales à métriques (approximation)

Longueur

1 pouce = 2,54 cm

1 pied = 0,30 m

1 verge = 0,91 m

1 mille = 1,61 km

Superficie

1 pied carré = 0,09 m²

1 verge carrée = 0,84 m²

1 acre = 0,40 ha

Volume (solides)

1 verge cube = 0,76 m³

1 boisseau = 36,37 l

Volume (liquides)

1 once liquide (impériale) = 28,41 ml

1 chopine (impériale) = 0,57 l

1 gallon (impérial) = 4,55 l

1 gallon (américain) = 3,79 l

Poids

1 once = 28,35 g

1 livre = 453,6 g

1 tonne courte = 0,91 t

Pression

1 livre par pouce carré = 6,90 kPa

Température

°C = (°F – 32) × 1,8

Appendix M – Le Système international d’unités (système métrique) (suite)**Abréviations**

%	= pour cent	l	= litre
cm	= centimètre	m	= mètre
cm ²	= centimètre carré	m/s	= mètres par seconde
g	= gramme	m ³	= mètre cube
ha	= hectare	ml	= millilitre
kg	= kilogramme	mm	= millimètre
km/h	= kilomètres à l'heure	p. ex.	= par exemple
kPa	= kilopascal	t	= tonne

Conversions relatives aux engrais

$$K_2O \times 0,83 = \text{Potassium (élémentaire)}$$

$$P_2O_5 \times 0,44 = \text{Phosphore (élémentaire)}$$

$$\text{Phosphore (P)} \times 2,29 = P_2O_5$$

$$\text{Potasse (K}_2\text{O)} \times 0,83 = \text{Potassium (K)}$$

$$\text{Potassium (K)} \times 1,2 = \text{Potasse (K}_2\text{O)}$$

Exploitation agricole : _____ Dépisteuse : _____ Date : _____ Heure : _____
 Champ : _____ Superficie : _____ Culture : _____ Densité de peuplement : _____

[illegible]

Insectes	Stade	Pression ou densité

[illegible]

Appendix N – Rapport de dépistage (suite)

Carte du champ : Il faut utiliser l'espace vide ci-dessous pour dessiner approximativement l'emplacement des plaques de mauvaises herbes, d'insectes et de maladies et montrer l'état de la culture, avec les coordonnées GPS connexes.

Commentaires du dépisteur : _____

Mesure recommandée : _____

Annexe O – Services de diagnostic

Les échantillons destinés au diagnostic de maladies, à l'identification d'insectes ou de mauvaises herbes, ou au dépistage de nématodes ou du champignon *Vorticillium* peuvent être expédiés à la :

Pest Diagnostic Clinic
Laboratory Services
Université de Guelph
95 Stone Road West
Guelph (Ontario) N1H 8J7

Tél. : 519 767-6256
Télec. : 519 767-6240
pdclsd@uoguelph.ca

Les échantillons doivent être accompagnés du paiement. Les formulaires d'envoi sont disponibles à l'adresse suivante : www.labservices.uoguelph.ca/units/pdc/.

Grille de tarifs

Pour des renseignements sur les tarifs exigés, consulter la page www.labservices.uoguelph.ca/units/pdc/ ou téléphoner à la Pest Diagnostic Clinic.

Comment prélever les échantillons destinés au dépistage de nématodes

Sol

Moment de l'échantillonnage

Les échantillons de sol et de racines peuvent être prélevés en tout temps, lorsque le sol n'est pas gelé. En Ontario, les populations de nématodes dans le sol atteignent généralement un pic en mai et en juin, puis de nouveau en septembre et en octobre.

Mode de prélèvement

On doit prélever les échantillons à l'aide d'un tube de prélèvement, d'un transplantoir ou d'une pelle à lame étroite. Il faut échantillonner le sol à une profondeur de 20 à 25 cm (8 à 10 po). Si le sol est dénudé, on doit enlever les deux premiers centimètres (1 po) de terre avant de prélever les échantillons. Un échantillon doit réunir au moins 10 sous-échantillons, que l'on mélange bien et dont on ne conserve que 0,5 à 1 l (1 chopine à 1 pinte). Aucun échantillon ne doit représenter plus de 2,5 ha (6,25 ac). Les sous-échantillons doivent être mélangés dans un seau ou un sac de plastique propre.

Schéma d'échantillonnage

Si la zone de prélèvement contient des plantes cultivées vivantes, il faut faire les prélèvements dans le rang au niveau de la zone des poils absorbants (pour les arbres, au pourtour de l'arbre à l'aplomb de la ramure).

Nombre de sous-échantillons

Selon la superficie totale échantillonnée :

500 m ² (5 400 pi ²)	10 sous-échantillons
500 m ² à 0,5 ha (5 400 pi ² à 1,25 ac)	25 sous-échantillons
0,5 à 2,5 ha (1,25 à 6,25 ac)	50 sous-échantillons

Racines

Pour les petites plantes, il faut échantillonner tout le système racinaire plus le sol qui y adhère. Dans le cas de grosses plantes, on doit prélever 10 à 20 g (au maximum 1 oz) en poids frais dans la zone des poils absorbants.

Zones problématiques

On doit prélever des échantillons de sol et de racines en périphérie de la zone problématique, là où les plants sont encore vivants. Dans la mesure du possible, il faut prélever aussi dans le même champ des échantillons provenant de zones saines. On doit soumettre si possible des échantillons de racines et de sol provenant à la fois des zones problématiques et des zones saines dans le même champ.

Manipulation des échantillons

Échantillons de sol

Il faut les placer dans des sacs de plastique dès que possible après le prélèvement.

Échantillons de racines

On doit les placer dans des sacs de plastique et les recouvrir de sol humide prélevé au même endroit.

Entreposage

Il faut entreposer les échantillons à une température de 5 à 10 °C et éviter de les exposer aux rayons du soleil ou à des températures extrêmement chaudes ou froides (congélation). Seuls les nématodes vivants peuvent être comptés. Pour que le dénombrement soit exact, il faut manipuler les échantillons correctement.

Plantes présentées pour identification de maladie ou diagnostic

Formulaires de demande d'analyse

Les formulaires de demande sont disponibles dans les bureaux régionaux du MAAARO. Il faut bien remplir chacune des sections du formulaire. Dans l'espace prévu à cet effet, on doit dessiner les signes les plus évidents et les caractéristiques de la maladie présente dans le champ. Il est important d'indiquer les cultures qui ont occupé cette zone pendant les trois dernières années et les pesticides qui ont été employés au cours de la présente année.

Il faut choisir un échantillon complet et représentatif montrant les signes initiaux. On doit présenter un échantillon aussi complet que possible de la plante, y compris le système racinaire ou plusieurs plants montrant différents signes. Si les signes sont généraux, il faut prélever l'échantillon dans une zone où les dommages sont intermédiaires. Les matières complètement mortes sont habituellement inutiles à des fins de diagnostic.

Les spécimens de plantes présentés à des fins d'identification devraient comporter une portion d'au moins 20 à 25 cm (8 à 10 po) de la partie supérieure de la tige et des bourgeons latéraux, des feuilles, des fleurs ou des fruits dans un état qui permet de les identifier. On doit envelopper les plants dans du papier journal et les mettre dans un sac de plastique. Il faut placer le système racinaire dans un sac de plastique distinct, bien attaché, pour éviter le dessèchement et la contamination des feuilles par le sol. On ne doit pas ajouter d'eau, car cela favorise la décomposition durant le transport. Il faut entourer les spécimens de rembourrage et les emballer dans une boîte rigide pour éviter les dommages durant le transport. On doit éviter de laisser des spécimens exposés à des températures extrêmes dans un véhicule (pour ne pas qu'ils chauffent ou gèlent) ou dans un endroit où ils pourraient se détériorer.

Appendix O – Services de diagnostic (suite)***Envoi des échantillons***

Il faut expédier les échantillons le plus tôt possible, en début de semaine, par courrier de première classe ou par messagerie, à la Pest Diagnostic Clinic.

Spécimens d'insectes présentés pour identification***Prélèvement des échantillons***

Il faut placer les cadavres d'insectes à corps dur dans des éprouvettes ou des boîtes en prenant soin d'entourer celles-ci d'essuie-tout ou de ouate. Dans le cas des insectes à corps mou et des chenilles, on doit les placer dans des éprouvettes contenant de l'alcool. Il ne faut pas utiliser d'eau, car elle ferait pourrir le spécimen. Pour l'expédition, il ne faut pas fixer les insectes sur du papier au moyen de ruban gommé ni les laisser libres dans une enveloppe.

On doit placer les insectes vivants dans un contenant renfermant suffisamment de végétaux pour les nourrir pendant le transport. Il faut s'assurer d'inscrire la mention « vivant » sur le contenant.

Index

A

absorption ou prélèvement des éléments nutritifs 275, 276
aération des cellules de stockage 306
ajout de matière organique (résidus) 236
ajustement des directives relatives aux engrais 262
ajustement des engrais après l'enfouissement de légumineuses 262
ajustement des engrais après l'épandage de fumier 263
alpiste roseau 78, 81
altise à tête rouge 379 Photo : 379
altise des crucifères 404 Photo : 404
altise du maïs 357 Photo : 357
altise rayée 404 Photo : 404
analyse de la fermentation (ensilage) 114
analyse des tissus végétaux 35, 67, 99, 153, 172, 192
anthracnose 439, 458 Photo : 459
anthracnose (maladie foliaire) 413
anthracnose du trèfle rouge 439
application à taux variable 300 Photo : 303
application d'azote, moment (céréales) 148
asticots 343-347 Photo : 343, 345, 346, 347
avoine de meunerie 130
avoine 130
 maladies 455
 nématode à kyste 455
 rouille des feuilles 455
azote 23-29, 63, 96, 144-149, 170, 189
 atténuation des risques 278
 carence 23 Photo : 23
 engrais 281, 284-286
 feuille de calcul des doses d'azote pour le maïs (unités impériales) 466-467
 feuille de calcul des doses d'azote pour le maïs (unités métriques) 27

B

biosolides 235
biotechnologie 51, 132
blé (vitreux) roux d'automne 145
blé de meunerie 98
blé de printemps 131, 138, 144
blé destiné au bétail 131
blé infecté par la carie 156

bore 98, 154, 173, 192, 262
 carence 98, 154, 173, 192 Photo : 99
brassicacées fourragères : colza, chou, navet 89, 229, 230
brome des prés 78, 80
brome inerme 78, 80
brûlure bactérienne 433, 457 Photo : 433, 457, 458
brûlure bactérienne commune (haricots secs comestibles) 457
brûlure des plantules 441, 442
brûlure des plantules (Pythium), fonte des semis 412, 422, 423, 436, 460
brûlure des plantules 412, 422, 423, 436, 461
brûlure phomopsienne 435
brûlures par le soleil 178 Photo : 178

C

calcium 260
calcul des besoins en engrais 287
calculs afférents à la détermination du seuil de nuisibilité économique de la pyrale du maïs 474
calendrier de dépistage des ennemis 39, 73, 117, 160, 177, 195
calibrage du matériel d'épandage du fumier 280
caméline 203
canola d'automne
 épandage d'azote à l'automne 189
 épandage d'azote au printemps 189
 semis 182
canola de printemps 181, 189
canola
 andainage 193
 choix des cultivars 180
 croissance de la culture 187
 doses maximales sûres pour l'épandage d'éléments nutritifs 191
 maladies 461
 moissonnage-battage 193
 ravageurs 403
 récolte par coupe directe 192
 stades de croissance 187
 taux de semis 183
carie commune (blé) 453
carie naine 156, 453
cécidomyie du chou-fleur 405-406 Photo : 405
cercosporiose 434, 435 Photo : 434, 435
céréales d'automne 85, 131, 229

céréales de printemps 85, 89, 128-131, 135, 138, 145, 149, 152

céréales

- classes 128
- croissance 132, 133
- espèces 85, 89, 228, 229
- fongicides 141
- infectés par *Fusarium* 155
- maladies 441
- ravageurs 391
- régulateurs de croissance 140
- reprise des semis 136
- semis précoces 134
- semis sur sol gelé 124
- taux de semis 137
- tolérance à la germination sur pied 126
- travail du sol 123, 124

chancre des tiges 429 Photo : 429

chanvre 206-209

charançon de la graine du chou 407 Photo : 408

charançon du blé 309 Photo : 312

charbon 417, 451, 452 Photo : 417, 451

chaulage 100, 255-258

choix des cultivars vii, 48, 83, 126, 165, 180, 200, 204, 209, 213

choix des hybrides 9

- « chevaux de trait » et « chevaux de course » 12
- au rendement le plus élevé 11
- destinés à l'ensilage 13
- et poids spécifique 14
- et récolte 14
- passage à des hybrides à cycle plus court 13
- pour la résistance à la verse 12

chrysomèle des racines du maïs 363
Photo : 363, 364

chrysomèle du haricot 375 Photo : 375, 376

cicadelle de la pomme de terre 388, 398 Photo : 389

coccinelle mexicaine des haricots 399 Photo : 399

coccinelle 335, 374 Photo : 336, 374

comment créer un sol sain 222

compactage, compaction 9, 176, 238
Photo : 176, 240

compactage, prévention 239

complexe de la pourriture des racines 456, 461
Photo : 456

complexe des maladies des plantules 456, 461
Photo : 456

complexe des pucerons des céréales 392

compost 234

concurrence de la culture aux mauvaises herbes 317

conservation du foin à l'aide de propionate 106

couleur du hile 50

couvrir hermétiquement les silos 112 Photo : 112

criocère des céréales 394 Photo : 394

croissance des plants 63, 169, 187 Photo : 188

cucujide roux 309 Photo : 312

cuivre 154, 261

culture-abri

- récoltée sous forme de grains 94
- récoltée sous forme d'ensilage 93
- semis direct 93

cultures couvre-sol v, 226-231

D

dactyle pelotonné 78, 81, 84

débit d'air (détermination) 70, 158

déchaussement par le gel / dommages causés par le gel (voir aussi dommages causés par le froid 40, 74, 120, 161, 175, 194 Photo : 161, 195

décisions concernant la reprise des semis 22, 61, 136, 169, 186

degrés-jours de croissance (DJ) 132, 133, 295

degrés-jours de croissance et unités thermiques de croissance 295

densité de peuplement (maïs) 15

dépistage, moment opportun 289

dessèchement 414 Photo : 414

destruction hivernale, destruction par l'hiver 116, 159, 197 Photo : 120, 121

détermination de la densité de peuplement 293, 476

dicotylédones légumineuses 77, 229

dicotylédones non légumineuses 89, 230

diminution du pH du sol 258

directives relatives aux engrais 255

dommages causés par l'ozone 178 Photo : 178

dommages causés par la foudre 74 Photo : 75

dommages causés par la grêle 41, 72, 175, 195, 208 Photo : 41, 72

dommages causés par le froid 40, 74, 161
Photo : 40, 161

dommages causés par les oiseaux 43 Photo : 43

dommages ou lésions causées par les herbicides 320-332 Photo : 322-332

données géoréférencées (et échantillonnage dirigé) 251

doses maximales sûres d'éléments fertilisants 32, 285-286 Photo : 32

doses sûres des éléments nutritifs dans les engrais 285

E

écartement des plants (vides) 20, 61

écartement des rangs 22, 56, 139, 168

- rang rapprochés 22

échantillonnage (tissus végétaux) 255

échantillonnage de l'azote des nitrates avant l'épandage en bandes latérales,

moment opportun 24, 147
 échantillonnage pour identification
 ou diagnostic 291, 292, 483
 échelle de Zadok 134
 éléments nutritifs
 évaluation des besoins 249
 énergie digestible (ensilage) 101
 engrais foliaires 286
 engrais phosphatés 284
 engrais potassiques 285
 engrais vert 199, 200
 engrais
 calcul des besoins en engrais 284
 densités des engrais liquides 283
 matériel 281, 282
 mise en place (maïs) 8
 toxicité 283
 ennemis naturels (insectes utiles) 334
 agents pathogènes 338
 bactéries 339
 champignons 338 Photo : 339
 nématodes 339
 prédateurs 335-338 Photo : 335, 336
 vertébrés 337
 virus 339 Photo : 339
 ensilage préfané et ensilage 89, 93, 103, 108-114
 ensilage
 analyse de la fermentation 114
 détérioration (réduction) 112
 échauffement 111
 fermentation 110
 gestion de la récolte 109
 inoculants (bactéries) 112
 inoculants 112
 modes d'entreposage 109
 pertes liées à l'entreposage 110
 problèmes et causes 113
 type de silos 111
 entreposage des grains dans des cellules 305
 entreposer des grains propres et secs 308
 épandage de matières organiques 233-236,
 266-277
 équations prédictives de la qualité de la luzerne
 (ÉPQL) 102
 ergot 454
 érosion (du sol) 237-238
 causée par le travail du sol 238
 éolienne 238
 hydrique 238
 érosion éolienne 238
 étouffement des semences 185
 évaluation de la santé du sol 239-243
 évaluation des risques liés au phosphore 278

F

fer et molybdène 262
 fertilisation au moment du semis 31
 fertilisation foliaire 35, 68, 153, 172
 Festulolium 82
 fétuque des prés 78, 81, 91
 fétuque élevée 78, 81
 fétuque rouge traçante 81
 filets fauchoirs 293
 fléole 80, 84
 flétrissement bactérien 440
 foin
 agents de conservation 106
 altération 104
 échauffement 105
 entreposage 107
 pertes à l'affouragement 107
 pertes à la récolte 104
 pertes liées à l'entreposage 105
 pour les chevaux 107
 respiration 104
 séchoirs de grange 104
 taille et poids des balles 106
 fongicides et régulateurs de croissance
 (céréales) 140
 fongicides, moment de l'application 38, 142, 143,
 334, 411
 fonte des semis (brûlure des plantules) 436
 Photo : 437
 fourrage
 choix des espèces 82
 coupe et conditionnement 103
 destruction hivernale 116, 121
 Photo : 120, 121
 détérioration, altération 107-114
 établissement 90
 intoxication aux nitrates 88
 mélanges d'espèces 83, 84
 pâturages tournants 100
 période critique de récolte 118, 119
 période de récolte 101
 pertes à l'affouragement 107
 pertes à la récolte 104
 pertes liées à l'entreposage 105, 106
 poids des balles 106
 qualité 101, 102, 114
 ratio légumineuse-graminée 83
 ravageurs 116, 383
 taux de semis 89-91
 fourrages annuels 85
 froid en début de saison (maïs) 40

fumier 262-280
 analyse 265, 270-273
 azote minéral et organique 268-269
 calcul des éléments nutritifs assimilables 274
 calibrage du matériel 280
 et semis direct 279
 gestion 266
 sur les cultures fourragères 99
 valeur 266, 275

fusariose de l'épi (causée par *Gibberella*) 421
 Photo : 421

fusariose de l'épi et du grain 421 Photo : 421

fusariose de l'épi 142, 451 Photo : 452

fusariose de la tige (causée par *Gibberella*) 419
 Photo : 419

fusarium vasculaire 421, 456 Photo : 421, 456

G

gaz à effet de serre 225, 237

gaz d'ensilage 115

gestion de la fertilisation 23, 63, 96, 144,
 170, 188

gestion des cellules de stockage 306

gestion des pâturages 100

gestion des résidus v, 7, 46, 95, 179

gestion en temps réel 301 Photo : 301

glace 116, 120, 127, 159, 161, 195, 197

grain endommagé par *Fusarium* 155

graine verte 75, 197

graines brunes (endommagées par la chaleur) 196
 Photo : 196

graines de soya vertes à maturité 75 Photo : 75

grains entreposés

identifier les ravageurs 309

insectes des grains 309-312 Photo : 312

graisse bactérienne à halo 457 Photo : 457

graminées de saison chaude 86, 229

graminées vivaces 80

graminées 80-82, 86, 87, 229

grosses balles d'ensilage préfané 106, 108

groupe de maturité (soya) 48

guêpes parasites (insectes utiles) 362, 367,
 374, 394, 402, 409

H

hanneton commun 346 Photo : 346

hanneton européen 345 Photo : 345

haricots comestibles (voir haricots secs comestibles)

haricots secs comestibles

coupe directe par moissonneuse-batteuse 174

maintien de la qualité à la récolte 175

maladies 164, 175, 456

ravageurs 175, 396

récolte 173

travail du sol 163

herbicides pré-récolte pour la récolte du canola 193

hespérie des graminées 390

I

indice agricole 257

inoculation 52, 53, 63, 95, 168

inondation 43 Photo : 43

insectes défoliateurs 379, 399

insectes et animaux nuisibles aux
 grandes cultures 343

insectes s'attaquant aux gousses 380

intoxication à l'acide prussique 88

J

jambe noire 461 Photo : 462

L

laboratoires

analyses de sol 468

diagnostic 485

mycotoxines (aliments pour animaux
 et moisissures) 469

nématodes 469

légionnaire d'automne 370 Photo : 370

légionnaire uniponctuée 358, 395

Photo : 358, 395

légumineuses vivaces 77

ligne d'amidon 109

ligne d'amidon, maïs à ensilage 109

limaces 352 Photo : 352, 353

lin 204, 205

liste de vérification des cellules de stockage 306

lit de semence, préparation 90, 94, 199, 204, 206,
 213, 216

longueur de coupe des fourrages 111

longueur de rang pour un millième d'acre 293, 476

lotier corniculé 78, 79, 84

lutte contre la fusariose (céréales) 142

lutte contre les insectes (grains entreposés
 sur place) 308

lutte intégrée contre les mauvaises herbes
 x, 313, 320

lutte intégrée contre les ravageurs x, 140, 289,
 333, 343, 471

lutte mécanique contre les mauvaises herbes 318

luzerne 79, 84

autotoxicité 95

charançon postiche 386 Photo : 386

charançon 384 Photo : 384

évaluation d'un peuplement 120

mineuse virgule 386 Photo : 386

qualité dans une culture sur pied 102

survie à l'hiver 120

M

magnésium 33, 260, 282
 carence 33, 260 Photo : 34
 maïs à ensilage 13, 16, 101, 109, 112, 113, 121
 maïs
 croissance 17
 ensilage 109
 entreposage 36
 maladies foliaires 8, 412
 qualité du grain 36
 ravageurs 8, 354
 récolte 35
 résistance à la verse 12
 stades de croissance foliaire 20
 travail du sol 1-8
 maladie de Stewart 415 Photo : 415
 maladie des grains pourpres 435 Photo : 435
 maladies des gousses et des semences 433
 maladies des plantules 411, 412, 422, 436, 441, 456, 461
 manganèse 34, 67, 99, 153, 172, 250, 254, 260, 261
 carence 67, 153, 172, 260 Photo : 68, 154
 matériel pour le dépistage d'insectes 465
 matière organique 240, 243
 ajouts 236
 et rotation des cultures 225
 rôle 243
 matières de source non agricole 235, 280
 maturité des graminées pour la récolte 83
 mauvaises herbes
 concurrence 317
 cultures couvre-sol 313
 espèces, incidence sur les pertes de rendement 320
 incidence sur les pertes de rendement 317
 herbes lutte 8, 95, 164, 202, 205, 207, 211, 212, 215, 218
 herbes période critique 317
 herbes rotation des cultures 313
 mélanges céréales-pois 86
 mélanges de céréales 130
 mesure de la teneur du sol en azote
 des nitrates 24-26, 145-147
 mesure de la teneur en eau (ensilage) 109
 précautions à prendre pour l'épandage 25, 147
 mesure du taux d'humidité relative 71
 méthodes de travail du sol vii-x, 1-9, 45-47, 92, 123-125, 163, 179, 231-233, 315
 charrue à socs 233
 chisel (travail réduit du sol) 2, 3, 233
 disques 232
 en profondeur xi, 5,
 méthode traditionnelle xi, 2, 124, 179
 semis direct xi, 6-9, 92, 123, 179
 travail par bandes en profondeur 232

travail par bandes superficiel xii, 4, 5, 232
 travail réduit du sol et semis direct 45,
 travail réduit du sol 2, 3
 vertical 3, 232

mildiou 428 Photo : 428
 mille-pattes 349 Photo : 349
 millet perlé 87, 89
 miscanthus commun 209-211
 moisissures nivéales 444 Photo : 445
 mosaïque à Polymyxa du blé 448
 mosaïque commune du haricot 459
 mouche de Hesse 134, 394
 mouche des légumineuses 350 Photo : 351
 MSNA 235, 280

N

nécrose des tiges (Septoria) 455
 nécrose racinaire précoce 438
 nettoyage des pulvérisateurs 143

O

OGM (variété génétiquement modifiée) 45, 50, 165
 oïdium (blanc) 428, 448 Photo : 428, 449
 oligo-éléments 33, 34, 67, 98, 153, 172, 260
 analyses 254
 échantillonnage 255
 engrais 260
 orge à grains nus et avoine nue 130
 orge d'automne 129
 orge 128
 maladies 454
 outils de dépistage 290
 outils de précision
 cinématique en temps réel (RTK) 299
 système de localisation GPS 299

P

paille
 enlèvement (lin) 205
 qualité et quantité 127, 128
 valeur 127
 panic érigé 216-219
 pâturages tournants 100
 paturin 78, 82
 pentatomes 360, 380
 punaise fétide 360, 380 Photo : 381
 punaise marbrée 360, 380 Photo : 381
 punaise verte 360, 380 Photo : 380
 période critique de lutte dans les grandes cultures 317
 période critique de récolte d'automne pour la luzerne 118-120
 perte par suintement 110
 pertes d'origine mécanique à la récolte 104
 pertes dues à la respiration (fourrages) 104
 Photo : 104
 petit perceur des céréales 311 Photo : 312

- pH tampon 256
- Phomopsis
brûlure phomopsienne 433 Photo : 434
pourriture des graines 435 Photo : 436
- phosphate et potasse 30, 66, 96, 148, 171, 190, 258
- phosphore, carence 30 Photo : 30
- pièges-sondes 308 Photo : 308
- piétin brun 418, 420
- piétin commun (orge) 454
- piétin fusarien 442
- piétin-échaudage 443 Photo : 443
- piétin-verse 414, 444 Photo : 415, 444
- plans de gestion des éléments nutritifs 266
- plantation (voir aussi semis) 14, 51, 90, 123-125, 165, 181
date 14, 53, 94, 134, 165
matériel et entretien 9, 46, 56, 91-92
profondeur (voir aussi profondeur des semis) 16, 59, 90 Photo : 59
semis retardés 54
vitesse 21
- poids par boisseau / poids des semences 477
- poids spécifique 14, 477
- points d'échantillonnage (zones de gestion) 253, 292
- pollinisateurs (protection) 339
- potassium, carence 30, 66, 97 Photo : 31, 67, 97
- pourriture à sclérotés 431, 460, 462
Photo : 431, 460, 462
- pourriture brune des tiges 429
- pourriture brune 438
- pourriture de la tige 418, 419
- pourriture de la tige causée par l'antracnose 419
Photo : 413, 419
- pourriture des racines 412, 422, 442, 456
- pourriture des semences 411, 412, 422, 436, 441
- pourriture du collet et des racines (légumineuses) 439 Photo : 439
- pourriture et moisissure de l'épi 420
- pourriture fusarienne de la tige 419
- pourriture phytophthoréenne 423, 437
Photo : 423, 437
- pourriture pythienne (piétin brun) 412, 422, 442, 456 Photo : 456
- pourriture sèche de l'épi 422
- pourriture sèche de la tige (causée par Diplodia) 419
- pourritures des semences et brûlures des plantules (généralités) 411
- prédateurs (insectes utiles)
anthocorides 336 Photo : 336
cantharides 337
carabes 335 Photo : 335
coccinelle 335 Photo : 336
staphylins 336
syrrhes 336 Photo : 337
- préservation de l'identité 50, 69
- prévention du ballonnement sur les pâturages 100
- prévision de la fusariose 143
- principes d'aération 306
- principes de gestion des éléments nutritifs 249
- production viable iii
- programme d'analyse de sol du MAAARO 249
- puceron des céréales 392
- puceron du maïs 366, 392 Photo : 366
- puceron du merisier à grappes 392 Photo : 392
- punaise terne 402, 409 Photo : 402
- pyrale du maïs 361 Photo : 361, 361
- pyrale indienne de la farine 309 Photo : 312
- ## Q
- qualité de la chaux 256
- qualité des semences 51, 165, 176, 181
- qualité du grain 36
- quinoa 211-212
- ## R
- ratio carbone-azote 235
- ratio légumineuse-graminée 83
- ray-grass d'Italie 86
- ray-grass de type Westerwold 86
- ray-grass vivace 78, 81
- rayures réticulées 454 Photo : 454
- récolte de céréales versées 156, 417
Photo : 57, 144
- récolte et entreposage 35, 68, 100, 155, 173, 192, 201, 203, 205, 207, 210, 212, 214, 218, 306
- récolte précoce ou tardive (fourrages) 83
- récoltes successives (soya) 55
- réduction de l'érosion du sol 238
- registre des observations 294, 481-482
- rendement ou efficacité du semoir 9
- repousse de céréales 95
- résistance à l'hiver et tolérance au froid (céréales) 127
- résistance au délavage par la pluie 143
- résistance aux herbicides 320
- pollinisation croisée (canola) 197
- rhizoctone commun 424 Photo : 425
- rhizoctone ocellé 444 Photo : 444
- rhynchosporiose (orge) 454
- rotation des cultures vi, 7, 47, 139, 163, 179, 222-226
facettes économiques de la rotation vi
- rouille asiatique du soya 431 Photo : 431, 431
- rouille commune (maïs) 416 Photo : 417
- rouille couronnée (avoine) 455
- rouille des feuilles 416, 445 Photo : 417, 446
- rouille des tiges 445 Photo : 445
- rouille jaune 445, 446 Photo : 446

S

- sarrasin 199-202, 228
- scarabée japonais 345 Photo : 345
- schéma de dépistage 292
- séchage à basse température 157
- séchage à haute température (céréales) 157
- séchage à l'air ambiant 37, 70, 157
- séchage et entreposage
 - blé 157
 - maïs 36
- séchage
 - à l'air chaud et à l'air froid 37, 70
 - systèmes 157
 - températures 36
- sécheresse 43 Photo : 43
- séchoirs (à grains ou à céréales) 36, 70, 157, 158
- seigle 131, 228, 229
- sels solubles 282
- semis
 - conditions 137
 - date 14, 53, 94, 134, 176
 - profondeur 16, 59, 90 Photo : 59
 - matériel 9, 46, 56, 91-92
 - taux 22, 57-60, 84, 89-91, 137, 138, 166, 183-184
 - avec culture-abri 93
- semis à la volée 95, 126, 183, 200, 204
- semis aérien (blé) 125
- semis de printemps 94
- semis direct 93
- semis ponctuel 62
- semoir à céréales 58, 91, 184
- semoirs à la volée 92
- semoirs cultitasseurs 92
- sol
 - acidité et chaulage 255
 - analyse 249
 - boîtes à échantillons et feuilles de renseignements 254
 - compactage, compaction 9, 176, 238 Photo : 176, 240
 - conductivité 285
 - drainage 1, 5, 82, 116, 119, 161, 238, 241
 - échantillonnage 250-255
 - encroûtement iv, 60, 91, 92, 163, 168, 182, 186, 238, 239, 245 Photo : 56
 - érosion 237
 - fertilité et pH 100
 - formation 246
 - matière organique 225, 236, 240, 243
 - organismes présents dans le sol, biologie du sol 241, 244
 - qualité 246
 - sels solubles 282
 - stabilité des agrégats 246 Photo : 246
 - structure 244-246 Photo : 244-246
 - texture et drainage 1
 - type et structure 163
 - variabilité 247
 - zones d'échantillonnage 253
- sorgho et sorgho-Soudan 87, 88, 89, 228, 229
- sorgho herbacé 88, 89
- soufre 34, 63, 98, 152, 191 Photo : 152, 191
 - soufre semis d'été 94
- soya destiné au fourrage 89
- soya
 - dommages aux tiges 74
 - germination et levée 63 Photo : 60
 - maladies 421
 - nématode à kyste 426, 427, 429, 459, 469 Photo : 427
 - pertes à la récolte 68
 - puceron 373-375 Photo : 373, 374
 - ravageurs 372
 - récoltes successives 55
 - réductions de peuplement (évaluation) 62
 - rouille 431 Photo : 432
 - séchage 70
 - choix des cultivars 48
 - travail du sol 45-47
 - viabilité et détérioration des semences 51
- stabilité des agrégats (sol) 246
- stress dû à la chaleur 41, 188, 196
- syndrome de la mort subite 429 Photo : 430
- syndrome du rang de maïs 150 Photo : 150
- systèmes intégrés de culture v

T

- tables de conversions d'unités métriques 478, 479, 480
- tache des glumes (Septoria) 449 Photo : 450
- tache des glumes 450 Photo : 450
- taches bronzées 450
- taches brunes (Septoria) 425 Photo : 425
- taches communes (luzerne) 439
- taches de poivre 439 Photo : 440
- taches grises 416
- taches helminthosporiennes 454 Photo : 454
- taches septoriennes 449, 455 Photo : 450
- tassage (canola) 186
- techniques de dépistage (grains entreposés) 309
- télédétection 301
- teneur en eau à l'équilibre 38, 71, 159
- teneurs en eau 13, 35, 65, 111
- teneur en eau à la récolte (céréales) 477
- terre de diatomées 308
- tétranyque à deux points 377 Photo : 377, 378
- tournesol 212-216
- toxicité des engrais 283
- traitement des semences 51, 59, 181, 441
- traitements d'urgence par fumigation 308

travail du sol

- justification vii, 1, 315
- méthodes 45, 123, 163, 179, 199, 315
- profondeur en vue du chaulage 258
- réduction 179, 231

travail du sol en profondeur ix, 5

trèfle d'Alsike 80

trèfle rouge 78, 79, 84, 228

trèfle

- blanc 78, 79, 84, 91
- d'Alsike 80, 91
- incarnat 228
- mélilot 80, 91, 228
- rouge 78, 79, 84, 91, 228, 438

triticale et épeautre 131

type indéterminé (grimpant) 169

U

uniformité de l'écartement (maïs) 20

uniformité de la levée 20 Photo : 47

uniformité des épandages d'azote 147

unités thermiques de croissance (UTC) 9, 296, 297

maturité 48, 165

UTC-M1 et maturité 11

V

véhicule aérien sans pilote (UAV) / système d'aéronef sans pilote (UAS) 302

ver de l'épi du maïs 369 Photo : 369

ver fil-de-fer 347 Photo : 348

ver-gris à dos rouge 405

ver-gris noir 355 Photo : 355, 356

ver-gris occidental du haricot 367-369

Photo : 367, 368

vérification des cellules de stockage 306

verticilliose 440 Photo : 441

virus de la jaunisse nanisante de l'orge 447

Photo : 447

virus de la marbrure des gousses du haricot 434

virus de la mosaïque du navet 463 Photo : 463

virus de la mosaïque du soya 433

Photo : 433, 434

virus de la mosaïque striée du blé 448

Z

zinc 34, 154, 173, 261

zinc carence 34, 173, 261 Photo : 34

zones de gestion (champ) 253 Photo : 253

zones de gestion 253

