



MANUEL « ZONE D'ENSILAGE^{MD} »

RÉCOLTER SEMER
CULTIVER RÉCOLTER
ENTREPOSER SERVIR
SEMER CULTIVER

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	3	LUZERNE CULTIVÉE	38	Dégradation protéique.....	68
SEMER	4	Fertilisation.....	39	Compactage et étanchéité.....	68
MAÏS	4	Autotoxicité.....	40	SERVIR	72
Sélection d'hybrides à ensilage.....	4	Au sujet des maladies et des insectes.....	40	Gestion de la reprise de l'ensilage.....	72
Date de semis.....	7	Les répercussions du rendement et des valeurs nutritionnelles sur l'environnement de croissance.....	41	Sécurité lors de la reprise de l'ensilage.....	74
La lutte contre les mauvaises herbes et les insectes.....	7	RÉCOLTER	42	Rappels de sécurité pour l'entreposage de l'ensilage.....	74
Caractères biotechniques.....	8	RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES	42	Gaz retrouvé dans le silo.....	75
Caractères technologiques.....	9	Maturité et teneur en eau.....	42	Nitrates.....	76
Programme de fertilisation.....	9	Longueur de coupe.....	42	Acide prussique.....	76
Profondeur du semis et espacement.....	10	ENSILAGE DE MAÏS	42	Moisissures de champ.....	77
Espacement des rangs.....	10	Maïs gelé.....	45	Moisissures à l'entreposage.....	78
Densité de peuplement.....	11	Maïs affecté par la sécheresse.....	45	Déplacement de l'ensilage.....	81
Problèmes de levée.....	12	Transformation du grain.....	46	OBJECTIFS POUR UN ENSILAGE STABLE	82
Évaluation du peuplement.....	13	Hauteur de coupe.....	46	pH faible.....	82
Décisions concernant la reprise des semis.....	14	MAÏS-GRAIN HUMIDE	47	Température.....	82
LUZERNE CULTIVÉE	15	Valeur énergétique de la rafle et de la spathe.....	48	Spectre approprié d'acide de fermentation.....	82
Choix de variétés.....	15	Grains endommagés.....	48	Activité microbienne/fongique minime lors de la reprise de l'ensilage.....	82
Mélanges de luzerne cultivée.....	16	LUZERNE CULTIVÉE	49	Dégradation protéique minime.....	82
Dormance automnale.....	17	VFR contre QFR.....	49	Échantillonnage de l'ensilage.....	83
Résistance au froid hivernal.....	17	Maturité de la récolte.....	50	Détermination de la teneur en eau d'un ensilage.....	84
Au sujet des maladies.....	18	Méthodes pour surveiller la maturité de la récolte.....	51	Ereurs d'analyses.....	86
Au sujet des insectes.....	19	Méthode UTC.....	52	NIRS par rapport à la chimie humide.....	86
Variétés résistantes à la verse.....	20	Méthode de coupe aux ciseaux.....	52	Analyse immédiate.....	88
Enrobage des semences.....	21	PEAQ.....	52	Système détergent.....	88
Comptage des graines pures viables.....	21	Prolongation de la saison grâce de différentes variétés.....	53	Essais sur la digestion.....	89
Préparation du champ.....	22	Choix du moment de la récolte.....	53	Systèmes d'énergie.....	90
Profondeur du semis.....	23	Récolte à la fin de l'automne dans les climats nordiques.....	54	Taux de digestion.....	91
Dates de semis.....	23	Hauteur de coupe.....	55	Terminologie commune pour l'analyse du fourrage.....	92
Taux de semis.....	23	Biologie du flétrissement et séchage de la luzerne cultivée.....	55	LIGNES DIRECTRICES POUR SERVIR LES FOURRAGES	99
Maîtrise des mauvaises herbes à la levée.....	23	ENTREPOSER	56	Luzerne cultivée.....	100
Lutte contre les mauvaises herbes au sein d'un peuplement établi.....	24	Processus de fermentation.....	56	Maïs-grain humide.....	101
Utilisation d'une plante-abri.....	24	Coût du rétrécissement.....	59	Ensilage de maïs.....	103
Peuplements mélangés.....	24	Rôle de la levure dans la perte par rétrécissement.....	60	Grains endommagés.....	103
Évaluation du peuplement.....	25	Additifs pour ensilage.....	62	Distribution des aliments.....	104
CULTIVER	26	Portfolio d'inoculants spécifiques à la culture.....	64	Amidon.....	104
MAÏS	26	Application d'inoculants.....	66	Protéine.....	104
Déterminer les stades foliaires du maïs.....	28	Profils AGV.....	67	Remarques.....	106
Principales périodes de croissance.....	29				
Le dépistage de problèmes.....	30				
Conseils pour diagnostiquer et gérer les maladies foliaires du maïs.....	32				
Fertilité du sol.....	33				
Symptômes communs de carence nutritive du maïs.....	33				
Impact de l'environnement sur la croissance.....	34				

INTRODUCTION

Le fourrage ensilé et les céréales utilisés dans l'alimentation du bétail ont longtemps été un lien fondamental dans la chaîne alimentaire. L'ensilage du fourrage et des grains permet d'offrir des aliments nutritifs et savoureux tout au long de l'année, sur une surface moindre par rapport à celle réservée au pâturage. Une fois convertis en lait et en viande, les ensilages contribuent à nourrir l'humanité.



Avec une bonne gestion, un grand nombre de cultures peuvent être ensilées afin de servir d'aliments pour le bétail. Toutefois, l'analyse individuelle de certaines cultures spécifiques démontre un potentiel plus élevé pour satisfaire les exigences nutritionnelles de différents types de bétail. Par exemple, les ensilages de graminées comme le maïs-grain humide constituent une excellente source d'énergie. Par contre, la luzerne cultivée sert principalement en tant que source de fibres et de protéines.

Le coût d'alimentation représente l'une des dépenses les plus importantes pour la plupart des exploitations d'élevage. La production d'ensilages de haute qualité peut aider à réduire les coûts associés aux concentrés et aux suppléments alimentaires. Pour les producteurs laitiers et les éleveurs de bovins de boucherie, les ensilages du plant de maïs complet, du maïs-grain humide, de la luzerne cultivée, des céréales, ainsi qu'une variété d'espèces de graminées présentent les avantages économiques les plus importants. Ce manuel se concentrera principalement sur les ensilages de maïs, de maïs humide et de luzerne.

Le manuel « Zone d'ensilage^{MD} » a été conçu pour fournir une source concise d'informations pertinentes sur les cinq plus importants aspects de la production d'ensilage : **SEMER, CULTIVER, RÉCOLTER, ENTREPOSER** et **SERVIR**. Un programme d'ensilage rentable dépend de la réussite et de l'interaction de chacune de ces uniques et importantes fonctions.





SEMER
CULTIVER
RÉCOLTER
ENTREPOSER
SERVIR

MAÏS

L'ensilage de maïs est de plus en plus le fourrage de choix pour de nombreux éleveurs d'animaux de ferme. Ces producteurs apprécient : son rendement élevé (riche en énergie), sa fenêtre de récolte unique, sa capacité de recevoir des quantités relativement élevées d'eaux usées ou de lisier. Pour bien réussir dans la culture du maïs, il faut sélectionner les bons produits pour chaque acre selon les pratiques de travail du sol des producteurs, la probabilité de sécheresse, la fertilité du sol, la maladie, la prévalence des ravageurs et la capacité de récolte.

SÉLECTION D'HYBRIDES À ENSILAGE

La première considération doit être la maturité de l'hybride. Choisissez des hybrides à ensilage qui prennent de cinq à dix jours de plus que le maïs-grain puisque les unités thermiques ne sont pas requises pour atteindre la maturité typique du maïs-grain. Cette approche permettra de maximiser le rendement de l'ensilage et la teneur en amidon. Si la maturité est trop longue pour la zone de croissance, les niveaux d'amidon et le rendement total peuvent être compromis par une période de gel inattendue.

Les évaluations du degré de maturité du maïs hybride aident les producteurs à choisir et à comparer les hybrides, à gérer les risques agronomiques et à échelonner le calendrier de la récolte. Puisqu'il n'y a pas de normes d'évaluation communes à toute l'industrie, la comparaison d'hybrides provenant de différentes entreprises peut s'avérer difficile. Souvent, les producteurs interprètent mal ces comparaisons.

Les hybrides sont généralement évalués pour la MRC (maturité relative comparée) ou la MR (maturité relative), aux États-Unis cela est indiqué en jours civils (ex. : hybrides de 105 jours). Au Canada, la maturité de l'hybride est indiquée en unités thermiques maïs (UTC) par exemple 3 100 UTC. Pour obtenir une évaluation approximative des UTC, il suffit de multiplier par 30 la valeur MRM (exemple : 100 jours MRM ~ 3 000 UTC).

Le mot le plus important de l'acronyme MRC est « relative » puisque les valeurs sont basées sur des comparaisons au sein de chaque entreprise de semences pour leurs propres hybrides, et pas nécessairement par rapport à des hybrides concurrentiels. L'approche la plus courante dans l'attribution d'une nouvelle MRC du grain est de comparer la maturité de la récolte du grain (20 à 22 % de la teneur en eau du grain) à celle d'autres hybrides commerciaux présentement sur la liste de l'entreprise. Cette MRC du grain dans son ensemble est fonction du moment où le plant atteint sa maturité physiologique (point noir ou absence de ligne de lait) et les caractéristiques de la dessiccation de l'hybride. Avec cette approche, les producteurs ont une idée « relative » de la façon dont les hybrides d'une même entreprise progressent à travers les différents stades reproductifs. Certaines entreprises rapportent également la MRC de l'ensilage

basée soit sur la comparaison de la teneur en eau d'un plant entier à celle d'hybrides à ensilage reconnus, par régression des données des grains par rapport à la maturité standard d'un grain d'ensilage.

Les entreprises de semences peuvent mener des recherches en comparant leur approche pour attribuer la maturité à celle des concurrents et faire des ajustements subtils sur la manière dont ils rapportent la maturité des hybrides. Par exemple, si une entreprise de semences constate un désavantage dans les niveaux d'humidité des grains récoltés, elle voudra s'assurer d'aligner son évaluation du degré de maturité le plus près possible de celles de ses principaux concurrents.

Il est important de lire les notes en bas de page de chaque entreprise de semences pour bien comprendre la définition des évaluations. On donnera généralement à un grain hybride une MRC globale, une MRC à l'apparition des soies et une MRC physiologique (point noir absence de ligne de maturité). Une MRC physiologique peut être particulièrement importante pour les producteurs qui récoltent du maïs humidité élevée ou un ensilage épi-hampe. Les hybrides au sein d'une même famille génétique comportant différents caractères technologiques, se verront souvent attribués la même maturité. Toutefois, selon le niveau d'infestation par les insectes, ces hybrides peuvent varier en maturité de 2 à 3 jours. Par exemple, un hybride porteur d'une résistance à la pyrale et à la

chrysomèle des racines résistera probablement mieux à une forte pression des insectes que d'autres hybrides possédant la même base génétique, mais sans ces caractères technologiques.

La plupart des entreprises de semences rapportent également les unités thermiques de croissance (UTC) moyenne à l'apparition des soies et un UTC à la maturité physiologique (teneur en eau du grain de 30 à 34 %). Il existe différentes méthodes pour calculer l'accumulation d'unités thermiques UTC, mais la plus courante est la méthode Base 50.

Tout comme l'évaluation de la maturité relative, les UTC sont également difficiles à comparer entre les entreprises de semences. Cela est dû à l'utilisation de différentes formules. Des formules qui ne tiennent pas compte de la durée de temps où des températures minimales et maximales ont été tenues. Elles ne tiennent pas compte non plus du lieu précis des stations de recherche utilisées pour générer les valeurs UTC.

Cela dit, l'UTC à la maturité physiologique (point noir) est probablement le meilleur indicateur pour déterminer si un hybride peut mûrir pour la récolte du grain en fonction de comparaisons à long terme d'accumulation d'UTC pour cette zone particulière. La durée de temps pour que le grain sèche pour une récolte de 20 à 22 % d'humidité peut également varier en

Exigences en UTC selon les stades de croissance d'un hybride de 2 700 UTC

LARGEUR DES RANGS	STADE DE CROISSANCE	UTC
	Semis	0
Végétatif	Deux feuilles complètement sorties	200
	Quatre feuilles complètement sorties	345
	Six feuilles complètement sorties (point végétatif au-dessus du sol)	476
	Huit feuilles complètement sorties (la panicule commence à se développer)	610
	Dix feuilles complètement sorties	740
	Douze feuilles complètement sorties (formation de l'épi)	870
	Quatorze feuilles complètement sorties (développement des soies sur l'épi)	1 000
	Seize feuilles complètement sorties (pointe de la panicule qui sort)	1 135
Reproductif	Soies qui apparaissent/libération du pollen (plant à pleine hauteur)	1 400
	Gonflement	1 660
	Grains au stade pâteux	1 925
	Début du stade dent	2 190
	Grain denté	2 450
	Maturité physiologique	2 700

Adapté à partir du manuel du maïs à l'échelle nationale (National Corn Handbook)

Méthode Base 50 UTC

= [(température quotidienne maximale en degrés Fahrenheit + température quotidienne minimale en degrés Fahrenheit) / 2] – 50

Si la température minimale est inférieure à 50 °F, alors 50 est utilisé comme la température minimale. De même, la limite supérieure est de 86 °F. Si la température maximale est supérieure à 86 °F, alors 86 est utilisé comme la température maximale.

Exemple : lorsque la température quotidienne maximale est de = 86 °F et que la température quotidienne minimale est de 65 °F, alors l'**UTC** = $(86 + 65/2) - 50 = 25,5$

Le Canada utilise un différent système appelé UTC (unités thermiques du maïs) pour suivre la progression accumulée des unités thermiques et définir la maturité des hybrides de maïs.

Les UTC sont calculées en utilisant l'équation suivante :

UTC = $[1,8 (\text{température quotidienne minimale en } ^\circ\text{C} - 4,4) + 3,3 (\text{température quotidienne maximale en } ^\circ\text{C} - 10) - 0,084 (\text{température quotidienne maximale en } ^\circ\text{C} - 10)^2] / 2$

Comme avec l'UTC, ce calcul n'assume aucune croissance du maïs sous des températures nocturnes inférieures à 4,4 °C ou sous des températures diurnes inférieures à 10 °C et un seuil supérieur de 30 °C

Pour obtenir une idée approximative de la maturité en UTC, il s'agit de multiplier la durée du jour d'un hybride par 30.

Exemple : un hybride possédant une MRC 100 jours correspond environ à un hybride à 3 000 UTC

fonction du taux de dessiccation hybride (obtient généralement un indice relatif dans les catalogues de semences).

Certains producteurs aiment réduire le risque en étalant la période de pollinisation entre les hybrides. Toutefois, semer des hybrides avec des cotes MRC différentes (p. ex. 105 jours) peut ne pas toujours fournir l'effet désiré puisqu'ils pourraient tous deux avoir des UTC similaires lors de l'apparition des soies. Il est préférable de consulter leur cote UTC respective à l'apparition des soies pour voir leur différence relative concernant la libération du pollen et l'apparition des soies. Souvenez-vous qu'il est difficile, d'une entreprise à l'autre, de comparer les UTC à l'apparition des soies. Pour déterminer si un nouvel hybride s'adaptera aux conditions locales, comparez ses cotes UTC à l'apparition des soies, à celles d'un hybride bien connu (provenant de la même entreprise). Les recherches démontrent que les hybrides dont l'apparition des soies est plus hâtive se déplacent généralement vers le nord de leur zone d'adaptation et s'adaptent plus rapidement aux plus grandes élévations. S'ils sont déplacés trop loin au nord ou à trop haute altitude, les hybrides dont l'apparition des soies est plus tardive pourraient ne pas atteindre leur maturité physiologique avant la première période de gel, ou pourraient avoir un rendement potentiel en grains réduit si une apparition des soies anormalement tardive soumet la récolte à des températures plus froides lors du remplissage du grain.

La meilleure source d'information concernant la maturité de l'hybride est votre représentant Pioneer ou un agronome. Ils connaîtront certainement leur gamme d'hybrides et ont probablement vu le produit des concurrents dans différentes parcelles pour aider

à mettre les différences de l'entreprise en perspective.

En ce qui concerne les producteurs d'ensilage, pour s'y retrouver dans la montagne de données sur les hybrides, il s'agit de se concentrer sur les trois caractères les plus importants : le rendement, le contenu en amidon et la digestibilité de la fibre. Le tonnage est surtout une fonction de la densité du semis, de la hauteur du plant et de la teneur en amidon. L'amidon génère la majorité de la concentration énergétique de l'ensilage et compte tenu du coût actuel du grain, cela doit être un facteur principal dans les choix d'hybrides. La digestibilité de la cellulose au détergent neutre (NDFD) semble être la mesure la plus intéressante, en particulier parmi les nutritionnistes. Cependant, bien que de petites différences NDFD existent entre les hybrides à ensilage traditionnel, l'environnement où survient la croissance durant la période végétative possède la plus grande influence sur la NDFD. Lorsque vous évaluez la NDFD, assurez-vous de noter le temps d'incubation (p. ex. 24 contre 30 contre 48 heures) lors de la comparaison de valeurs absolues issues de rapports provenant de différentes parcelles.

Certains producteurs aiment également évaluer les hybrides selon des indices tels que l'énergie nette pour la lactation (ENL), le lait par tonne et le lait par acre généré par des aides à la décision comme celles mises au point par l'Université du Wisconsin. Bien qu'elles peuvent être utiles pour le classement d'hybrides, il est toujours bon d'utiliser les « trois grands » attributs (rendement, amidon, digestibilité des fibres) qui influencent le plus ces valeurs-indices. Le partage de l'importance relative des principaux attributs d'ensilage avec des représentants en semences peut les

aider à choisir l'hybride approprié dans leur gamme de produits plutôt que de sélectionner un hybride fondé sur les valeurs-indices.

Les caractères comme la protéine brute et la teneur en huile présentent moins d'intérêt, car il existe peu de différence génétique entre eux chez les hybrides commerciaux. La teneur en sucre est un autre caractère qu'on retrouve sur certains rapports de parcelles. La différence de la teneur en sucre provient essentiellement des différences de maturité entre les hybrides en lice. Durant la croissance du plant, le sucre est transporté et déposé dans le grain. Généralement, les hybrides dont la teneur en sucre est plus élevée sont moins matures comme en témoignent leur taux d'humidité plus élevé et leur pourcentage d'amidon plus faible. Au moment de formuler une ration, les valeurs en fibre (ADF et NDF) présentent une grande importance. Toutefois, leur importance dans l'évaluation d'un hybride dans une parcelle d'ensilage est minime puisque leurs valeurs sont principalement une indication d'une dilution par l'amidon et le sucre.

Certains nutritionnistes demandent également les valeurs de digestibilité de l'amidon dans les rapports de parcelles d'ensilage. Aucune université connue ou aucun programme de parcelles pour entreprises de semences ne fournit actuellement les valeurs de digestibilité de l'amidon. Cela est compréhensible étant donné que la digestibilité de l'amidon, telle qu'influencée par la quantité d'amidon à l'état solide ou vitreux dans le grain, est un caractère qui est également dépourvu d'une importante variation au sein des hybrides commerciaux disponibles. Cela est particulièrement vrai lorsqu'un hybride est récolté à une maturité typique du grain d'un maïs à ensilage. De plus, la durée de temps pendant lequel les ensilages de grains sont exposés à l'environnement de fermentation influence la digestibilité de l'amidon. Bien que la digestibilité de l'amidon soit une mesure importante pour les nutritionnistes lors du passage d'un ensilage de maïs entreposé depuis longtemps à l'ensilage d'une nouvelle récolte, ce caractère ne devrait pas peser lourd au moment de choisir la génétique du semis de l'ensilage de maïs.

La recherche effectuée par les sélectionneurs de maïs suggère que pour sélectionner, avec un degré de confiance de 95 %, les meilleurs hybrides quant à leur rendement en ensilage ou leurs caractères nutritionnels, il faut un minimum de 20 comparaisons directes, l'une à côté de l'autre (dans la même parcelle). Les hybrides devraient également être comparés lorsqu'ils sont à la même maturité, et qu'ils ont reçu le même traitement de semences, la même technologie de segment, le même peuplement de semis et la même hauteur de coupe. Il est également souhaitable de comparer les hybrides dans de multiples environnements et saisons de croissance pour avoir une meilleure compréhension de leur comportement sous des conditions de croissance extrêmes. Les données obtenues d'une seule parcelle, bien qu'intéressantes pour les producteurs désireux de savoir comment un hybride peut réagir sur leur ferme, sont pratiquement inutiles au point de vue

statistique. Cela est dû à la variabilité provoquée par le compactage des sols, l'historique d'une récolte précédente, l'historique des fertilisants/lisier, le type de sol, la disponibilité de l'eau, le travail du sol et les dégâts causés par les insectes. Pour éviter d'avoir à faire à une « merveille éphémère », certains programmes universitaires publient des données sur plusieurs années si l'hybride a fait partie de leurs parcelles pour plus d'une année.

La plupart des programmes universitaires concernant les parcelles d'ensilage offrent des paramètres statistiques pour aider à évaluer la robustesse de la comparaison des données. Généralement, cela prend la forme d'une valeur moyenne pour le caractère et de la plus petite différence significative (p.p.d.s.) utilisées pour déterminer si les hybrides sont statistiquement (plutôt que de simplement numériquement) différents. Si la différence entre les deux valeurs hybrides est égale à ou supérieure à la valeur p.p.d.s. (à hauteur de 10 %), alors, 90 % du temps, les hybrides sont statistiquement différents pour ce caractère en particulier.

Il est préférable d'obtenir autant d'information que possible sur la performance d'un hybride à ensilage. Ne soyez pas satisfait avec les indices du catalogue (p. ex. 1-9). Les entreprises de semences sérieuses à propos de l'ensilage seront en mesure de fournir des valeurs absolues pour des caractères d'ensilage importants comparés à leurs propres hybrides ainsi qu'à ceux de leurs concurrents. Finalement, soyez prudent et n'accordez pas trop d'importance aux « concours de beauté » pour le fourrage qui ne mesurent pas le rendement et où il n'existe aucun moyen de garantir la constance de la récolte pour des facteurs comme la hauteur de coupe.

DATE DE SEMIS

En général, les dates de semis idéales varient considérablement en Amérique du Nord. L'effet des semis tardifs a plus d'incidences économiques sur la capacité de l'ensilage de maïs à soutenir la production laitière que sur la perte de rendement en grains. Les données de l'Université du Wisconsin démontrent que de 1994 à 1997, l'ensilage de maïs semé au Wisconsin entre le 18 avril et le 25 mai a produit environ 8 164 kg de lait/acre. Cela a commencé à baisser de manière significative après le 15 mai et en date du premier juin, 580 kg de lait/acre ont été perdus pour chaque jour de retard du semis.

LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES ET LES INSECTES

Les mauvaises herbes font concurrence aux maïs pour la lumière, les nutriments et l'eau, surtout pendant les trois à cinq premières semaines suivant la levée de la récolte. Les mauvaises herbes réduisent également la qualité des aliments d'ensilage à des étapes ultérieures à la croissance et peuvent héberger des parasites nuisibles. Une récolte vigoureuse ayant une bonne croissance est la meilleure défense contre les infestations et la concurrence des mauvaises herbes.

CONNAISSEZ VOS SEGMENTS DE LA TECHNOLOGIE*		Niveau d'efficacité contre les insectes							Résistance aux herbicides	
Identificateurs de segment de technologie	Caractères technologiques du maïs	Pyrales du maïs européen	Ver de l'épi	Ver-gris occidental du haricot	Légionnaire d'automne	Ver-gris noir	Chrysomèle occidentale des racines du maïs	Chrysomèle septentrionale des racines du maïs	Glyphosate	Liberty ^{MD}
RR2	Roundup Ready ^{MD} maïs 2								E	
LL	LibertyLink ^{MD}									E
HX1, LL	Herculex ^{MD} I, LibertyLink (pyrale du maïs)	E	M	T	E	T				E
HX1, LL, RR2	Herculex I, LibertyLink, Roundup Ready maïs 2 (pyrale du maïs)	E	M	T	E	T			E	E
YGCB, HX1, LL, RR2	Optimum ^{MC} , Intrasect ^{MC} , LibertyLink, Roundup Ready maïs 2 (pyrale du maïs)	E	B	T	E	T			E	E
HXX, LL, RR2	Herculex XTRA, LibertyLink, Roundup Ready maïs 2 (pyrale du maïs/chrysomèle des racines)	E	M	T	E	T	E	T	E	E
AM, LL, RR2	Optimum AcreMax, LibertyLink, Roundup Ready maïs 2 (pyrale du maïs)	E	B	T	E	T			E	E
RW, YGCB, HXX, LL, RR2	Optimum Intrasect XTreme, LibertyLink, Roundup Ready maïs 2 (pyrale du maïs/chrysomèle des racines)**	E	B	T	E	T	E	E ⁺	E	E
AMXT, LL, RR2	Optimum AcreMax XTreme, LibertyLink, Roundup Ready maïs 2 (pyrale du maïs/chrysomèle des racines)**	E	B	T	E	T	E	E ⁺	E	E
YGCB	YieldGard ^{MD} pour pyrale du maïs	E	M		B					
YGCB, RR2	YieldGard pour pyrale du maïs, Roundup Ready maïs 2	E	M		B				E	

E = Excellent T = Très bien B = Bien M = Moyen Vierge = Non étiqueté

syn

Toutefois, si les mauvaises herbes sont établies, il est important de les contrôler avant qu'elles atteignent une hauteur de 10,16 à 15,24 cm (4 à 6 po). Une combinaison de procédures de méthodes culturales, mécaniques et chimiques de lutte contre les mauvaises herbes donnera de meilleurs résultats. Les pratiques culturales qui maintiennent les bordures de clôtures, les fossés et les terres incultes libres de mauvaises herbes contribueront à réduire le taux d'infestation de mauvaises herbes; le nettoyage à fond des équipements pour le travail du sol et de récolte avant de pénétrer ou de sortir du champ aidera également. Le travail du sol pour couper les racines ou pour enfouir les mauvaises herbes est efficace contre les mauvaises herbes résistantes aux herbicides. Un contrôle chimique est efficace lorsque les mauvaises herbes sont hautes et que le travail du sol n'est pas rentable ou réalisable.

Les insectes peuvent causer des problèmes de résistance à la verse, voler les nutriments et accroître la moisissure de l'épi de maïs et la mort prématurée du plant. La valeur de la lutte contre les ravageurs aériens et ceux dans le sol sera fondée sur la rotation des cultures, la sélection des hybrides, le genre d'insectes qui sont la première source de préoccupation, les méthodes de contrôle par

insecticides disponibles et les systèmes de travail du sol.

CARACTÈRES TECHNOLOGIQUES

Le tableau ci-joint énumère les segments de la technologie du maïs. Ces technologies de résistance aux herbicides offrent une maîtrise des insectes aériens et de ceux dans le sol. Des insectes importants qui nuisent à la culture du maïs dans la plupart des régions.

PROGRAMME DE FERTILISATION

Les programmes de fertilisation du maïs à ensilage doivent compenser pour la grande quantité de nutriments utilisés par le plant dans son entier. La fertilité du sol peut améliorer la qualité fourragère de l'ensilage de maïs essentiellement par l'amélioration du rendement en grains.

Le point de départ est un bon échantillonnage du sol pour établir les quantités résiduelles de N, P et K (azote, phosphore et potassium), et l'application de quantités additionnelles selon le potentiel de rendement du champ. Les taux d'azote devraient être augmentés d'environ 20 lb/acre par rapport aux besoins en grains



* Tous les pointages de produits refuges intégrés sont basés sur le composant principal.

** Contient des attributs Agrisure^{MD} RW.

† Préliminaire.

^AVIS D'APPROBATION POUR L'EXPORTATION : Ce produit est entièrement approuvé aux États-Unis et au Canada. Les caractères compris dans ces produits peuvent être approuvés ou pas dans les marchés mondiaux clés; par conséquent, la combinaison de ces caractères et le grain, et certains sous-produits de CES PRODUITS PEUVENT NE PAS ÊTRE APPROUVÉS pour tous les marchés. Pour des questions à propos de pays en particulier, veuillez contacter votre représentant commercial ou reportez-vous à www.pioneer.com/stewardship. Il est conseillé aux clients de discuter des politiques d'acceptation des caractères avec leur manutentionnaire de grains local avant de livrer du grain contenant des caractères biotechniques.

Il est conseillé aux clients de DuPont Pioneer de discuter des politiques d'acceptation des caractères avec leur manutentionnaire de grains local avant de livrer du grain contenant des caractères biotechniques.

Des hybrides WH (blanc) et WX (cireux) sont également disponibles dans certaines des combinaisons des caractères énumérés ci-dessus.

Les informations sont fondées sur les résultats d'essais par les entomologistes de Pioneer et d'universités indépendantes à différents emplacements de 1997 à 2011. Les pointages sont fondés en fonction des cotes appliquées aux résultats des essais par les entomologistes et les gestionnaires de la recherche de Pioneer. Les réactions aux produits sont variables et peuvent être différentes en fonction de l'emplacement et des conditions ambiantes.

Technologie de protection contre les insectes Herculex^{MD} par Dow AgroSciences et Pioneer Hi-Bred.^{MD, MC} Les logos Herculex et HX sont des marques de commerce déposées de Dow AgroSciences LLC.

YieldGard^{MD}, le design YieldGard pour la pyrate du maïs et Roundup Ready^{MD} sont des marques de commerce déposées utilisées avec l'autorisation de la Société Monsanto.

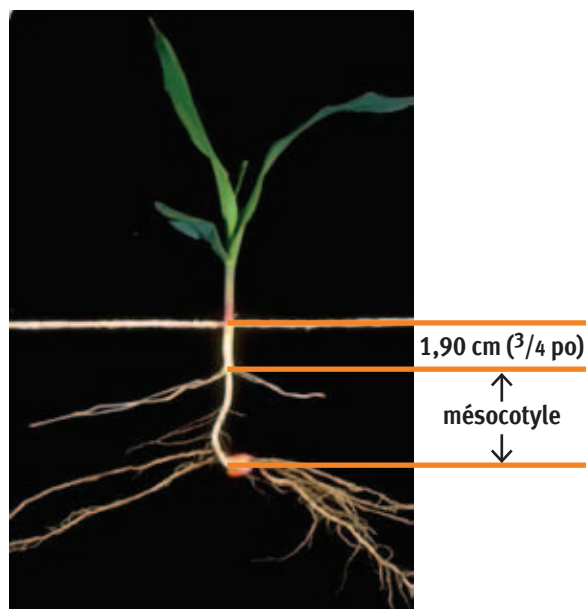
Liberty^{MD}, LibertyLink^{MD} et le design d'une goutte d'eau sont des marques de commerce de Bayer.

Agrisure^{MD} est une marque de commerce déposée, et utilisée sous licence, une entreprise de la Société Syngenta. La technologie Agrisure^{MD} incorporée dans ces graines est commercialisée sous une licence de la part de Syngenta protection des cultures AG.

afin de maximiser les rendements en nutriments de la récolte de l'ensilage de maïs. Le phosphore est retiré au taux de 35 lb/10 tonnes d'ensilage récolté. Il a été démontré que pour optimiser la réponse en rendement, il faut maintenir le niveau de phosphore dans le sol, disponible aux plants, à ou près de 20 ppm (test de Bray) ou à 16 ppm (test Olsen). Les niveaux de test du potassium du sol devraient être maintenus de 100 à 150 ppm. À 150 bo/acre de rendement, il y a environ 187 lb de K₂O dans le grain et le fourrage ou environ 11 lb de K₂O par tonne d'ensilage.

PROFONDEUR DU SEMIS ET ESPACEMENT

Semer le maïs à une profondeur de 4 cm à 5 cm est optimal pour la croissance de la racine coronale. Une profondeur de 5 cm est préférable dans des conditions normales; une profondeur 4 cm peut être favorable lors du semis dans des sols froids. Par contre, ne semez jamais le maïs à une profondeur inférieure à 4 cm. La profondeur de semis peut être facilement déterminée après la levée des plantules. La zone de la racine coronale (couronne ou point de croissance) croît généralement à environ 1,90 cm sous la surface du



sol quelle que soit la profondeur de semis. Mesurez la longueur du mésocotyle (la zone entre la semence et la couronne ou le point de croissance), puis ajoutez 1,90 cm pour déterminer la profondeur de semis. Le maïs qui n'est pas semé assez profondément n'est pas en mesure d'absorber l'eau et les nutriments par les racines. Il peut également donner lieu à une condition appelée le « syndrome de l'absence de racines » où les plants tombent en raison de l'absence du développement de la racine coronale dans des sols secs.

Un semis peu profond peut également exposer les plantules de maïs aux résidus d'herbicides ce qui engendrera une augmentation possible de dommages causés par les herbicides.

Les symptômes d'une profondeur irrégulière du semis comprennent la levée inégale, la longueur non uniforme du mésocotyle et des hauteurs de plants différentes. Il est recommandé de régler la profondeur du semis dans le champ, alors que le planteur est à pleine vitesse de fonctionnement pour s'assurer d'un bon contact entre la semence et le sol. Ralentir la vitesse d'ensemencement peut aider à améliorer l'uniformité des profondeurs des grains.

L'espacement uniforme des plants aide à maximiser le rendement. Les études effectuées par DuPont Pionnier indiquent que le rendement maximal de chaque plant est atteint lorsque les plants sont parfaitement équidistants de 5 à 7 cm. Les types d'espacement de plants non uniformes comprennent les plants mal positionnés (réduit assurément le rendement), les manquants (le rendement des plants voisins augmentera, mais pas suffisamment pour compenser le plant manquant) et les doublets (peuvent augmenter légèrement le rendement si le peuplement est inférieur au seuil optimal). Le rendement des doublets ainsi que celui des plants voisins diminueront, mais le rendement du plant supplémentaire compensera généralement pour cette diminution.

ESPACEMENT DES RANGS

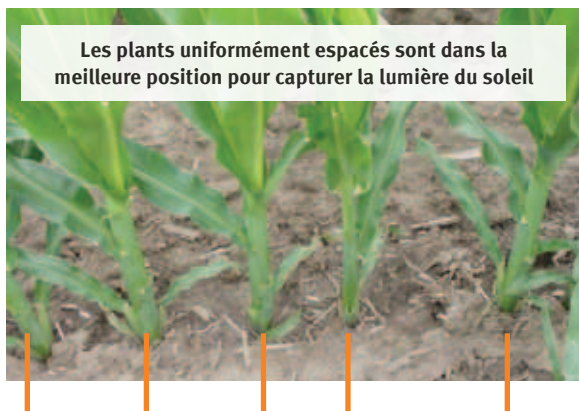
Le maïs semé en rangs étroits a plus d'espacement équidistant des plants, à la base et à travers le rang. Cela réduit la concurrence végétale pour l'eau, les nutriments et la lumière disponibles. En 2009, le département de l'Agriculture des États-Unis (USDA) a rapporté qu'environ 85 % de la récolte de maïs a été plantée en rangs de 76 cm ou plus. Seulement environ 4 à 5 % de la récolte a été plantée en rangs de 38 à 50 cm. La recherche démontre une réponse significative en grains ou en rendement ensilage (augmentation de 3 à 10 %) chez les rangs étroits. Cela se produit principalement dans le nord du Corn Belt où le rayonnement solaire est limité et dont le sol peut manquer de fertilité ou d'humidité.

Les rangs jumelés représentaient moins de 0,2 % de la récolte de maïs de 2009; pourtant, cette pratique gagne en popularité comme un moyen potentiel d'accroître les rendements sans les coûts de machinerie associés en changeant pour une production en rangs étroits. En 2010, une recherche menée par Pioneer concernant les rangs jumelés au moyen de 179 comparaisons appariées sur 131 sites n'a indiqué aucun avantage côté rendement en grains par rapport à celui des rangs de 76 cm. Cela soutient la recherche universitaire et industrielle qui conclut qu'une transition des rangs de 76 cm à des rangs jumelés ne fournirait pas un bénéfice de rendement à grande échelle à travers la majorité du Corn Belt. Il y a également un manque de preuve pour affirmer que, dans un proche avenir, de nouveaux hybrides et un peuplement plus dense favoriseraient grandement la production en rangs jumelés.

Le potentiel de rendement peut être réduit dans ce champ en raison de l'espacement inégal des plants



Les plants uniformément espacés sont dans la meilleure position pour capturer la lumière du soleil



Bien que les données de recherche concernant les environnements à faible rendement soient limitées, il ne semble pas que la réponse en rendement des rangs jumelés dépende de l'environnement où cette réponse est obtenue. Les applications les plus prometteuses pour les rangs jumelés de maïs semblent être là où des rangs étroits ont été les plus efficaces, tel que le nord du Corn Belt, dans la production d'ensilage et dans les systèmes de rangs larges du sud.

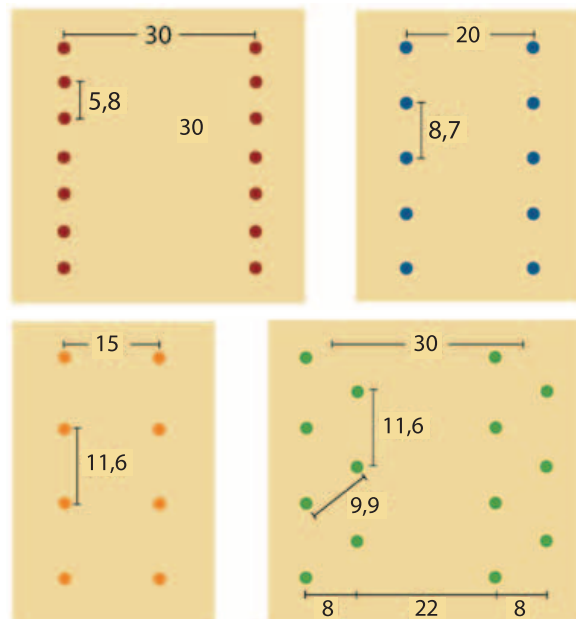
DENSITÉ DE PEUPLEMENT

Il est important de cibler la densité de peuplement basée sur les recommandations de l'hybride. La germination typique d'une semence de maïs est d'environ 95 %.

Un surensemencement d'au moins cinq pour cent peut vous aider à atténuer les effets de plants manquants résultant d'un problème de germination, de même qu'à réduire les effets négatifs des insectes et des conditions du sol.

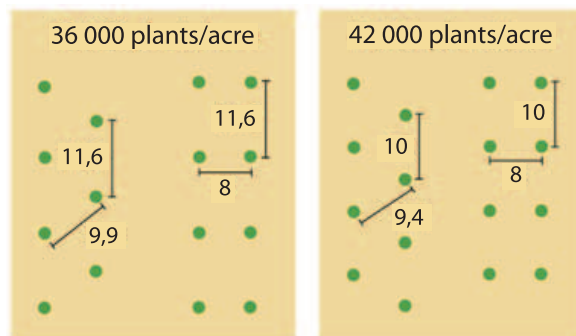
Il est difficile de résumer la recherche concernant les densités de peuplements dans le maïs dues aux variations dans les maturités des hybrides qui croissent dans différents environnements. Toutefois aux États-Unis, au cours des 25 dernières années, le

Espacement à côté et à l'intérieur des rangs (en pouces) dans différentes configurations de rangs à 36 000 plants/acre.



Source : Mark Jeschke, directeur de la recherche agronomique de DuPont Pioneer

Les distances (en pouces) entre les plants de rangs jumelés en alternances et parallèles de 36 000 et 42 000 plants/acre.



Source : Mark Jeschke, directeur de la recherche agronomique de DuPont Pioneer

peuplement moyen des semis de maïs est passé de 23 000 plants par acre (PPA) à 30 000 PPA. Les environnements à haut rendement permettent d'accroître les peuplements de 36 000 à 38 000 PPA selon la génétique de l'hybride individuelle. Un peuplement supérieur accroît la concurrence entre les plants pour l'eau, le soleil et les nutriments du sol. Pioneer a mené des études comparant les hybrides vendus durant les décennies précédentes.

Il y a une faible amélioration du rendement en grains en raison d'une hausse de l'indice de la surface foliaire, de l'efficacité de la photosynthèse de la feuille, du nombre de grains par épi et du poids de chaque grain. Toutefois, au cours de 80 dernières années, la sélection génétique d'hybrides de maïs tolérants au stress compte pour la grande majorité de l'accroissement du rendement de grain (de 1 à 1,5 bo/an). Cela résulte du peuplement accru qui augmente le nombre d'épis par acre. Des pratiques plus précises et les caractères technologiques qui améliorent la résistance aux insectes et aux mauvaises herbes ont également accru sensiblement le rendement moyen. Le fait que l'agriculteur moyen ensemence environ deux semaines plus tôt que voilà dix ans contribue aussi au progrès des rendements. Les options de traitements de semences ont facilité ce changement.

Lorsque l'on discute de densité de peuplements, il importe de distinguer entre la production de maïs-grain et celle de maïs-ensilage. Dans des environnements où le rendement en grains est faible (<130 bo/acre), la réponse à la densité de peuplement est plus importante même si les rendements en grains ont tendance à baisser progressivement dans un peuplement plus dense. On peut comparer cela aux chutes extrêmes survenues chez les hybrides d'il y a 30 ans. Lorsque soumis à de fortes densités de peuplement et dans des environnements à rendement élevé (>130 bo/acre) ces hybrides étaient plus susceptibles à l'infertilité aiguë. Ils atteignaient un plateau à des populations plus élevées. Cela permet de supposer que le semis à taux variables est plus avantageux dans les environnements à plus faible rendement. Grâce à une tolérance au stress accrue des hybrides, de nombreuses entreprises de semences évaluent régulièrement les hybrides à une densité de peuplement aussi élevée que 42 000 PPA. Il semble aussi y avoir de légères différences dans les densités idéales de peuplement par maturité (MRC). Les hybrides de saison plus courte (<100 MRC) ont tendance à mieux répondre (rendement en grains) à des densités de peuplements plus élevées. Suivent les hybrides allant de 101 à 113 MRC et finalement les hybrides de saison plus longue (>13 MRC). Les chercheurs pensent que la hausse de densité du peuplement compense certains inconvénients constatés chez les plants de plus petite taille et d'indice de surface foliaire moindre des hybrides de saison courte. Sur son site Web (www.pioneer.com/tools), Pioneer fournit une calculatrice pour le taux du semis de manière à déterminer le taux économique d'ensemencement selon la génétique des hybrides, l'environnement du rendement, le coût de la semence et le prix des grains.

L'ensilage est une situation plus complexe. Les recommandations traditionnelles étaient d'augmenter la densité de peuplement de 10 à 20 % par acre des hybrides destinés à l'ensilage. Cependant, avec l'accroissement de la valeur de l'amidon, de nouvelles recommandations suggèrent un semis pour l'ensilage à pas plus de 2 000 à 3 000 PPA supérieur au peuplement du semis recommandé pour l'hybride s'il est semé pour le grain. Un peuplement supérieur

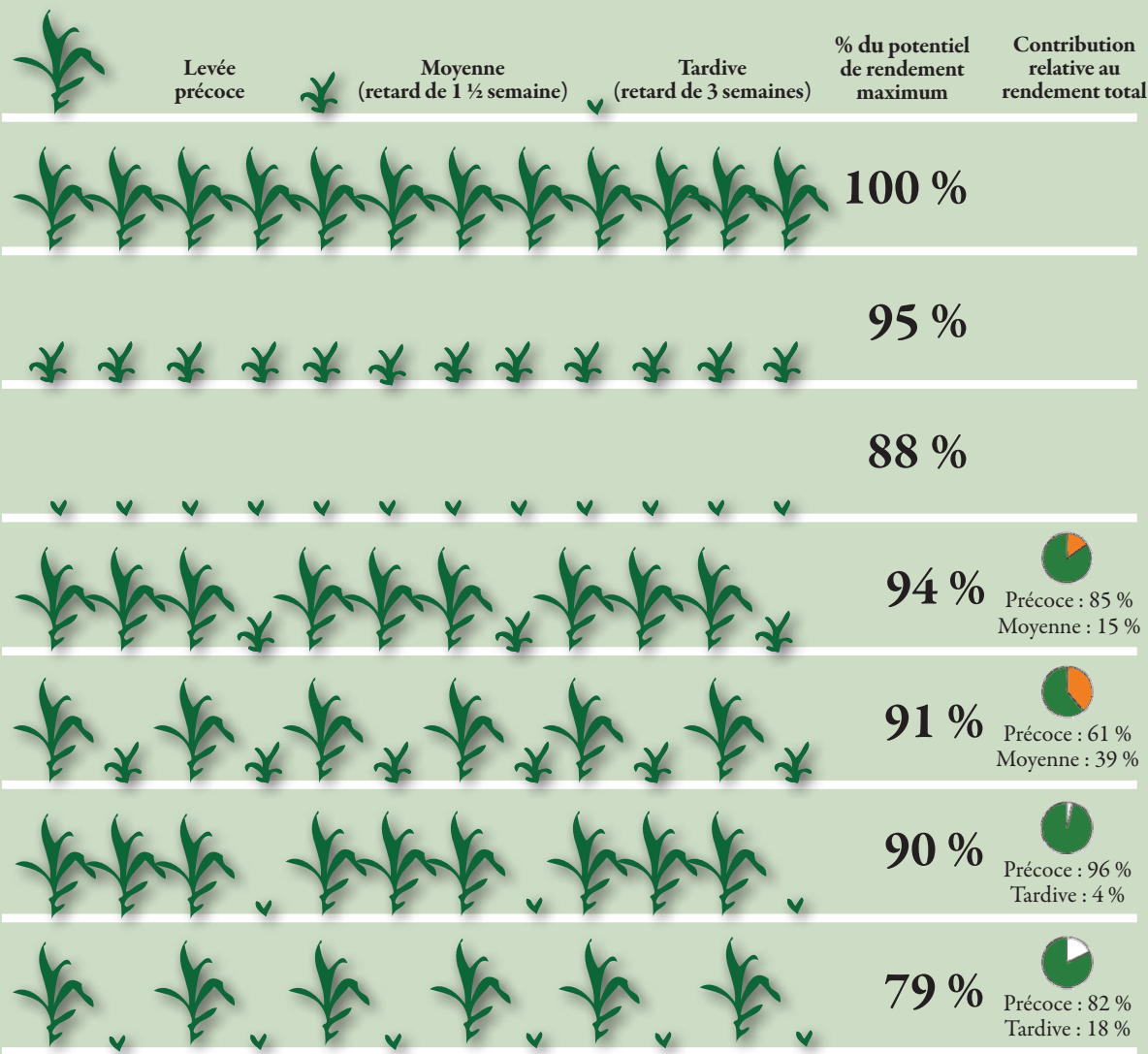
pourrait permettre un plus grand rendement du fourrage, mais réduirait le rendement en amidon (grain). Une densité de peuplement supérieure a tendance à diminuer le diamètre de la tige et accroît le risque de verse. Cela est beaucoup moins préoccupant pour l'ensilage que ça ne l'est pour le grain-maïs récolté à une maturité plus tardive. La recherche a constamment démontré qu'un peuplement supérieur (plus de 40 000 à 42 000 PPA) accroît le rendement de l'ensilage tout en abaissant quelque peu la qualité. La baisse de qualité est causée par un rendement accru du fourrage qui dilue la portion du grain (l'amidon) du plant provoquant des niveaux légèrement supérieurs en fibres. Certaines recherches antérieures suggèrent que la tige d'un diamètre plus petit chez les peuplements plus élevés a altéré le ratio croûte/moelle provoquant une digestibilité des fibres légèrement inférieure. Des recherches plus récentes menées en 2008 et 2009 par l'Université Cornell avec des hybrides classiques, feuillus et BMR, semés à des peuplements allant de 25 000 à 40 000 PPA n'ont démontré aucun effet significatif de l'accroissement du peuplement sur la digestibilité de la fibre. Certains producteurs d'ensilage préfèrent semer à des peuplements inférieurs, plus optimaux pour le rendement en grains. C'est là une tentative d'accroître la teneur en amidon de l'ensilage en réponse à l'augmentation des prix des grains. Une bonne récolte de maïs peut déposer jusqu'à 1 % d'amidon de plus par jour à partir du tiers du stade laitieux jusqu'à la maturité physiologique (point noir). Les nouveaux hybrides porteurs des caractères technologiques offrent une excellente protection des plants en fin de saison. Par conséquent, il est possible de retarder la récolte jusqu'aux trois quarts de la ligne de maturité (ou plus tard) pour obtenir un ensilage de maïs avec une teneur en amidon plus élevée, sans entraîner une baisse significative de la digestibilité des fibres. Dans le cas d'un maïs stressé ou malade, le fait de retarder la récolte à ces stades plus tardifs accroîtra les chances de diminuer la digestibilité des fibres.

PROBLÈMES DE LEVÉE

Le maïs est une culture de saison chaude. La température optimale pour la levée se situe entre 29 et 32 °C, de sorte que la culture est presque toujours soumise à un certain degré de stress dû au froid. L'exposition prolongée aux températures du sol en dessous de 10 °C favorise la détérioration de la semence et la maladie chez la plantule. L'imbibition au froid provoque des dommages physiques rendant les semences plus susceptibles aux attaques par les insectes et les maladies. Une période prolongée de jours froids retarde la levée et endommage davantage la semence. Celle qui survit est susceptible de dépérir.

Pour optimiser la levée, évitez de semer lorsque des températures froides sont prévues. Semez d'abord les champs aux sols humides, bien drainés, avec peu de résidus. Utilisez le bon traitement pour la semence. Choisissez des hybrides possédant une bonne cote reliée au stress de la levée et adaptés à des quantités élevées de résidus.

Quel est l'impact d'une levée irrégulière sur le rendement ?



Données de Carter, P. R. , E. D. Nafziger et J.G. Lauer, levée irrégulière inégale du maïs, publication n° 344 de North Central Extension

ÉVALUATION DU PEUPLEMENT

De nombreux facteurs de stress (le froid ou les sols humides, l'alimentation des insectes ou les conditions météorologiques défavorables) peuvent réduire un peuplement de maïs. Pour déterminer la densité, comptez le nombre de plants vivants sur une superficie d'un millième d'acre répartie entre plusieurs emplacements représentatifs dans le champ. Multipliez le nombre

de plants par 1 000 pour obtenir une estimation de plants par acre. S'il y a eu un gel ou de la grêle, il est préférable d'attendre quelques jours pour effectuer une évaluation du peuplement. Cela permettra d'obtenir une meilleure idée de la santé des plants.

Le rendement du maïs est influencé par la densité et l'uniformité du peuplement. Une variation dans la taille des plants peut avoir un impact négatif sur le rendement. Des levées à différents intervalles

produisent des plants de différentes tailles. Par rapport aux plus gros plants du peuplement, les plants sortis de terre tardivement souffriront d'un désavantage concurrentiel. Ils auront moins de feuilles, de biomasse et un rendement moindre. Plusieurs facteurs peuvent mener à une levée différente incluant les variations de l'humidité du sol, un mauvais contact entre la semence et le sol en raison d'un travail ou d'un semis dans un sol trop humide, les variations de la température du sol causées par une distribution inégale des résidus, la formation d'une croûte à la surface du sol, les insectes ou la maladie.

DÉCISIONS CONCERNANT LA REPRISE DES SEMIS

Les facteurs à prendre en considération pour décider si la reprise des semis du maïs est économique comprennent : la densité du semis, l'uniformité et la santé du peuplement actuel, la date du semis original et celle de la reprise potentielle, les coûts associés à la reprise et les dispositions de l'assurance-récolte. Dans des situations

Longueur du rang équivalant à 1/1000 d'un acre à différentes largeurs de rangs

LARGEUR DES RANGS	LONGUEUR DES RANGS
96 cm	4 m
91 cm	4,3 m
76 cm	5,2 m
56 cm	7,0 m
51 cm	7,9 m
38 cm	10,4 m

telles que les inondations, il se peut qu'une seule portion du champ doive être reprise. Le gel ou la grêle peut endommager une large étendue de sorte que la densité du semis et la santé doivent être évaluées dans l'ensemble du champ.

DATE DE SEMIS POUR LE MIDWEST	DENSITÉ DE PEUPEMENT (1 000 plants/acre)						
	10	15	20	25	30	35	40
% DE RENDEMENT MAXIMAL							
25 AVRIL	57	70	81	91	97	100	100
30 AVRIL	57	70	80	90	96	99	99
5 MAI	57	69	79	89	94	97	96
10 MAI	56	68	77	86	92	94	93
15 MAI	54	66	75	84	89	91	90
20 MAI	52	64	73	81	86	88	87
25 MAI	51	63	71	79	84	86	84
30 MAI	49	61	69	77	82	83	81
4 JUIN	45	56	64	72	76	77	75
9 JUIN	40	51	59	66	70	71	69
14 JUIN	36	47	54	61	64	65	63
19 JUIN	32	42	49	56	59	59	57

Le tissu translucide doux près du point de végétation indique que ce plant ne survivra pas.



La croissance d'un tissu vert près du point de végétation indique que ce plant pourrait survivre.





LUZERNE CULTIVÉE

CHOIX DE VARIÉTÉS

Les facteurs suivants doivent être pris en considération lors de la sélection d'une variété de luzerne cultivée : le rendement et les attentes en matière de qualité, la survie en hiver, les types de sol et le drainage, la lutte contre la maladie (p. ex. anthracnose, les bactéries, les flétrissures verticilliennes, les pourridiés fusariens et ceux causés par *Aphanomyces euteiches* race 1 et race 2) la lutte contre les ravageurs (p. ex. la cicadelle, les pucerons, les nématodes), les attentes envers la durée de vie du peuplement, la rotation, la facilité de récolte (risque à la verse) et l'irrigation.

Il est important de comprendre que la luzerne cultivée est génétiquement différente des autres cultures. La plupart des cultures ont deux copies de chaque chromosome, mais la luzerne cultivée est un autotétraploïde, ce qui signifie qu'elle comporte quatre copies de chaque chromosome. Contrairement aux maïs hybrides où chaque plant du même hybride est génétiquement identique, les plants individuels de luzerne cultivée d'une même variété ne sont pas génétiquement identiques. Les plants de luzerne cultivée au sein d'une même variété sont comme frères et sœurs d'une même famille; ils sont similaires, mais non identiques.

La luzerne cultivée ne peut pas vraiment être hybridée. En raison de la nature tétraploïde du génome de la luzerne cultivée, il est impossible d'accoupler des homozygotes autogames, comme c'est le cas pour le maïs. Sans de véritables autogames à croiser, il ne peut y avoir de véritable luzerne cultivée hybride. Les sélectionneurs qui affirment avoir développé une luzerne cultivée autogame croisent essentiellement deux variétés de luzerne cultivée de manière à produire une semence à partir du croisement. Toutefois, la semence résultant de cette approche de stérilité mâle est tout simplement un mélange des deux variétés parentales et du croisement, plutôt qu'un vrai hybride. Cela peut être observé par la variation entre les plants dans un champ d'hybrides commerciaux de luzerne cultivée. Une variation qui ne serait pas exprimée si la luzerne cultivée était un vrai hybride comme le maïs. Une grande partie du rendement accru de la luzerne cultivée hybride qui se trouve dans les parcelles universitaires est due au fait que la semence « synthétique 1 » a été utilisée et qu'elle exprimera un rendement supérieur de 7 à 10 %. Cependant, cet avantage de rendement disparaît en raison de l'auto-incapacité de la luzerne cultivée lorsque la semence souche pour des variétés commerciales est produite.

MÉLANGES DE LUZERNE CULTIVÉE

Lorsque vient le temps d'examiner la valeur d'un mélange de luzerne cultivée, la plupart des producteurs comprennent la nécessité de bien comparer le prix par rapport à la pureté et à la qualité de la semence. Les mélanges de luzerne cultivée provenant de fournisseurs réputés contiennent une semence de relativement grande qualité. Cependant, selon le fournisseur, les mélanges varient davantage. Ils peuvent aller d'une germination élevée et pure, à des produits à faible germination (souvent des semences plus âgées) et à faible degré de pureté. Les mélanges peuvent offrir des performances adéquates pour de courtes rotations, ou lorsqu'au champ les caractères de résistance spécifiques aux ravageurs et la performance d'une variété pure ne sont ni nécessaires, ni valorisés. Examinez attentivement les retombées économiques d'une variabilité accrue et la performance réduite des mélanges dans des champs enssemencés uniquement tous les trois à cinq ans.

Le marché compte deux sources principales de mélanges de semences de luzerne cultivée. L'une est la « semence commune » vendue en tant que produit à variété non déclarée (VND) par les producteurs individuels qui permettent à un champ de monter en graines. Cela n'est pas légal s'il compte des variétés brevetées ou des variétés comportant des caractères transgéniques brevetés. Cette semence « provenant du producteur » se retrouve généralement

sur le marché par l'entremise des courtiers-grainetiers. Au lieu de la VND traditionnelle, ces produits sont souvent vendus comme des micromarques commercialisées par le biais de détaillants et d'entreprises qui ne produisent aucune semence, ne font pas de conditionnement ou ni ensachage.

Quelques grandes marques de semences offrent également des mélanges, généralement de leur propre génétique et produits par l'entremise de leurs canaux normaux de production. Ces mélanges sont vendus sans en indiquer la variété. Cela permet à ces entreprises de vendre des produits arrivés à la fin de leur cycle de vie ou un excès de stocks en raison d'une surproduction. Ces mélanges peuvent également inclure l'excédent de la semence souche, les variétés expérimentales qui n'accèdent pas à la commercialisation. Il peut s'agir aussi d'un stock incapable de satisfaire les spécifications de pureté pour les croisements extérieurs ou des semences de plantes autofécondées qui ne passent pas les normes d'isolation. Pour toutes ces raisons, les mélanges peuvent varier considérablement d'un lot à l'autre, et presque certainement d'une année à l'autre.

Certaines entreprises de semences ont bâti leur renommée grâce à des produits de première qualité. Offerts à des prix plus élevés, leurs mélanges peuvent différer à l'intérieur d'une variété. Toutefois, ils portent la marque de l'entreprise et une attestation de garantie. Cette attestation porte sur certains caractères comme l'indice minimum de résistance à la maladie (DRI) ou le niveau indiqué d'une variété



connue. Les mélanges de première qualité réduisent les options de l'entreprise concernant la gestion des stocks. Cependant, ils offrent aux producteurs plus d'informations au sujet de la performance à laquelle ils peuvent s'attendre. Soyez prudent lorsque le prix d'un mélange de première qualité est près de celui d'une variété pure. À moins que vous connaissiez tous les composants variétaux d'un mélange et qu'on vous fournisse une raison explicite pour leurs différents niveaux d'inclusion, il serait préférable que vous achetiez une variété pure adaptée à vos besoins précis.

Les producteurs devraient se baser sur l'étiquette du sac pour évaluer tout achat de semences. L'étiquette indiquera les espèces de culture, le niveau de germination, la pureté de la culture et le contenu en graines de mauvaises herbes. Les producteurs éclairés devraient regarder l'étiquette de la semence pour obtenir les niveaux de germination et ajuster la densité du semis en conséquence. Certains mélanges sont vendus avec des informations descriptives qui réduisent la marge de variation en indiquant si le produit est un mélange de luzerne cultivée avec « Dormant à l'automne » ou « Non dormant ». Les fournisseurs de semences de renom prennent des mesures supplémentaires pour s'assurer que les mélanges satisfont les critères de résistance minimale aux maladies de la région particulière où le mélange sera vendu. Méfiez-vous des mélanges portant une étiquette indiquant une pureté moindre. Si l'étiquette indique qu'il y a 3 % « d'autres cultures », ne soyez pas surpris si votre nouvelle semence de luzerne cultivée ressemble à un peuplement mélangé.

DORMANCE AUTOMNALE

La dormance est basée sur la quantité de croissance végétative produite au cours d'une période définie à l'automne. Plus vite la variété de luzerne cultivée repousse après la récolte, plus tard est le taux de dormance automnale. Chez les variétés modernes, la dormance automnale n'équivaut pas à la résistance au froid hivernal. La dormance automnale est basée sur les cotes numériques suivantes :

- 1 Dormant très tôt à l'automne**
- 2-3 Dormant tôt à l'automne**
- 4 Dormant à la mi-automne**
- 5 Dormant à la fin de l'automne**
- 6 Semi-dormant**
- 7-9 Non dormant**

RÉSISTANCE AU FROID HIVERNAL

La résistance au froid hivernal est un terme général. Il fait référence à la capacité des plantes à survivre à tous les facteurs



influant sur la survie hivernale y compris la température, l'humidité, les maladies, les insectes et la gestion de la récolte précédente. Les variétés de luzerne cultivée sont généralement classées comme étant soit extrêmement rustiques, très rustiques, rustiques, modérément rustiques, non rustiques ou absolument non rustiques.

Les plants de luzerne cultivée accumulent des réserves d'hydrates de carbone pendant la repousse d'automne. Ces réserves sont nécessaires pour alimenter la plante pendant l'hiver et pour amorcer la repousse au printemps. La repousse permet d'accumuler des réserves additionnelles de nutriments dans les racines. Les plants plus jeunes et ceux en santé ont une plus grande capacité pour emmagasiner les réserves alimentaires. Ces plants seront plus tolérants au stress provoqué par les températures froides et ils possèdent une plus grande capacité pour amorcer la repousse au printemps. Généralement, à la hauteur de la couronne, la luzerne cultivée peut survivre à des températures de -9 °C. Il faudra probablement plusieurs semaines d'exposition à des températures froides pour tuer les bourgeons de la couronne. Une couverture de quatre pouces de neige isole suffisamment pour permettre une différence de -6 °C entre la température de l'air et la température de la couronne.

Historiquement, la rusticité hivernale était associée à la quantité de repousses automnales, une croissance accrue ayant comme résultat un pointage inférieur pour la résistance au froid hivernal. Toutefois, les sélectionneurs de luzerne cultivée ont « coupé » le lien génétique entre la repousse automnale et la rusticité

hivernale. Les variétés modernes dominent les anciennes variétés comme Vernal, mais elles ont la même résistance au froid hivernal, lorsqu'évaluées par la persistance du peuplement au printemps. Chez les variétés modernes de luzerne cultivée, la dormance automnale n'équivaut pas à la résistance au froid hivernal.

AU SUJET DES MALADIES

Les principales maladies de la luzerne cultivée comprennent :

- 1. Une maladie de la tige et de la couronne (anthracnose)
- 2. Une maladie bactérienne, le fusarium et la flétrissure verticillienne
- 3. Le pourridié phytophthoréen et celle causée par Aphanomyces (Race 1 et 2)

Le pourridié des racines est particulièrement problématique chez les variétés sensibles, lorsque semées dans des sols incorrectement drainés avec de l'eau excédant la capacité du champ. La luzerne cultivée n'est pas un bon choix de cultures pour les sols qui ne sont pas drainés correctement.

Puisque les plants de luzerne cultivée au sein d'une même variété ne sont pas identiques, les plants d'une même variété ne porteront

pas tous les mêmes gènes de résistance aux insectes et aux maladies. Par conséquent, les sélectionneurs de luzerne cultivée mesurent la fréquence des gènes au sein d'une même variété afin de déterminer le niveau de résistance aux ravageurs. Le pourcentage de la fréquence du gène détermine le niveau de résistance pour un caractère donné du parasite ; par la suite, la variété est placée dans une classe donnée selon sa résistance à chaque caractère de parasite. Cette échelle de notation est standardisée dans toute l'industrie des semences de luzerne cultivée.

Par exemple, si une variété comporte 88 % de plants qui démontrent une résistance à l'anthracnose, elle répond à un seuil de plants résistants à >50 %, et se mérite une notation de « résistance élevée » à cette maladie.

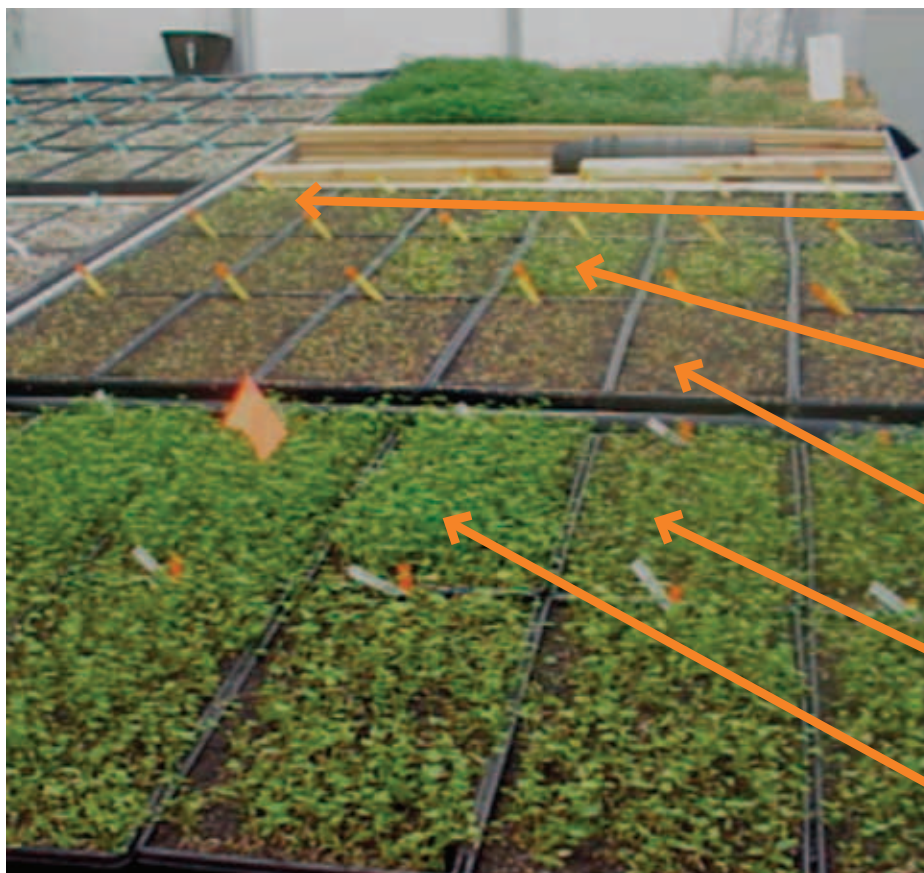
L'indice de la résistance aux maladies (DRI) de la luzerne cultivée a été conçu par l'Université du Wisconsin. Il représente un total de points déterminés par la manière dont une variété se classe pour les six principales maladies de la luzerne cultivée en Amérique du Nord. Un point est assigné à chaque variété, entre un et cinq, selon sa classe de résistance. Avec six grandes maladies et le pointage individuel le plus élevé étant de cinq, les variétés peuvent avoir une cote allant jusqu'à 30 points sur l'indice DRI. Au fil des

Indice de la résistance aux maladies de la luzerne cultivée

% PLANTS RÉSISTANTS	CLASSE DE RÉSISTANCE	ABRÉVIATION DE CLASSE
<6	Susceptible	S
7-14	Faible résistance	FR
15-30	Moyennement résistant	MR
31-50	Résistant	R
>50	Très résistant	TR

Voici comment on assigne une cote sur l'DRI à une variété de luzerne cultivée

MALADIE	CLASSE DE RÉSISTANCE	POINTS
Flétrissement bactérien	TR	5
Flétrissure verticillienne	R	4
Jaunisse fusarienne	TR	5
Anthracnose	TR	5
Pourridié phytophthoréen	TR	5
Aphanomyces Race 1	TR	5
Aphanomyces Race 2	R	4
Indice de résistance aux maladies (DRI)		33



CLASSIFICATION DE LA RÉSISTANCE DE LA LUZERNE CULTIVÉE

**FAIBLE
RÉSISTANCE**
7-14 %

**MOYENNEMENT
RÉSISTANTE**
15-30 %

SUSCEPTIBLE
0-6 %

RÉSISTANTE
31-50 %

**TRÈS
RÉSISTANTE**
>50 %

années, certaines entreprises ont ajouté une septième maladie (aphanomyces Race 2), portant le total possible à 35 points. Plus la cote DRI est près de 35, plus la variété démontrera une résistance générale aux maladies. Il n'existe aucune norme dans l'industrie pour le DRI. Pioneer utilise le système de cote modifié DRI de 35 points; par contre, certaines entreprises de semences utilisent toujours l'échelle DRI de 30 points.

AU SUJET DES INSECTES

Les principaux ravageurs de la luzerne cultivée varient en fonction de la région de croissance et selon que la plante est cultivée à des fins commerciales ou pour la semence. Généralement, les variétés sont évaluées pour leur résistance aux pucerons tachetés, aux pucerons du pois, aux pucerons bleus, aux nématodes du nord et du sud, et aux anguillules des tiges. Toutefois, la cicadelle de la pomme de terre est l'insecte ravageur ayant le plus d'effets néfastes

sur la luzerne cultivée pour la moitié est de l'Amérique du Nord. Les variétés résistantes à la cicadelle ont été disponibles pendant plus d'une décennie. Elles sont fortement recommandées là où la cicadelle exerce une pression intense sur plusieurs coupes. La résistance provient de petits poils situés sur la tige lesquels découragent la cicadelle. Comme c'est le cas pour la résistance aux maladies, à l'intérieur d'une variété, les plants ne présenteront pas tous le même niveau de résistance à la cicadelle.



Si un producteur réussit à dépister la cicadelle et la maîtrise au moyen de la pulvérisation, les variétés résistantes à la cicadelle peuvent n'être pas nécessaires. Toutefois, pour les producteurs qui ne font aucun dépistage ou qui notent des dommages causés par la cicadelle à leur luzerne cultivée, malgré le fait qu'ils ont pulvérisé un produit, une variété résistante à la cicadelle serait un meilleur choix.

Dans le cas d'une variété de luzerne cultivée résistante à la cicadelle, le seuil de pulvérisation est d'environ trois fois supérieur à celui d'une variété de luzerne cultivée non résistante à ce parasite. Le nouveau semis provenant d'une variété résistante à la cicadelle devrait faire l'objet d'un dépistage et être régi de la même manière qu'une variété non résistante à la cicadelle. Comme règle de base, pour justifier la pulvérisation, il s'agit d'effectuer dix balayages au moyen d'un filet fauchoir et de compter les cicadelles attrapées. Si le nombre de cicadelles attrapées dépasse la hauteur moyenne des plants exprimée en pouces, il faut pulvériser. Par exemple, dans un champ où les plants ont en moyenne huit pouces de hauteur et que dix balayages donnent 16 cicadelles, la pulvérisation est justifiée. Si le champ a été ensemencé avec une variété de luzerne cultivée

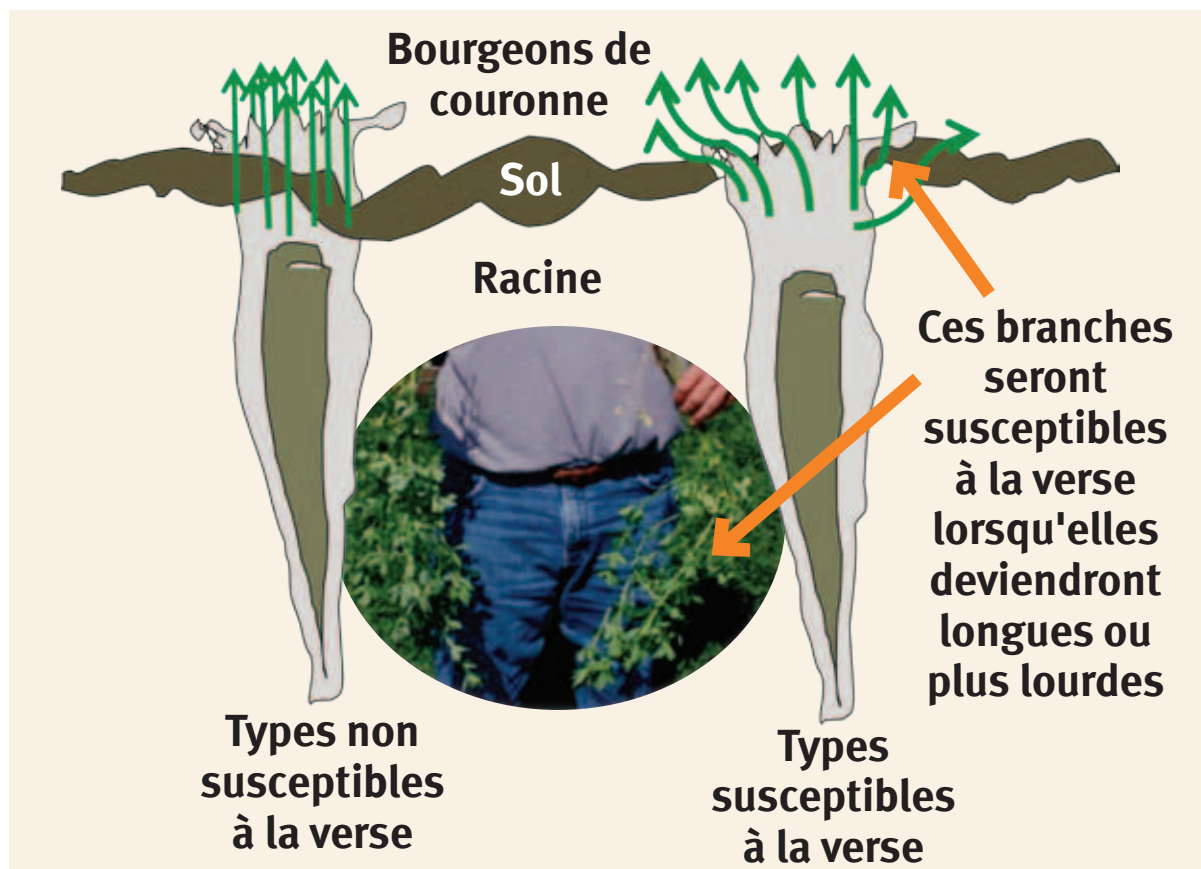
résistante à la cicadelle, pour justifier une pulvérisation, le nombre de cicadelles attrapées par dix balayages doit correspondre à trois fois la hauteur moyenne des plants. Dans ce dernier cas, il faudrait au moins 24 cicadelles par dix balayages.

VARIÉTÉS RÉSISTANTES À LA VERSE

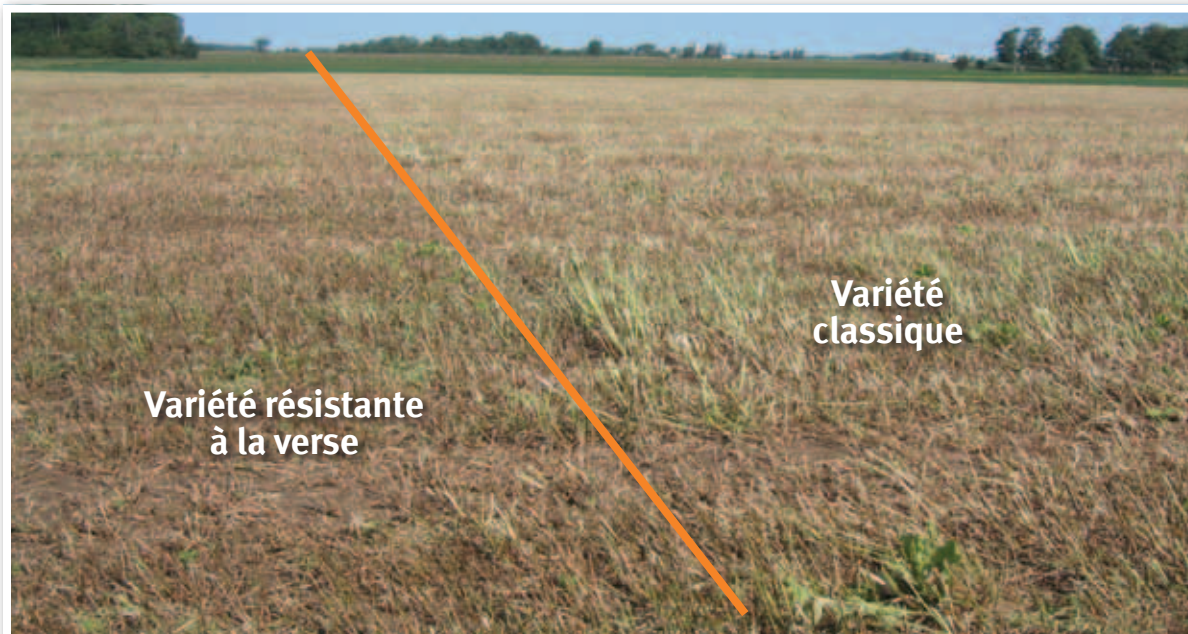
L'une des plus récentes innovations dans la génétique de la luzerne cultivée est la commercialisation de variétés résistantes à la verse. Leur stabilité a grandement été améliorée lorsqu'elles sont exposées au vent et à la pluie. Cette stabilité accrue provient d'une tige plus droite et de l'architecture de la couronne.

La luzerne cultivée est plus difficile à récolter lorsqu'elle est versée. Chaque pouce de tiges non coupées équivaut à une perte de rendement en foin allant de 0,13 à 0,15 t/acre. La portion de la tige non coupée qui demeure au champ peut se lignifier et diminuer la qualité fourragère des coupes ultérieures.

La recherche indique également qu'une architecture avec des plants plus verticaux qui réduisent la verse, n'affecte en rien la digestibilité des fibres.



Les variétés résistantes à la verse permettent un meilleur rendement de récolte et réduisent les résidus de qualité inférieure lors de coupes ultérieures



ENROBAGE DES SEMENCES

De nombreuses entreprises de semences vendent des semences de luzerne cultivée enrobées. Un enrobage usuel épais contient 33 % de calcaire. Une semence avec un enrobage épais ou un enrobage calcaire ne présente aucun avantage constant en présence de sols en mottes (espaces vides entre les mottes) ou de sols secs. En fait, un enrobage épais peut ralentir l'absorption d'eau lorsque l'humidité du sol va d'humide à sol sec. Pioneer offre un enrobage mince qui contient 9 % de polymère. L'enrobage de la semence s'effectue par étape. En premier, on applique un fongicide directement sur la semence. Ensuite, on dépose une couche de séparation en mica et en polymère, suivie par une couche de rhizobium, puis une dernière couche de mica et de polymère. Le mica est un minéral lisse similaire à la poudre de talc. Il agit de manière à renforcer la fluidité et à faciliter l'ensemencement des graines de luzerne cultivée. L'enrobage par couches multiples de Pioneer^{MD} minimise la formation de poussières, améliore la protection offerte par le fongicide, assure une excellente activité du rhizobium et facilite l'ensemencement de la semence.

COMPTAGE DES GRAINES PURES VIABLES

Il est possible d'obtenir le nombre de graines pures viables à partir des informations retrouvées sur l'étiquette du sac. Il s'agit du

pourcentage de graines pures multiplié par le pourcentage total de la germination, divisé par 100. La graine pure viable est celle qui germera et qui contribuera à l'implantation du peuplement. Si l'étiquette indique 90 % de graines pures (excluant l'enrobage, les matières inertes, les mauvaises herbes et autres graines) et une germination totale de 90 %, multipliez le 90 % de graines pures par le 90 % de la germination, pour arriver à un total de 81 % de graines pures viables. Par contre, les variétés comptant un enrobage épais sur 34 % des grains partent avec seulement 66 % de graines pures. En multipliant ce nombre par la même germination de 90 % on obtient seulement 59 % de graines pures viables pour l'enrobage épais.

Une graine dure est une graine viable qui ne germe pas durant les sept jours de la période d'essai de la germination. Parfois, il existe une certaine confusion quant à savoir si les graines dures doivent être comptées lors du calcul des graines pures viables. Les agences gouvernementales de certification des semences incluent les graines dures dans le calcul des graines viables. Puisque la graine dure est incluse dans le total de germination indiqué sur l'étiquette, elle doit être incluse dans le calcul des graines pures viables. Pioneer scarifie la majorité des lots de semences afin de maintenir les graines dures à un niveau de 10 % ou moins de la semence finale. Un pourcentage supérieur de graines dures provenant de certains fournisseurs tend à indiquer un manque de scarification et peut mener à une période plus longue pour l'implantation du peuplement.

Le tableau ci-joint illustre le taux de semis en livre par acre (lb/a) et l'impact de l'enrobage des graines sur le nombre de graines par pied carré. Pour obtenir de 78 à 79 graines par pied carré, les producteurs sèmeraient 21 lb/a de graines de luzerne cultivée avec enrobage épais, mais seulement 15 lb/a de graines à enrobage mince. Lorsqu'un producteur sème une graine à enrobage épais et qu'il n'augmente pas le taux du semis, il existe un risque plus élevé d'obtenir un peuplement clairsemé ou avec de mauvaises herbes. Il risque aussi de ne pas réussir l'implantation du peuplement et de réduire ainsi le rendement du peuplement pour sa durée de vie. Le niveau d'enrobage peut avoir un impact considérable sur le coût des semences de la luzerne cultivée. Le tableau compare une variété à enrobage mince vendue à un prix plus élevé (225 \$ par sac de 50 lb) à une variété à enrobage épais vendue à 190 \$ par sac de 50 lb. Le tableau démontre que lorsque l'on souhaite 78 graines pures viables par pied carré, le coût de la semence à enrobage mince devient inférieur à celui de l'enrobage épais.

PRÉPARATION DU CHAMP

Les analyses du sol sont nécessaires afin de déterminer les besoins

en fertilisation avant d'en commencer la préparation. Le phosphore est essentiel à la croissance d'une racine de luzerne cultivée en santé ; le potassium est requis pour donner un rendement élevé. Des niveaux de pH du sol allant de 6,2 à 7,0 fournissent le meilleur environnement aux bactéries des nodules pour qu'elles fixent l'azote. Un lit de semence ferme est crucial pour l'établissement réussi de la luzerne cultivée. Cela améliore le contact de la semence avec le sol et prévient un semis trop profond. Les mottes de terre peuvent causer une profondeur d'ensemencement inégale, entraver les nouvelles plantules émergentes et assécher rapidement la surface du sol.

Le semis direct peut également être une option viable puisque le lit de semence est déjà ferme et l'humidité à la surface du sol est généralement bonne. Veuillez prendre des précautions particulières pour ajuster les roues de jauge de profondeur d'ensemencement selon la condition des champs et ajustez les roues plombeuses pour obtenir un très bon contact de la semence avec le sol. En portant une attention particulière à ces détails, l'implantation d'un peuplement sans travail du sol peut être très réussie.

Effet de l'enrobage des semences sur la densité réelle du semis

TAUX DE SEMIS LB/ACRE	SEMENCES/PI ² 9 % COUCHE MINCE	SEMENCES/PI ² 33 % COUCHE ÉPAISSE
24	125	91
21	110	79*
18	94	68
15	78*	57
12	63	45

Effet de l'enrobage des semences sur le semis de la luzerne cultivée, coût par acre

SEMENCES/PI ²	UNE COUCHE DE TAUX DE SEMIS DE 9 % EST NÉCESSAIRE LB/ACRE	UNE COUCHE DE TAUX DE SEMIS DE 33 % EST NÉCESSAIRE LB/ACRE	COUCHE DE SEMENCE DE 9 % COÛT/ACRE À 225 \$/UNITÉ*	COUCHE DE SEMENCE DE 33 % COÛT/ACRE À 190 \$/UNITÉ*
94	18	24,8	81 \$	94 \$
78	15	20,7	68 \$	79 \$
63	12	16,5	54 \$	63 \$

*Le coût par unité peut varier selon la variété et les remises approuvées.



PROFONDEUR DU SEMIS

La profondeur de l'ensemencement est cruciale dans le cas de la luzerne cultivée en raison de la dimension très petite de la graine. On recommande de semer à une profondeur de 0,63 à 1,27 cm dans les sols d'argile ou limoneux, et à une profondeur de 1,27 à 1,90 cm dans les sols sableux. L'humidité de la couche arable pourrait s'avérer inadéquate pour subvenir aux besoins des jeunes plantules. Celles-ci pourraient ne pas être en mesure de sortir si le semis est trop profond.

DATES DE SEMIS

Pour germer, la luzerne cultivée nécessite une température du sol de 2,2 °C comparativement à 4,7 °C pour le maïs et de 12,7 à 15,5 °C pour le soja. Dans les régions où l'on cultive la luzerne



dormante, les semis printaniers débutent généralement entre le 1^{er} avril et le 15 mai lorsqu'il y a moins de stress hydrique et de problèmes d'encroûtement. Un semis printanier pur (aucune plante-abri) permettra généralement au moins deux coupes pendant l'année du semis. Un semis pur est préférable dans les champs plats où l'érosion du sol est minime. La période typique pour un semis estival va du premier au 15 août, surtout là où les sols sont lourds et mal drainés. Cette fenêtre offre une concurrence réduite de la part des mauvaises herbes et moins de soucis pour les maladies (pythienne, phytophthoréenne et venant des aphanomyces). Les plantules de luzerne cultivée ont besoin d'au moins six semaines de croissance avant la gelée meurtrière. Il est également possible de semer la luzerne cultivée après une récolte de petites céréales ou de légumes, si la récolte a lieu tôt en août, si les conditions au champ s'y prêtent, et si les herbicides utilisés précédemment ne nuisent pas aux nouvelles plantules.

TAUX DE SEMIS

Le taux de semis généralement recommandé se situe entre 12 à 18 lb par acre de graines pures. Un taux de semis de 15 à 18 lb/acre est un bon point de départ pour des peuplements purs (semis clairsemé). Avec de la luzerne cultivée contenant environ 250 000 graines par livre on obtient environ 80 à 90 grains par pied carré. Ce taux de semis permet aux nouveaux peuplements de plantules de mieux combattre les mauvaises herbes et compense pour les conditions de sol en mottes dans des lits de semence qui ne sont pas parfaits. Un taux de semis inférieur (10 à 12 lb/acre) peut être adéquat dans des conditions de sol parfaites ou dans des sols sableux; toutefois, un taux de semis inférieur accroît le risque de peuplement non uniforme ou ayant un manque d'uniformité ce qui peut nuire à la production tout au long de la durée de vie du peuplement.

MAÎTRISE DES MAUVAISES HERBES À LA LEVÉE

La préparation du champ par un travail du sol traditionnel fournit généralement un lit de semence propre. Cependant, sans une maîtrise à l'aide d'un herbicide, les mauvaises herbes peuvent lever et pousser plus vite que les plantules de luzerne cultivée jusqu'à dominer le peuplement au bout de quelques semaines seulement. Une option est de prendre le premier cisaillement, lequel peut contenir plus de mauvaises herbes que la luzerne cultivée. Pourvu que la luzerne cultivée ne soit pas étouffée, elle aura tendance à pousser plus rapidement que la plupart des mauvaises herbes, surtout au bout de deux mois lorsque la racine principale est établie.

Certains producteurs sèment jusqu'à 10 lb/acre de plus que le taux de semis recommandé de manière à étouffer les mauvaises herbes. Toutefois, en considérant le coût de la semence par rapport au coût d'une maîtrise herbicide, il est souvent moins

coûteux et certainement plus efficace d'utiliser un herbicide bien connu. La disponibilité de variétés de luzerne cultivée résistantes au glyphosate fournit un autre choix de lutte contre les mauvaises herbes. La végétation existante peut également être maîtrisée avant la nouvelle semence par l'application de glyphosate.

Le semis direct peut offrir moins de concurrence avec les mauvaises herbes pendant l'implantation du peuplement surtout si la récolte précédente n'était pas envahie par de mauvaises herbes. Le semis direct empêche également les graines des mauvaises herbes provenant du sol de faire surface là où la germination se produira. Un semis pur sans travail du sol, pratiqué en conjonction avec un herbicide non sélectif peut également fournir un excellent lit de semence. La nécessité d'utiliser un herbicide en postlevée peut être évaluée à mesure que le peuplement progresse.

LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES AU SEIN D'UN PEUPELEMENT ÉTABLI

Un dense feuillage de luzerne cultivée et un programme de coupes fréquentes auront tendance à tenir les mauvaises herbes en échec. Toutefois, certaines mauvaises herbes amorcent leur croissance lorsque la luzerne cultivée est en période dormante, y compris les annuelles à feuilles larges comme la stellaire moyenne, le lamier amplexicaule, les espèces de moutardes et le brome des seigles retrouvés dans les Plaines et les états de l'ouest. Veuillez considérer des options d'herbicide pour les annuelles hivernales et pour des applications pendant la période dormante au cours de l'hiver, afin de contre ces mauvaises herbes.

Il existe plusieurs options de maîtrise à large spectre des mauvaises herbes établies dans les peuplements de feuilles larges et de

graminées. Certains choix d'herbicides ont une longue portée résiduelle. Examinez attentivement les espèces de mauvaises herbes et les restrictions de rotation lorsque vous faites le choix d'un herbicide pour un peuplement plus âgé.

UTILISATION D'UNE PLANTE-ABRI

Dans les régions qui demandent un contrôle de l'érosion pendant le début de l'implantation du peuplement, l'utilisation de l'avoine ou de l'orge comme plante-abri est pratique courante. Avant l'utilisation des herbicides, cette pratique fournissait un peu de concurrence aux mauvaises herbes, de même qu'une récolte de fourrage supplémentaire durant l'année du semis de la luzerne cultivée. Lorsque la plante-abri est semée avant la luzerne cultivée, elle devrait être semée à un taux moindre que celui du semis idéal et récoltée au stade de la fin montaison de manière à prévenir la concurrence avec les plantules de luzerne cultivée.

Une recherche récente avec des plantes-abris suggère d'appliquer un herbicide au début de la postlevée pour éliminer la plante-abri ainsi que les mauvaises herbes de petite taille. Cette pratique permet : une maîtrise de l'érosion précoce grâce à la plante-abri, une meilleure maîtrise des mauvaises herbes, une croissance plus rapide de la luzerne cultivée pour de meilleurs rendements et une luzerne de plus grande qualité. Si vous cultivez la luzerne avec une plante-abri, surveillez de près pour la présence de mauvaises herbes et envisagez l'utilisation d'un herbicide en postlevée de la luzerne.

Il n'est pas recommandé de semer la luzerne avec une plante-abri, car cette dernière peut lui faire concurrence pour l'eau et les nutriments.

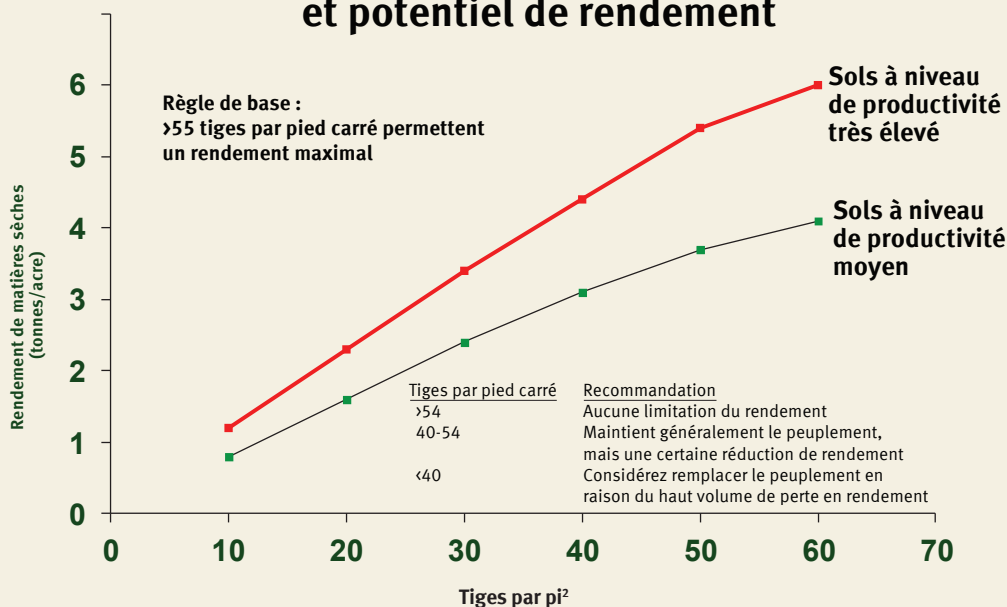
PEUPELEMENTS MÉLANGÉS

Si les conditions du sol conviennent à la luzerne cultivée, les peuplements purs sont privilégiés. Toutefois, en présence de

Options de semis de luzerne cultivée

SEMIS DIRECT	PLANTE-ABRI
<ul style="list-style-type: none"> Recommandé pour les fourrages de haute qualité Équilibre la qualité fourragère, le tonnage et l'implantation de la luzerne cultivée Choisissez des champs à faible érosion Des options de lutte contre les mauvaises herbes doivent être considérées 	<ul style="list-style-type: none"> Adaptée aux terres sujettes à l'érosion par le vent et l'eau Choisissez une plante-abri (avoine, orge de printemps, triticale de printemps). Évitez le blé d'hiver et de printemps ainsi que le seigle (les applications d'azote peuvent offrir trop de concurrence) Sélectionnez des variétés d'hybrides hâtives et de faibles hauteurs Dans les sols sableux, semez 1 bo (sol sableux) et 1,5 bo (sols lourds)/acre. Semez plus profondément que la luzerne cultivée de 2,5 à 5,1 cm Limitez les applications d'azote. Pas plus de 30 lb/acre pour éviter une augmentation de la verse des céréales et de l'azote accessible aux mauvaises herbes Récoltez tôt (stade fin montaison) – recommandé Récoltée pour le grain/paille – non recommandé

Dénombrement de tiges de luzerne cultivée et potentiel de rendement



conditions plus difficiles, les peuplements comportant un mélange de luzerne-graminée peuvent avoir leur place. En effet, ils sont moins sensibles à la cicadelle de la pomme de terre, au déchaussement et à la destruction par l'hiver. En général, la proportion de luzerne par rapport à la graminée varie de 2:1 à 3:1 pour un taux de semis total d'environ 20 lb/acre. La phléole des prés, le dactyle pelotonné, le ray-grass et l'alpiste roseau sont tous utilisés en peuplements mélangés. La fétuque élevée sans endophyte se mélange également bien avec la luzerne cultivée et gagne en popularité en raison de son adaptation à des conditions de drainage de sol variées, de son potentiel de rendement élevé et de sa qualité.

ÉVALUATION DU PEUPELEMENT

Il est préférable de vérifier la viabilité des champs de luzerne cultivée lorsqu'ils ont commencé à verdifier au début du printemps. Vérifiez la présence de bourgeons et la vigueur de la nouvelle pousse. Les couronnes saines sont larges, symétriques et ont de nombreuses nouvelles pousses. Vérifiez s'il y a lenteur à verdifier, des couronnes désaxées et des pousses à croissance inégale. En présence d'une de ces caractéristiques, poussez plus loin votre enquête pour vérifier s'il y a pourriture des racines ou des racines brisées.

Si le déchaussement est évident, déterrez certaines plantes afin de déterminer si la racine principale est brisée. Ces plantes peuvent

verdir, mais elles sont peu performantes et elles mourront éventuellement. Des plantes légèrement déchaussées peuvent survivre, mais leur longévité et leur productivité seront réduites. Les couronnes déchaussées d'un pouce ou moins ne sont pas aussi susceptibles d'avoir une racine principale brisée. Avec le temps, ces plantes peuvent se stabiliser par elles-mêmes. Les couronnes soulevées sont sensibles aux conditions météorologiques et aux dommages mécaniques. Soulevez les barres de coupe pour éviter d'endommager les couronnes exposées. L'utilisation d'un rouleau cultitasseur ou d'un aplatisseur pour repousser les couronnes dans le sol peut faire plus de mal que de bien en endommageant les couronnes et en brisant les racines principales.

Lorsque la croissance de la luzerne cultivée atteint une hauteur de 10 à 15 cm, utilisez le dénombrement des tiges (tiges/pi²). C'est la meilleure mesure de densité. Comptez uniquement les tiges suffisamment hautes pour être fauchées. Une densité de 55 tiges/pi² offre un bon potentiel de rendement. Attendez-vous à une certaine perte de rendement si vous comptez entre 40 et 50 tiges/pi². Envisagez de remplacer le peuplement s'il compte moins de 40 tiges/pi², et si la couronne et la racine ne sont pas en santé. Le dénombrement des tiges est un outil d'évaluation efficace pour les peuplements de tous âges. Les peuplements plus âgés comportent moins de plants par mètre carré, mais ils produisent plus de tiges que les jeunes.



SEMER

CULTIVER

RÉCOLTER

ENTREPOSER

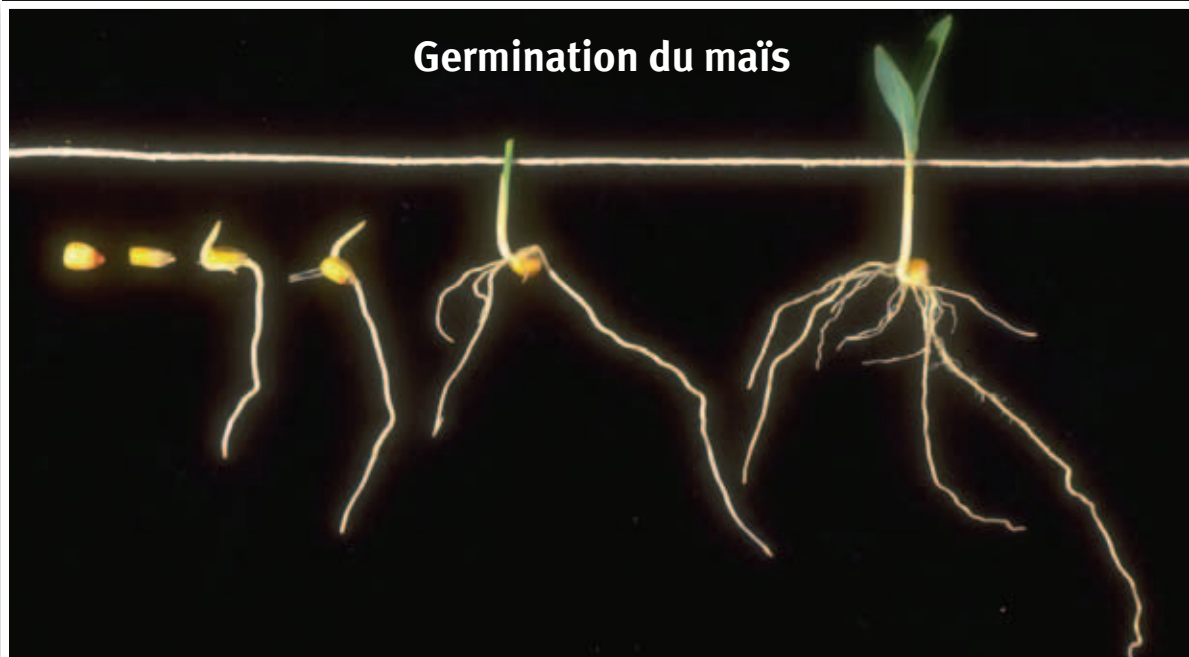
SERVIR

MAÏS

La croissance et le développement du maïs sont généralement classés par l'attribution d'un stade de développement. La méthode de classification par stade la plus courante consiste à diviser le développement du plant en stades végétatifs (V) et reproductifs (R). Les subdivisions des stades V sont désignées numériquement par V1, V2, V3, jusqu'à Vn, où le « n » représente simplement le dernier stade de la feuille avant la floraison mâle (panicule). Le premier stade V est désigné par VE et le dernier stade V par VT. Le stade final de la feuille, Vn, selon l'hybride et/ ou les influences environnementales.



Germination du maïs



STADES VÉGÉTATIFS (V)

- Stades avant le développement de l'épi
- Vn représente le dernier stade de la feuille avant la floraison mâle pour un hybride particulier cultivé et varie fréquemment selon l'hybride et/ou les influences environnementales

STADES DE REPRODUCTION (R)

- Stades du développement de l'épi
- Remplissage du grain en amidon
- La récolte de l'ensilage se produit habituellement au cours du stade R5

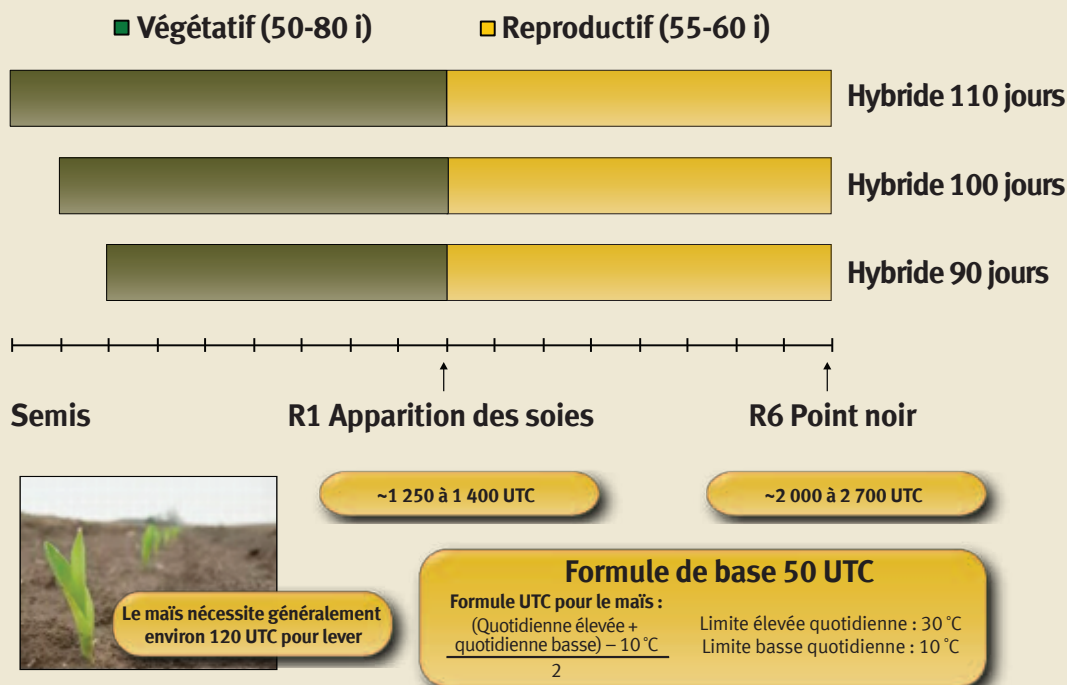
STADES VÉGÉTATIFS

VE	Levée
V1-Vn	Stades foliaires
VT	Panicule

STADES REPRODUCTIFS

R1	Soies
R2	Gonflage
R3	Lait
R4	Stade pâteux
R5	Dent
R6	Point noir

Exigences du maïs en unités thermiques de croissance (UTC)



DÉTERMINER LES STADES FOLIAIRES DU MAÏS

Pour déterminer les stades foliaires, les agronomes chargés de vulgariser et ceux des entreprises de semences utilisent principalement la méthode basée sur le « collet de la feuille ». Cette méthode détermine chaque stade foliaire selon la feuille la plus haute dont le collet est visible.

La première partie visible du collet est l'endos qui apparaît comme une ligne décolorée entre le limbe foliaire et la gaine foliaire. La forme ovale de la première feuille ou « scutellum » sert de point de référence pour compter les feuilles en allant de collet vers le haut. Le petit scutellum ovale est compté comme la première feuille d'un plant de maïs lors de la classification par stade de la croissance végétative. Si un plant a quatre collets de feuilles visibles, alors il est défini comme un V4. Normalement,

un plant au stade V4 possède les sections visibles de la cinquième et de la sixième feuille, mais seulement quatre feuilles avec des collets distincts.

Puisque typiquement, les plants de maïs atteignent une maturité dépassant le stade V10, il arrive souvent que les feuilles du bas meurent (sénescence naturelle). Même si les feuilles sont disparues, le stade végétatif peut toujours être établi par la méthode du collet. Il s'agit de localiser le cinquième nœud du plant de maïs auquel s'attache la cinquième feuille. C'est le premier nœud à se développer au-dessus de la surface du sol. Il suffit de trouver le cinquième nodule et de compter le nombre de collets au-dessus de cette « cinquième feuille » pour déterminer le bon stade végétatif de croissance. Un champ est défini comme étant à un certain stade de croissance lorsqu'au moins 50 % des plants présentent des collets pour le nombre de feuilles.

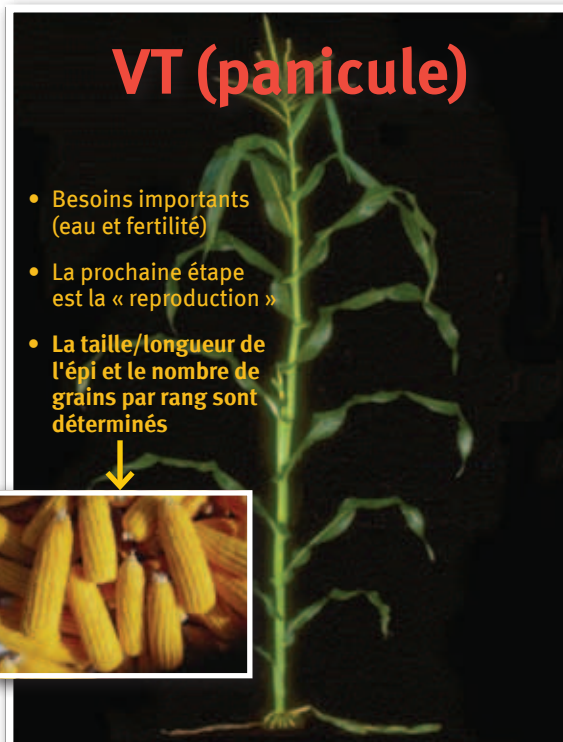
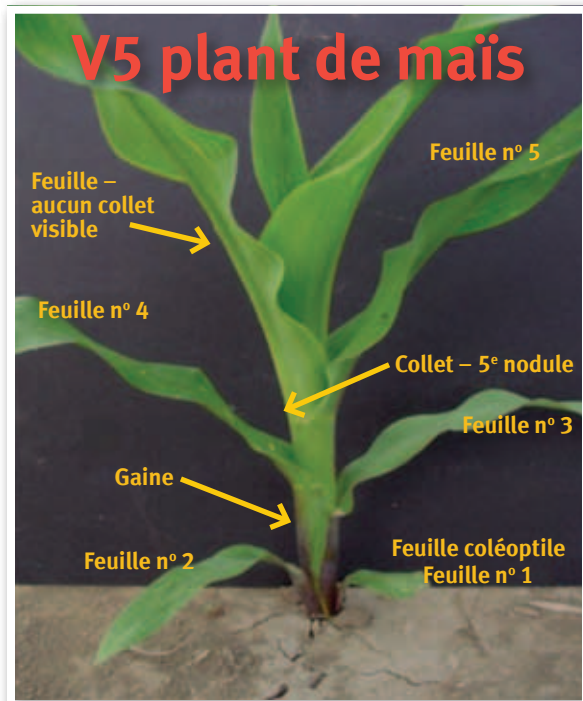
PRINCIPALES PÉRIODES DE CROISSANCE

Le maïs est un plant robuste lorsqu'il s'agit de récupérer du stress et des dommages provoqués tôt en saison par le gel. Le point végétatif pour un maïs V5 (cinq collets de feuille visibles) se trouve sous le niveau du sol où il est protégé des basses températures.

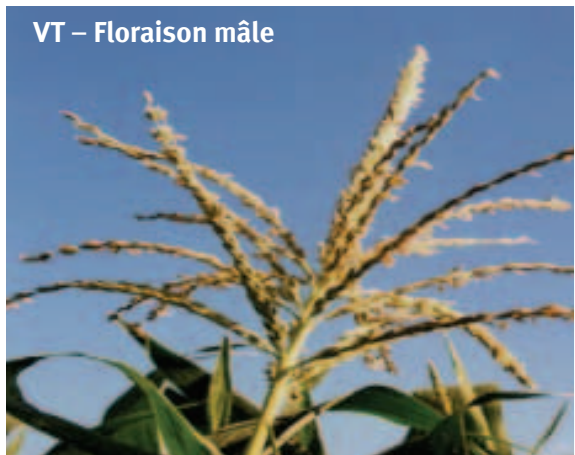
À partir du stade V6 de la croissance, un plant de maïs commencera à déterminer son potentiel de rendement. C'est au cours de cette période que le nombre de grains autour de l'épi ou la circonférence de l'épi est déterminé. Pour cette raison, un minimum de stress à ce stade est essentiel pour les plants afin de maximiser la circonférence potentielle de l'épi.

V6 à VT représentent la période de croissance rapide où le plant consommera les nutriments du sol à un rythme maximal. Peu après la floraison mâle (VT), le plant entreprendra le stade « reproductif » de la croissance.

C'est environ au stade de croissance VT que la taille « totale » de l'épi est déterminée. Cela inclut la circonférence qui a été déterminée à V6 et le nombre de grains par rangée ou la longueur totale de l'épi. La longueur de l'épi est définie durant une période de croissance rapide du plant. Les exigences en eau et celles de la fertilité sont importantes au cours de ces stades, et des pénuries peuvent sensiblement réduire le rendement.



VT – Floraison mâle



**R1 – Apparition
des soies**



R2 – Gonflage



Lorsque la pollinisation débute, le potentiel de rendement maximum a été défini. Seuls les facteurs environnementaux tels que la sécheresse, les insectes de fin de saison, les maladies et les événements environnementaux (p. ex. : grêle, vent fort) influencent négativement le rendement final. Le maïs cultivé pour l'ensilage sera habituellement récolté pendant le stade R5 ou au stade entièrement denté, mais avant la formation du point noir ou l'atteinte de la maturité physiologique des grains.

La maturité physiologique est atteinte au stade R6 (point noir) qui survient environ de 55 à 65 jours après l'apparition des soies. À ce stade, le grain a déposé tout l'amidon possible. Au stade R6, le taux moyen d'humidité du grain est généralement de 34 %. Cependant, cela peut varier considérablement selon les hybrides et les conditions ambiantes.

Le taux d'assèchement au champ après le stade R6 dépend de l'hybride et des conditions ambiantes. Au stade R6, le taux d'humidité du grain pour le maïs grain humide est très près de la teneur souhaitée pour l'ensilage épi/hampe, soit de 30 à 34 %.

DÉPISTAGE DES PROBLÈMES

De la levée au stade V5, il faut porter attention à la profondeur du semis et aux problèmes de levée. De plus, on doit détecter très tôt la présence d'insectes ou de mauvaises herbes qui pourraient affecter la vigueur du plant. Du stade V5 à la floraison mâle, le stress hydrique et la première génération d'insectes sont des facteurs clés qui pourraient limiter le rendement. De la floraison mâle à la maturité pour récolter l'ensilage, il importe de surveiller la deuxième génération d'insectes, les maladies foliaires et les problèmes de moisissure.

**R5 – Maturité de
dents pour l'ensilage**



INSECTES COMMUNS DU MAÏS



Pyrale du maïs européen



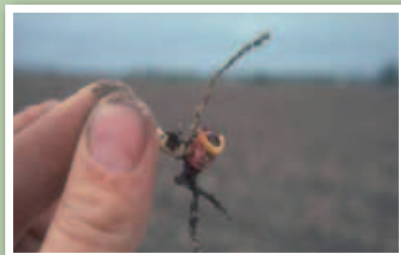
Scarabées japonais



Ver-gris noir



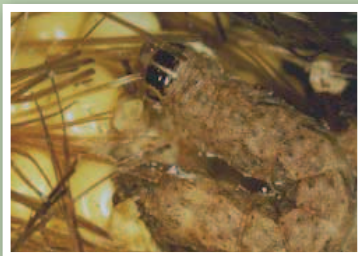
Légionnaire d'automne



Taupin



Pyrale du maïs Southwestern



Ver-gris occidental du haricot



Tétranyque



Vers de l'épi



Chrysomèle des racines



Hanneton

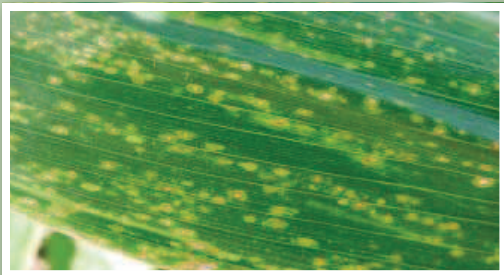


Puceron

CONSEILS POUR DIAGNOSTIQUER ET GÉRER LES MALADIES FOLIAIRES DU MAÏS

- Choisissez des hybrides résistants
- Gérez correctement les résidus

- Temps de semis
- Appliquez un fongicide dans les champs à risque élevé



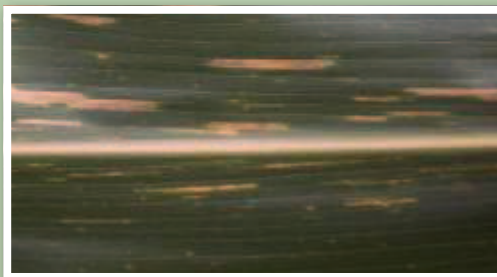
Lésions ocellées



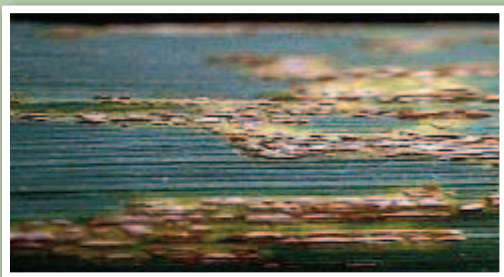
Taches du Nord de la feuille



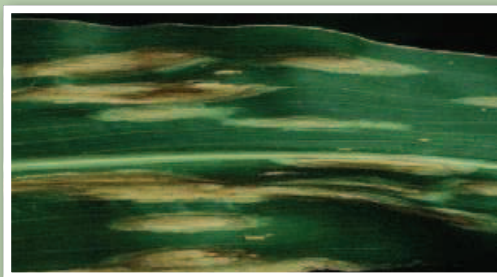
Helminthosporiose du Sud du maïs



Taches grises



Rouille commune



Helminthosporiose du Nord du maïs



Rouille du Sud



Flétrissement Goss

FERTILITÉ DU SOL

Des analyses de sol effectuées avant de semer peuvent informer les producteurs des différentes quantités de nutriments disponibles à la culture. Les éléments nutritifs du sol peuvent être soustraits ou ajoutés selon les besoins totaux de la culture en nutriments pour de l'ensilage de maïs, selon les objectifs de rendement.

EN COURS DE SAISON FERTILISATION AZOTÉE

- Un des plus importants nutriments.
- Le plus susceptible à la perte par lessivage dû :
 - Aux fortes précipitations
 - À l'irrigation excessive
 - À la dénitrification dans l'atmosphère

EFFICACITÉ DE L'AZOTE UTILISÉ PAR LA CULTURE

- Plus élevée** ↓ **Plus basse**
1. Système d'aspersion utilisé pendant les phases de croissance rapide (V6 à VT)
 2. Épandage en bandes latérales juste avant les phases de croissance rapide
 3. Incorporé après le semis
 4. Incorporé avant le semis
 5. Épandage automnal pour la récolte de l'année suivante

FERTILITÉ DURANT LA SAISON

- Un « engrais de démarrage » près de la racine est bénéfique pour les jeunes plants
- L'engrais devrait être placé dans la « bande de 2x2 »

5 cm sur
le côté



5 cm sur
le côté

5 cm en
dessous

- Un engrais placé trop près peut causer des dommages par le sel à un jeune plant
- Les racines ne sont pas attirées par les engrais, par conséquent l'engrais doit être placé là où les racines seront

SYMPTÔMES COMMUNS DE CARENCE NUTRITIVE DU MAÏS

AZOTE

- L'absorption se poursuit pratiquement jusqu'à la maturité.
- Peut être transporté des parties du plant pour faire croître le grain.
- Une carence en azote se manifeste par une couleur jaunâtre en forme de « V » à partir du bout de la feuille vers le collet, et des feuilles du bas vers celles du haut.

POTASSIUM

- Le besoin en potassium est terminé pratiquement après l'apparition des soies.
- Peut être transporté du plant pour faire croître le grain.
- Une carence en potassium provoque une couleur jaune et brune sur les rebords de la feuille. Elle survient premièrement sur les feuilles du bas et peut progresser aux feuilles du haut.

PHOSPHORE

- L'absorption se poursuit pratiquement jusqu'à la maturité.
- Peut être transporté des parties du plant pour faire croître le grain.
- Une carence en phosphore se traduit par une couleur violette sur les feuilles inférieures.

ZINC

- Une carence en zinc peut être induite par les programmes de traitement à base de cuivre des sabots. On en retrouve des traces dans les eaux usées des exploitations laitières.
- La carence en zinc est également reliée à un pH élevé du sol.
- Une carence en zinc apparaît sur les feuilles du haut. Le jaunissement entre les nervures commence au centre de la feuille et progresse vers l'extérieur.

Les rendements escomptés déterminent en grande partie les nutriments requis par la culture. Le tableau ci-dessous illustre les quantités de nutriments retirés par tonne d'ensilage récolté. Les nutriments du sol disponibles à la culture varient en fonction de facteurs tels que le pH du sol, le compactage et autres facteurs divers.

Besoins en nutriments par tonne d'ensilage récolté (30 % de matière sèche)

NUTRIMENTS DU PLANT	LIVRES PAR TONNE
Azote	8
Phosphate (P ₂ O ₅)	4
Potassium (K ₂ O)	8
Soufre	1
Zinc (oligo-élément)	,007

Les tests pour les éléments nutritifs du sol, avant le semis, peuvent informer les producteurs des différentes quantités de nutriments disponibles à la culture. Les règles générales concernant la disponibilité des nutriments comprennent :

- L'absorption des nutriments commence avant la levée.
- L'absorption de nutriments est faible au début de la saison, mais les nutriments dans le voisinage de la racine doivent être élevés.
- Les carences de nutriments peuvent être déterminées par le biais de symptômes sur le plant.

IMPACT DE L'ENVIRONNEMENT SUR LA CROISSANCE

Les conditions de croissance (en particulier l'humidité) sont une source majeure de la variabilité nutritionnelle observée chez les hybrides au cours des années et selon les emplacements. Les chercheurs de l'Université de l'Illinois attribuent 19 % de la performance du rendement en grain à la génétique des hybrides. Le reste provient des conditions météorologiques (27 %), de l'azote (26 %), de la culture précédente (10 %), de la densité du peuplement (8 %), du travail du sol (6 %) et des régulateurs de croissance (4 %).

GESTION DE L'IRRIGATION – STRESS HYDRIQUE



Bien alimenté en eau

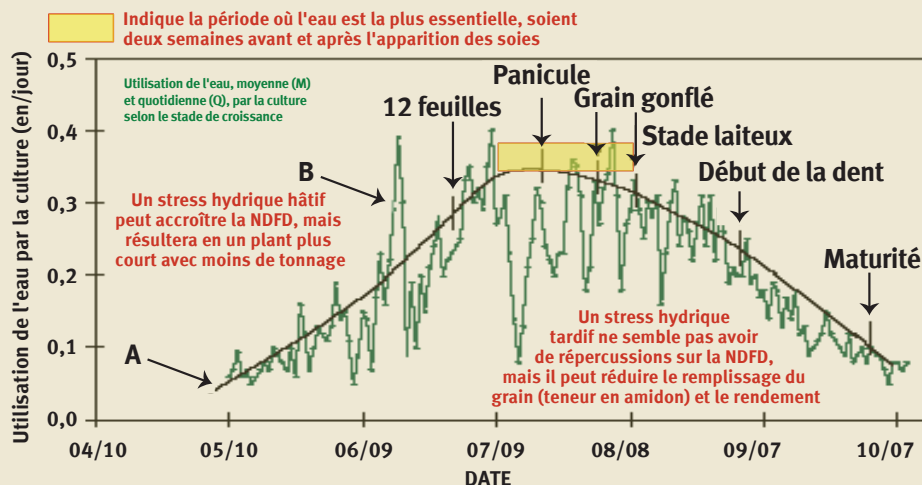


400 UTC
stress préfloraison

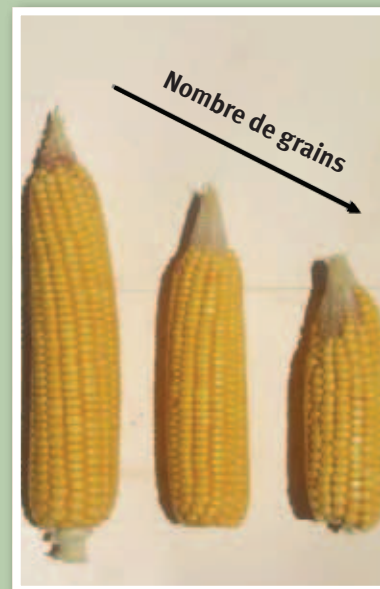


700 UTC
stress préfloraison

Le manque d'eau est le principal facteur limitant la croissance du maïs.



GESTION DE L'IRRIGATION - STRESS HYDRIQUE



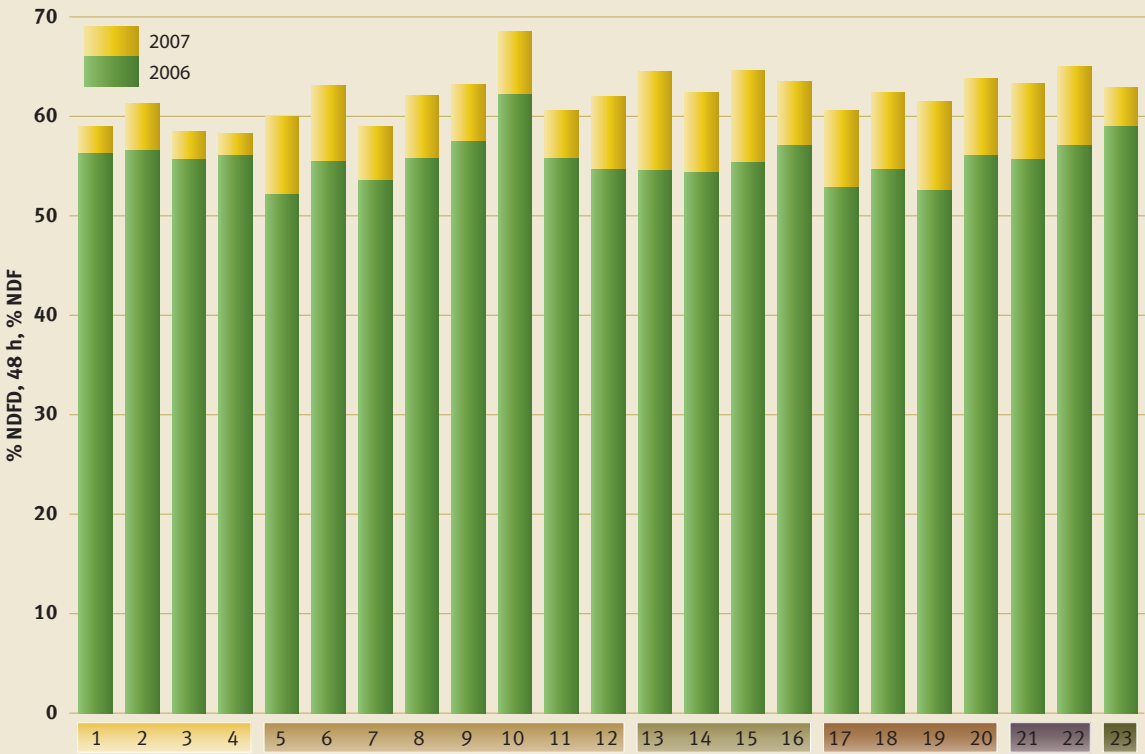
La recherche menée par l'Université Cornell suggère que des conditions de croissance modérément sèches et fraîches améliorent la qualité nutritionnelle de l'ensilage de maïs et un léger stress hydrique stimule la production des semences (grains). Les températures fraîches (surtout la nuit) semblent inhiber le développement de la paroi de la cellule secondaire laquelle peut avoir un impact négatif sur la digestibilité de la fibre.

Les conditions de croissance avant et après l'apparition des soies (R1) affectent de façon différente les valeurs nutritives de l'ensilage de maïs. En général, les conditions sèches pendant les stades végétatifs de la croissance du plant améliorent la digestibilité des fibres (fibre détergente neutre digestible - NDFD). Les températures au-dessus des normales ont tendance à atténuer l'effet positif du faible taux d'humidité sur l'amélioration de la NDFD. Des précipitations plus abondantes que la normale, pendant la croissance végétative, tout en améliorant le rendement du plant entier (plants plus grands) ont tendance à réduire la digestibilité des fibres.

Le tableau ci-dessous illustre les données de l'Université de l'État du Michigan (MSU) obtenues de parcelles d'ensilage récolté lors d'une saison de croissance avec des précipitations abondantes (2006) comparées aux mêmes hybrides récoltés de la même parcelle, lors d'une saison de croissance relativement sèche (2007). Les hybrides ont obtenu en moyenne un pointage supérieur de 6,5 points en NDFD de 24 heures lors d'une année de sécheresse. Il est intéressant de noter, que comme prévu, la NDFD la plus élevée des deux saisons provenait d'un hybride à nervure brune (BMR), et que pratiquement la moitié des hybrides classiques cultivés au cours de l'année de sécheresse avaient une concentration plus élevée en NDFD que le BMR cultivé au cours de l'année avec des précipitations abondantes.

Pendant les stades reproductifs, les conditions ambiantes de croissance semblent avoir peu d'impact sur la NDFD. Cependant, elles affectent le dépôt d'amidon dans le grain (rendement en grain), le ratio amidon/fibre et finalement la digestibilité totale du plant. Les recherches menées par des universités et des entreprises de semences

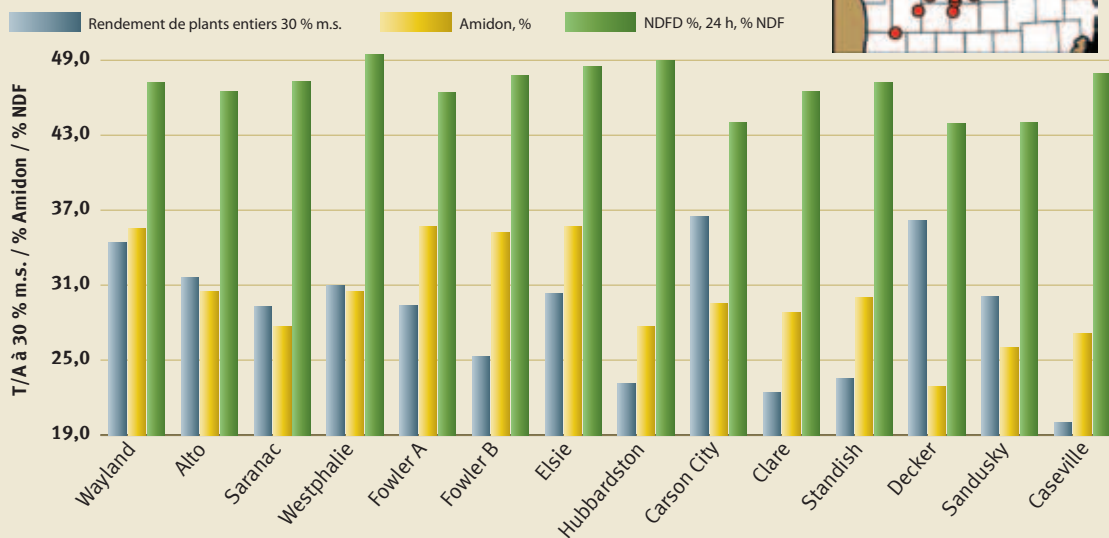
Effet environnemental sur la croissance des mêmes hybrides cultivés sur des parcelles d'ensilage MSU en 2006 (année humide) par rapport à 2007 (année de sécheresse)



Chaque couleur de bloc indique un différent emplacement de parcelle où le même hybride a été cultivé pendant ces deux années

Source : Dann Bolinger, M.S. – DuPont Pioneer spécialiste laitier, Michigan

Rendement, teneur en amidon et NDFD (24 h) du même hybride cultivé à plusieurs endroits au Michigan en 2009



Source: Dann Bolinger, M.S. – DuPont Pioneer spécialiste laitier, Michigan

indiquent minimales différences génétiques (3 à 4 % en NDFD) entre les hybrides non BMR (à nervures non brunes). La grande variation observée pour la NDFD d'une ferme à l'autre et d'une saison à l'autre est le résultat de facteurs environnementaux tels que les conditions ambiantes et la date de récolte. C'est la raison pour laquelle les producteurs d'ensilage de maïs du Midwest et de l'Est, avec moins d'acres irrigués et plus de variations dans les températures, luttent davantage pour quantifier et pour gérer la digestibilité de l'ensilage de maïs. Le tableau ci-dessus illustre le rendement en ensilage, la teneur en amidon et la NDFD après 24 heures du même hybride cultivé sur 14 emplacements au Michigan, en 2009. Le tableau démontre clairement pourquoi il est erroné de considérer la génétique des hybrides comme la cause principale des différences nutritionnelles lorsqu'on compare les hybrides cultivés sur différentes fermes. C'est aussi la raison pour laquelle les parcelles d'entreprises de semences et celles des universités comparent uniquement les hybrides cultivés sur le même emplacement (côte à côte).

Les sélectionneurs de maïs sont très intéressés par l'interaction entre génétique et environnement (GxE). Si la GxE est significative (au sens statistique), cela signifie que les hybrides cultivés dans des environnements différents pourraient se classer différemment pour tout caractère en particulier. Comparer cela à l'influence environnementale sur la génétique signifie qu'elle aura un classement similaire d'un environnement à l'autre, mais que l'ampleur relative de la différence dépendra de l'environnement particulier. Cela pourrait

également indiquer que les valeurs absolues changeront sans qu'il y ait de changement dans les différences relatives des hybrides entre les environnements. L'impact de la GxE explique la raison pour laquelle les entreprises de semences effectuent autant d'essais pour déterminer le domaine d'adaptation des hybrides. Rien n'indique que les caractéristiques nutritionnelles sont plus sensibles aux interactions environnementales que le grain ou le rendement du plant entier.

La recherche par les sélectionneurs de maïs suggère que pour être confiant à 95 % dans la sélection du meilleur hybride pour un rendement d'ensilage ou des caractéristiques nutritionnelles, environ 20 comparaisons directes côte à côte (dans les mêmes parcelles) sont requises, de préférence sur plusieurs années, pour tenir compte des effets environnementaux annuels uniques. Les données d'une seule parcelle ne veulent pratiquement rien dire puisque la variabilité est causée par les facteurs incluant le compactage du sol, l'historique d'une récolte précédente, l'historique de la fertilité/lisier, le type de sol, la disponibilité de l'eau, le travail du sol et les dégâts causés par les insectes. Pour mettre une seule parcelle en perspective, sur un sol moyen avec un potentiel de rendement de 150 bo/acre, un hybride avec un avantage de deux tonnes par acre (30 % m.s.) n'a seulement que 60 % des chances d'être un hybride au potentiel supérieur de rendement en ensilage. Les probabilités de sélectionner l'hybride d'ensilage à rendement supérieur augmentent à 95 % avec un avantage de rendement de deux tonnes démontré sur 30 parcelles individuelles de maïs ensilage.

LUZERNE CULTIVÉE

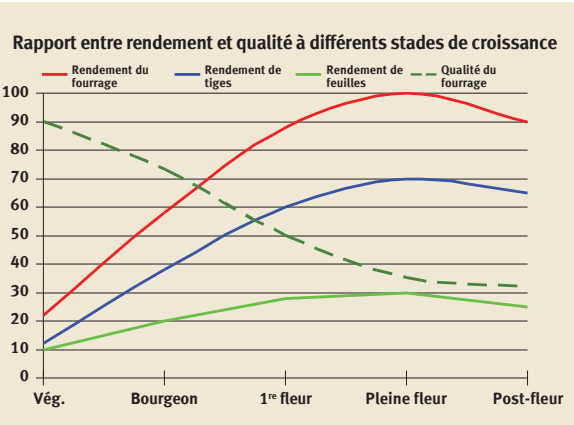
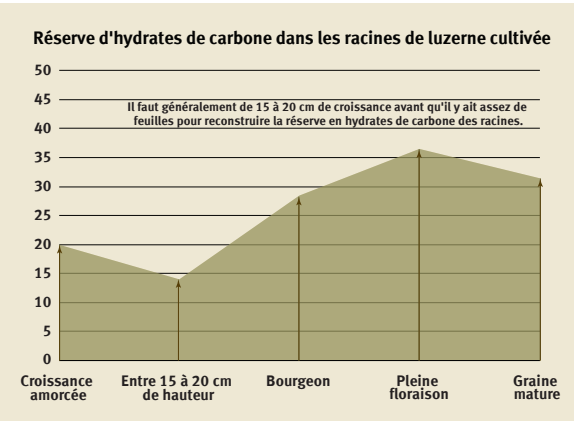
La semence de la luzerne est très petite à environ 225 000 graines par livre. Cela signifie qu'il est essentiel de placer la graine à la bonne profondeur pour obtenir un bon peuplement. Selon les conditions d'humidité du sol et la température, la luzerne germe et les plantules sortent à l'intérieur de trois à sept jours. La semence de luzerne peut germer à des températures supérieures à 3 °C. Toutefois, la température optimale du sol se situe entre 18 et 25 °C. Des températures plus élevées du sol accroissent l'activité métabolique et la circulation de l'eau dans la semence. Sous de bonnes conditions de croissance, la plantule est entièrement développée au bout de dix à quinze jours après le semis.

À l'intérieur de quatre semaines, les nodules seront formés à partir de la racine de la luzerne. Ces nodules contiennent des bactéries spécifiques (*rhizobium meliloti*) permettent à la plante de fixer l'azote de l'air. Le plant de luzerne peut utiliser l'azote du sol si la nodulation ne se produit pas comme c'est le cas lorsque, dans l'année du semis, le pH du sol est trop élevé ou que l'on a étendu un fumier (lisier) à teneur trop élevée en azote. Après, environ quatre mois, les bourgeons les plus bas, tirés dans le sol forment la couronne. Au cours de l'année de semis, les variétés rustiques comptent plusieurs nodules tirés sous la surface du sol. C'est ce qu'on nomme la croissance contractile qui entraîne un raccourcissement et un élargissement des cellules dans la partie supérieure de la racine primaire à la suite d'un stockage en glucides. La croissance contractile a pour effet de tirer les nodules situés au bas de la tige de 2 à 7,5 cm sous la surface du sol. Elle améliore aussi la survie des couronnes pendant la période hivernale.

La croissance printanière démarre à partir des bourgeons de la couronne. Ils dépendent de la réserve en glucides contenue dans la racine et la couronne. Après la récolte, la croissance s'effectue principalement à partir des bourgeons de la couronne, mais peut également démarrer aux bourgeons auxiliaires (où la feuille s'attache à la tige) si la coupe est assez élevée.

Les conditions de croissance au cours des deux premières semaines suivant la récolte sont cruciales pour déterminer le nombre de tiges sur chaque plant. Un ratio feuilles/tige élevé offre une valeur nutritive supérieure (plus de protéines à partir des feuilles et moins de fibre provenant de la tige). Au printemps, comparativement à la repousse de l'été, le ratio feuilles/tiges est inférieur et diminue également à mesure que la plante passe de l'état végétatif à une pleine fleur. Le rendement total de la luzerne représente le cumul du nombre et du poids de chaque tige.

La zone d'essai de croissance des plantes, utilisée par l'Université de Cornell, pour l'évaluation de la croissance du peuplement est illustrée dans le tableau ci-joint.



Stades de croissance de la luzerne cultivée

INDICE DE MATURITÉ	ÉTAT DE MATURITÉ
0	Longueur de la tige, moins de 15 cm
1	Longueur de la tige entre 15 et 30 cm
2	Longueur de la tige, plus de 30 cm
3	Début du bourgeonnement, 1 à 2 nodules avec bourgeons visibles, aucune fleur ou gousse
4	Bourgeonnement tardif, plus de 2 nodules avec bourgeons visibles, aucune fleur ou gousse
5	Début de la floraison, un nodule avec au moins une fleur ouverte
6	2 nodules ou plus avec une fleur ouverte

Source : Université Cornell.

Au cours de l'automne, les variétés de luzerne cultivée dormante modifient leur métabolisme en préparation pour l'hiver. Elles utilisent le sucre comme antigel pour protéger la couronne, ses bourgeons, et les racines en prévision de températures du sol aussi basses que 5 °C. La couverture de neige sert d'isolant pour les protéger contre des températures du sol extrêmement basses.

FERTILISATION

Avant de travailler le sol, il faut l'analyser pour déterminer les besoins en fertilisation. Le phosphore (P) est essentiel pour le développement d'une racine de luzerne cultivée en santé. Le potassium (K) est requis pour donner un rendement élevé. Si nécessaire, épandre de la chaux, du phosphore et du potassium.

La luzerne exige beaucoup d'azote puisque son fourrage compte une teneur élevée en protéines. Il n'est pas nécessaire d'appliquer un engrais azoté puisque la bactérie rhizobium fixe aux racines des nodules l'azote de l'air. Les niveaux de pH du sol supérieurs à 6,5 fournissent le meilleur environnement à cette bactérie nodale pour fixer l'azote. La luzerne a une demande élevée en potasse (K₂O). Les rendements élevés nécessitent un épandage dans la plupart des sols. Essayez de ne pas dépasser 200 lb de K₂O par épandage afin d'éviter la consommation superflue.



**Tiges de luzerne cultivée
représentant un indice
de maturité de 0 à 6**

Taux des prélèvements de nutriments par la luzerne

NUTRIMENTS	LIVRES PAR TONNE (M.S.) DE LUZERNE CULTIVÉE	PRÉLÈVEMENT ANNUEL POUR UN RENDEMENT DE 4 TONNES (M.S.)	PRÉLÈVEMENT ANNUEL POUR UN RENDEMENT DE 6 TONNES (M.S.)
Azote	60	240	360
P ₂ O ₅	12	48	72
K ₂ O	60	240	360
Soufre	5	20	30

Une réponse au potassium est peu probable lorsque l'analyse du sol pour K₂O dépasse 150 ppm. Une réponse au phosphore est peu probable lorsque l'analyse du sol pour le P dépasse 15 ppm. Une carence en soufre est de plus en plus courante à cause de la réduction des émissions de soufre dans l'environnement. Les niveaux de soufre devraient être étroitement surveillés pour les situations à rendements élevés, en particulier dans les sols à matières organiques faibles. La luzerne cultivée peut également réagir favorablement à l'épandage annuel de bore, en particulier chez les sols à texture plus fine

L'épandage de fumier peut physiquement endommager la couronne et inhiber l'activité bactérienne dans les nodules. Si du

fumier doit être épandu, choisissez les plus vieux peuplements ou ceux avec le plus de graminées. Les analyses de lisier peuvent varier considérablement, mais en général, il faut dix tonnes de lisier liquide provenant d'un troupeau laitier pour remplacer le prélèvement de K₂O par tonne de matière sèche de luzerne. Par ailleurs, il faut seulement trois tonnes de P₂O₅ pour compenser l'utilisation du P. Portez une attention particulière pour ne pas trop épandre de phosphate (P₂O₅) lorsque le fumier représente une portion élevée du programme de fertilisation. La recherche sur la fertilisation a démontré des répercussions considérables sur le rendement et sur la persistance de la luzerne. Par contre, la fertilisation ne semble pas avoir un grand effet sur la qualité nutritionnelle de la luzerne.

AUTOTOXICITÉ

Les plantes de luzerne cultivée démontrent une autotoxicité visant à réduire la concurrence par la production de composés chimiques toxiques aux autres plantes de luzerne cultivée. Lorsqu'un peuplement de luzerne est tué par l'hiver, une pulvérisation ou un labour, ces composants sont libérés dans le sol. Il en résulte un arrêt de la croissance des racines des nouvelles graines de luzerne semées dans le même champ. La durée active de ces composants toxiques pour la luzerne cultivée est influencée par le type de sol (plus étroitement lié en sols lourds), la température (les sols plus chauds accélèrent la vitesse de dégradation microbiologique), les précipitations (plus de pluie facilite le lessivage) et les pratiques de travail du sol (le labour contribue à diluer et à réduire les niveaux).

Le degré d'autotoxicité est directement lié au laps de temps entre la mort de l'ancien peuplement et l'implantation du nouveau peuplement. L'Université du Wisconsin suggère que la meilleure façon d'éviter l'autotoxicité est de faire la rotation avec d'autres récoltes pour au moins un an avant de semer le même champ avec de la luzerne. Toutes les autres options peuvent mener à des pertes potentielles de rendement dans les peuplements nouvellement implantés. Si un semis de luzerne suit directement un autre semis de luzerne, il est conseillé de tuer le peuplement établi dans l'année (automne) avant de semer (printemps). Si la luzerne est semée au cours de la même année durant laquelle le peuplement établi a été tué, semer à la fin de l'été est la meilleure option, après celle d'attendre au moins trois semaines avant de semer à nouveau. Semer de la luzerne dans un peuplement établi pour en accroître les rendements en déclin n'est pas recommandé. La recherche menée à l'Université du Missouri a démontré une importante perte de rendement lorsque de nouvelles graines ont été semées à une distance allant de 20 à 41 cm d'une plante existante.

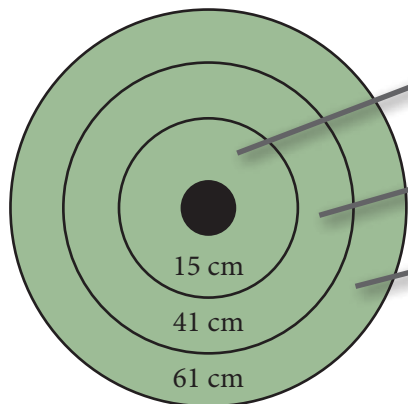
AU SUJET DES MALADIES ET DES INSECTES

Les producteurs de luzerne devraient mettre l'accent sur la sélection de variétés ayant une résistance aux maladies reliées à l'emplacement où la récolte sera cultivée. Les principales maladies pour lesquelles les entreprises de semences fournissent un indice de résistance comprennent les maladies de la tige et de la couronne, l'anthracnose; les maladies de flétrissement (flétrissement bactérien, jaunisse fusarienne et flétrissure verticillienne), ainsi que les maladies de pourriture de la racine (phytophthoréenne et l'aphanomyce (Race 1 et 2). La résistance aux maladies de la pourriture de la racine peut être un critère important dans les sols plus lourds; par conséquent, il est important de connaître le type de sol et de la nature du drainage dans les champs où la luzerne sera semée.

La cicadelle de la pomme de terre (CPT) est l'insecte ravageur qui a le plus d'impact sur la luzerne dans la moitié Est de l'Amérique du Nord. Il n'existe aucune méthode fiable pour prévenir les dégâts. Alors, le dépistage des champs et l'utilisation d'un filet fauchoir sont les seules méthodes efficaces pour surveiller l'activité de la CPT. Lorsque les symptômes (rabougrissement et autres) de la présence de la CPT deviennent visibles, il est trop tard pour prendre des mesures correctives. Le plus grand impact sur la récolte est la réduction du rendement. Des dégâts importants peuvent réduire la teneur en protéines brutes, les réserves de la racine principale en glucide et la croissance de la plante. La récolte peut aider à réduire les dégâts provoqués par une population adulte, par les œufs et par les nymphes; récolter des peuplements de luzerne très endommagés pourrait être la seule méthode à utiliser pour amorcer la repousse des tiges.

Si le dépistage et la pulvérisation ne suffisent pas pour maîtriser la cicadelle, alors semer une variété de luzerne résistante à la CPT est

Autotoxicité dans la zone d'influence de la luzerne cultivée



- Faible taux de survie des plantules près des plantes existantes (70 % de perte de rendement)
- Survie à cette distance, mais rendement réduit de 25 %
- Aucun effet sur le rendement

Lorsque la semence est semée dans un peuplement clairsemé en déclin, la plupart des nouvelles semences seront affectées par les distances; par conséquent, ayant peu de valeur à l'amélioration du rendement.

un choix logique. La résistance variétale provient de petits poils retrouvés sur la tige lesquels rebutent la cicadelle. Ces variétés sont fortement recommandées là où il y a une intense présence de CPT, pour plusieurs coupes pendant la plupart des saisons de croissance.

S'ajoute à la liste des plus importants indices de résistances aux ravageurs, la résistance aux pucerons et aux nématodes. Ces derniers ne sont pas considérés comme un problème majeur dans l'est des États-Unis et du Canada, mais ils présentent un problème important dans les régions de l'Ouest où on cultive la luzerne.

LES RÉPERCUSSIONS DU RENDEMENT ET DES VALEURS NUTRITIONNELLES SUR L'ENVIRONNEMENT DE CROISSANCE

Similaire à celle du maïs, la génétique de la luzerne joue un rôle relativement mineur dans les différences de qualité nutritionnelle. C'est plutôt l'environnement de la croissance et la maturité de la récolte qui sont les principaux facteurs. C'est un fait bien documenté, les facteurs environnementaux ont une incidence moindre sur la qualité que sur le rendement. Aussi, la plupart des facteurs qui limitent le développement de la plante (p. ex. : le manque d'eau, les températures froides, les maladies des plantes) tendent à favoriser une meilleure qualité par la modification des ratios feuilles/tige.

Les conditions de croissance qui peuvent avoir un impact négatif sur le rendement comprennent les températures froides sans couvert de neige, le gel et le dégel pendant l'hiver, une couverture de glace, le niveau d'humidité du sol, et la dessiccation printanière des pousses et des tiges en croissance. Les facteurs environnementaux qui influent le plus sur le rendement de la luzerne sont la température, le manque d'eau, le rayonnement solaire et loin derrière, la fertilité du sol. Les conditions de croissance qui favorisent l'obtention d'une luzerne de qualité élevée sont les longues journées, les nuits fraîches et des conditions météorologiques modérément sèches. Des conditions chaudes et pluvieuses tendent à produire de la luzerne de mauvaise qualité. Des conditions fraîches et avec beaucoup de précipitations produisent une luzerne cultivée de qualité élevée en raison de la faible teneur en NDF et d'une lignification minime. Cependant, récolter sous ces conditions peut s'avérer un défi, car les retards causent une maturité plus avancée de la plante. Des conditions fraîches et humides augmentent également le potentiel de la respiration ou de pertes par lessivage, et des problèmes de fermentation/détérioration en raison de l'exposition accrue aux champignons et bactéries vivant dans le sol.

Le rayonnement solaire (la lumière) est le seul facteur environnemental favorisant à la fois le rendement et la qualité. La lumière favorise la production de glucides (chaque heure additionnelle de la durée du jour peut augmenter la digestibilité d'environ 0,2 % d'unité). Le raccourcissement automnal de la

photopériode réduit sur leur digestibilité. Toutefois, les températures plus fraîches compensent quelque peu cet effet. Les journées nuageuses réduisent la photosynthèse et la teneur en sucre. Elles mobilisent l'utilisation des nutriments ce qui aboutit à une teneur en protéines plus élevée. Le tout abaisse le pH des ensilages. Il y a également plus de sucres de type pentose (un sucre à cinq atomes de carbone) dans la luzerne récoltée à l'automne ce qui présente un défi à la fermentation qui doit produire de l'acide lactique à trois atomes de carbone. Les conditions de sécheresse réduisent le rendement. Cependant, généralement, les plantes rabougries et feuillues présentent une teneur plus élevée en protéines et une meilleure digestibilité en raison du ratio feuilles/tige plus élevé. Les avantages de la digestibilité seraient supérieurs si ce n'était de la lignification accrue causée par les températures élevées qui accompagnent généralement des conditions de sécheresse.

La température accélère la croissance de la plante. Les températures chaudes accélèrent la production de NDF et la lignification (chaque degré Celsius d'élévation de la température diminue généralement la digestibilité des fourrages de 0,3 à 0,7 %. Cela explique partiellement pourquoi les fourrages produits plus au nord ou à haute altitude (nuits plus fraîches) ont tendance à être de qualité supérieure. Au printemps, la lumière et la température sont corrélées positivement jusqu'au 21 juin. Après cette date, la lumière diminue et la température augmente ce qui réduit la qualité de la luzerne. Les conditions automnales de croissance sont caractérisées par des baisses de température, des jours plus courts, et moins de lumière. Autant d'éléments qui favorisent la production d'une luzerne de qualité supérieure.





SEMER
CULTIVER
RÉCOLTER
ENTREPOSER
SERVIR

RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

MATURITÉ ET TENEUR EN EAU

Les recommandations varient selon les différentes récoltes d'ensilage et les structures d'entreposage (voir le tableau). Une maturité adéquate assure un sucre fermentescible aux bactéries dans l'ensilage et les valeurs nutritives maximales pour le bétail. La maturité a également un impact énorme sur la teneur en eau qui en retour réduit la porosité et l'oxygène de l'ensilage.

LONGUEUR DE COUPE

Il est difficile d'offrir des recommandations générales concernant la longueur de hachage puisque la longueur idéale dépend de plusieurs facteurs, notamment le besoin de fibres physiquement efficaces (peNDF) dans la ration, le type de structure d'entreposage, les capacités en matière de tassement de l'ensilage et les méthodes de désilage (p. ex. : les désileuses de silos-couloirs et les surfaceuses de silos-couloirs). D'autres facteurs influent sur la longueur du hachage comme la nécessité de hacher plus finement pour broyer les grains de maïs s'il n'est pas possible de le faire avec l'ensileuse. Ou encore, si vous hachez plus longtemps pour compenser la réduction des particules pour l'ensilage ou pour mélanger les aliments.

En général, un hachage plus court tend à améliorer le tassement dans le silo. Il augmente également l'étendue de la surface de fibres ou de grains de manière à améliorer le taux de digestion par les bactéries du rumen ou des enzymes intestinales. Le hachage plus long augmente la peNDF des aliments cependant, une longueur excessive peut contribuer au triage. Il est préférable de travailler conjointement avec l'équipe qui récolte et les nutritionnistes de la récolte pour décider du bon compromis tout en reconnaissant que la longueur finale des particules de la ration est ce qu'il y a de plus important. Commencez à la mangeoire, puis remontez pour connaître la quantité de chaque ingrédient dans la ration et sa contribution en peNDF à la ration entière.

ENSILAGE DE MAÏS

Le plant de maïs approchera la maturité requise pour le récolter comme ensilage environ 35 à 45 jours (~900 UTC) après l'apparition des soies. La plus grande partie de l'écart entre les maturités des hybrides se situe de la levée et l'apparition des soies, et non de l'apparition des soies à la

Plages acceptables pour la maturité de la récolte, la teneur en eau et l'utilisation d'inoculants

Récoltes d'ensilage	Maturité	Inoculant de la marque Sila-Bac ^{MD}	Type d'entreposage				
			Silo-couloir	Silo en plaques de béton	Scellé	Ensaché	Ensilage en balles
			% d'humidité du plant entier				
Ensilage de maïs	Ligne de maturité ou de lait 1/8 à 7/8 le long du grain	11CFT ^{††}	62-70	62-70	60-70	60-70	S.O.
		11C33 [*]	62-70	62-70	60-70	60-70	S.O.
		1174 ou 1177	62-70	62-70	60-70	60-70	S.O.
Ensilage de luzerne cultivée (Pas plus de 20 % de graminées)	Bourgeonnement mi-saison ou tardif, ou tiges de (66 à 91) ou <40 % NDF	11H50	55-68	55-68	40-60	55-65	50-60
		1174 ou 1177	55-68	55-68	40-60	55-65	50-60
Ensilage de graminées (Pas plus de 20 % de légumineuses)	Lorsque les tiges commencent à s'allonger	11GFT ^{††}	55-68	55-68	40-60	55-65	50-60
		11G22 [*]	55-68	55-68	40-60	55-65	50-60
		1174 ou 1177	55-68	55-68	40-60	55-65	50-60
Ensilage de céréales (avoine, blé, orge)	Grain : d'épiaison à pâteux mou	11GFT ^{††}	55-68	55-68	40-60	55-65	50-60
		11G22 [*]	67-72	62-68	55-60	63-68	50-60
		1174 ou 1177	67-72	62-68	55-60	63-68	50-60
Ensilage de sorgho	Grain : d'épiaison à pâteux mou	1174 ou 1177	67-72	62-70	60-70	60-68	50-60

Maïs à forte teneur en humidité^{**}

			% de la teneur en eau du grain entier			
Maïs entier non transformé	Grain au point noir	11B91 [*]	S.O.	S.O.	24-28	S.O.
		1189	S.O.	S.O.	24-28	S.O.
Grain concassé ou broyé	Grain au point noir	11B91 [*]	24-32	24-32	24-28	24-32
		1189	24-32	24-32	24-28	24-32
Épi moulu ou ensilage épi-hampe	Grain au point noir	11B91 [*]	26-34	26-34	24-28	26-34
		1189	26-34	26-34	24-30	26-34

SYMBÔLE :

† Produits des technologies de la fibre offrant fermentation, durée de vie dans le silo et digestibilité améliorées

* Contient les souches *L. buchneri* pour une durée de vie du fourrage accrue

** Représente la teneur en humidité du grain (non l'épi entier)

S.O. Sans objet.

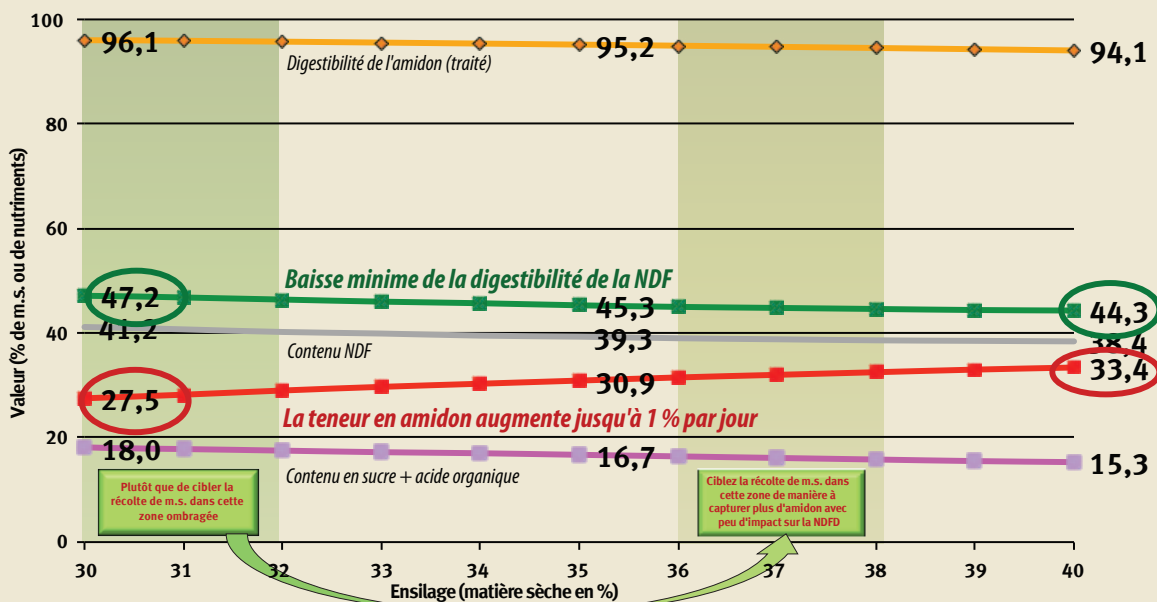
récolte. La règle de base de « 35 à 45 jours après l'apparition des soies » vise l'obtention de 30 % de matières sèches (m.s.) du plant entier. Les recommandations courantes ciblent au minimum une ligne de maturité au 3/4 et le plant complet entre 35 à 38 % de m.s., chez les génétiques plus récentes, porteuses d'attributs agronomiques et de caractères technologiques qui leur confèrent une meilleure santé du plant tard en saison.

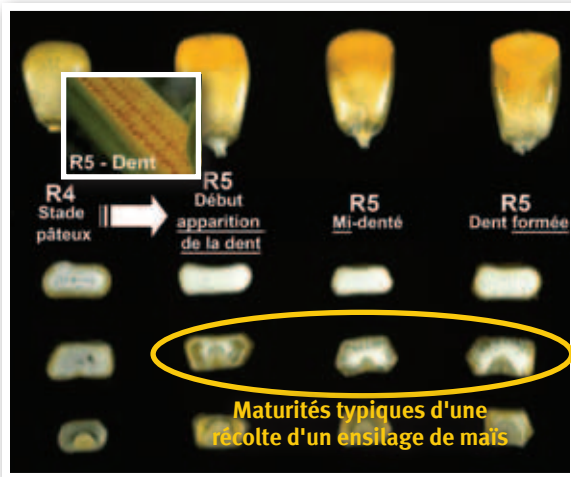
En plus de la santé du plant grandement améliorée tard en saison, la génétique moderne en production de maïs profite aussi de technologies comme celle des fongicides foliaires. Cela permet au plant de conserver la digestibilité des fibres jusqu'à beaucoup tard en saison. La santé des plants en fin de saison présente également un avantage là où la saison de croissance manque d'unités thermiques. La digestibilité des fibres sera maintenue

plus longtemps à l'automne même si la récolte est retardée pour permettre au plant de déposer plus d'amidon.

Selon les conditions de séchage, ce n'est pas rare de constater qu'un plant de maïs sèche au rythme de 0,5 à 1,0 point par jour. C'est également courant pour le maïs ensilage de déposer entre 0,5 à 1,0 point d'amidon par jour jusqu'à ce que le grain atteigne sa maturité physiologique (point noir). Le dépôt d'amidon contribue de manière importante à réduire la teneur en eau du plant complet et à augmenter la densité d'énergie de l'ensilage. Les producteurs qui n'ont pas la capacité de traiter (rouler) les grains sur la hacheuse-ensileuse devront peut-être les récolter à une maturité moins avancée et/ou raccourcir la longueur du hachage de manière à traiter plus de grains à la tête de coupe.

Une récolte supérieure en matière sèche accroît la teneur en amidon avec un impact minime sur la réduction de la digestibilité des fibres chez les hybrides ayant une excellente santé tard en saison





MAÏS GELÉ

Les plants de maïs qui ont gelé avant la récolte perdront une certaine valeur nutritive principalement à cause de l'arrêt du dépôt d'amidon. La baisse de valeur nutritive en raison de la perte de feuilles ou d'une prolifération microbiologique/fongique indésirable peut être réduite en récoltant la culture dès que possible après le gel. Si le gel réduit le taux d'humidité de la culture en dessous des niveaux idéals, le tassement de l'ensilage de maïs à la récolte peut être plus difficile et la perte d'espace à l'entreposage peut augmenter encore plus. Dans une telle situation, le hachage plus court et l'ajout d'eau devraient être pris en considération.

L'inoculation est importante avec tout ensilage, surtout pour les plants de maïs gelés dont la population naturelle de bactéries de fermentation (épiphyte) sera grandement réduite en raison du gel.

MAÏS AFFECTÉ PAR LA SÉCHERESSE

En moyenne, le maïs utilise de 24 à 27 pouces d'eau par acre au cours de la saison de croissance. Le moment et la durée du stress à la sécheresse détermineront la perte de rendement. Le stade de l'apparition des soies est le moment le plus sérieux où le stress causé par la sécheresse doit être évité. D'autre part, le même type de stress s'avère moins grave tôt durant la croissance végétative. Un stress hydrique prolongé allant du stade de l'apparition de la panicule à celui de l'apparition des soies peut entraîner des pertes de rendement en grains allant jusqu'à 50 %. Le rendement du maïs ensilage peut être de 50 à 90 % inférieur à la normale en raison d'un plant plus petit et de la perte reliée à un grain plus petit. En règle générale, si peu ou aucun grain n'est présent le rendement sera d'une tonne par pied de la hauteur du plant, à un taux d'humidité de 70 %.

Un avantage du maïs-ensilage sur le maïs-grain est qu'il requiert moins d'eau pour atteindre la maturité. Le maïs-ensilage est récolté de 10 à 15 jours avant d'atteindre le point noir ou la maturité physiologique, d'où la quantité moindre d'eau requise pour rendre la culture à maturité. Selon le type de sol et l'eau disponible, le maïs irrigué destiné à l'ensilage peut demander une ou deux irrigations de moins que le maïs-grain.

Les tiges vertes stériles auront généralement un taux d'humidité beaucoup plus élevé qu'il n'y paraît. Elles atteindront un taux d'humidité allant de 75 à 90 % puisqu'il n'y a aucun grain pour utiliser l'eau contenue dans les tiges. Il est recommandé de prendre des échantillons de plants et de les analyser pour déterminer leur contenu en matière sèche au moyen d'un four à micro-ondes ou d'un mesureur d'humidité Koster^{MD}. La tendance est de récolter trop tôt le maïs affecté par la sécheresse. Le taux d'humidité trop élevé provoque un excès d'écoulement et une perte de sucres (valeur nutritive). La maturité de l'hybride, la tolérance à la sécheresse et la santé du plant en fin de saison peuvent influencer de manière importante la date de la récolte. Si les conditions demeurent chaudes et sèches, la récolte de l'ensilage peut se produire plus tôt que la normale. L'évaluation de la récolte s'effectue champ par champ. Par exemple, une infestation de tétranyques qui sont plus actifs sous des conditions chaudes et sèches peut justifier d'entreprendre la récolte plus tôt. Si le maïs a des grains, la ligne de maturité du grain peut être une bonne indication pour déterminer le moment approprié pour l'ensiler. Cependant, la variabilité constatée chez le maïs sec fait que la prise d'échantillons de plants complets et leur analyse constituent toujours la meilleure approche.

La sécheresse peut causer une culture allant de plants stériles sans épi ou sans amidon ou encore à différents niveaux d'amidon selon que le stress survient pendant la pollinisation ou lors de la formation du grain (avortement). L'énergie sera segmentée en sucre et en fibres, dans la tige et les feuilles plutôt que dans le grain. Des études menées par l'Université du Michigan indiquent que le maïs fortement stressé (petits plants avec pratiquement aucun épi) conservait une valeur fourragère d'environ 70 % de la valeur normale d'un ensilage de maïs en raison de la teneur en fibres et en sucre hautement digestible. En raison de la variabilité potentielle, dans le cas d'un maïs-ensilage exposé à la sécheresse, il est important de l'analyser pour la matière sèche, la cellulose (NDF), la digestibilité NDF, le sucre, l'amidon et les nitrates (voir la section SERVIR). Il faudrait penser à entreposer l'ensilage selon les champs qui peuvent avoir une valeur fourragère supérieure.

TRANSFORMATION DU GRAIN

La transformation du grain de l'ensilage de maïs a longtemps été populaire en Europe et a pris de l'ampleur en Amérique du Nord à la fin des années 90 avec l'introduction par les fabricants d'ensileuses avec rouleau-craqueur de série. L'inclusion dans la ration d'une plus grande quantité d'ensilage de maïs, combinée à des taux plus élevés de matière sèche pour obtenir plus d'amidon accentuent l'intérêt d'assurer un broyage agressif du grain.

Il y a eu beaucoup de débats concernant le niveau acceptable de broyage du grain. L'absence de méthode en laboratoire pour quantifier l'ampleur du broyage des grains et l'absence de normes de transformation ont compliqué la situation. La commercialisation d'un laboratoire d'essai biologique standard (Ro-Tap Silage Processing Score) conçu chez Pioneer conjointement avec l'U.S. Dairy Forage Research Center et Dairyland Laboratories (Arcadia, Wisconsin). Le protocole de la méthode en laboratoire a été partagé et est maintenant disponible en tant qu'analyse dans plusieurs laboratoires de fourrage. Après la récolte, il est utile d'avoir des mesures de laboratoire standardisées pour connaître la quantité de grains broyés. Cependant, il est tout aussi important d'avoir une méthode au champ pour régler l'ensileuse pendant la récolte. DuPont Pioneer a conçu un test simple à effectuer au champ au moyen d'une tasse de 32 onces (voir la photo). Les producteurs sont encouragés à prendre plusieurs échantillons de chargements toutes les heures en remplissant la tasse d'ensilage. Puis, il suffit d'étendre le contenu de la tasse et de ramasser chaque grain entier ainsi que chaque demi-grain de l'échantillonnage. Si ce nombre dépasse deux à trois grains, il est important d'en discuter avec l'opérateur de l'ensileuse de manière à améliorer le broyage des grains. Sans cela, il en résultera une perte d'énergie puisque les grains non broyés échapperont à la digestion ruminale et intestinale.

L'opérateur de l'ensileuse peut vérifier plusieurs points pour améliorer le broyage : la longueur du hachage (plus long il est, plus il est difficile de broyer les grains), l'usure du rouleau craqueur et son design (durée de vie de 400 à 1 000 heures selon l'appareil), son espacement avec le contre-rouleau (de 1 à 3 mm selon la longueur du hachage et la maturité du grain), l'agressivité des couteaux, de même que leur angle (généralement de 20 à 40 %).



HAUTEUR DE COUPE

Certains producteurs coupent leur maïs-ensilage plus haut pour accroître la teneur en amidon et pour améliorer la digestibilité de la fibre au détergent neutre (NDFD). Selon l'hybride et la saison de croissance, les recherches indiquent que l'augmentation de la hauteur de coupe d'environ 30,5 cm peut accroître de 2 à 3 % la teneur en amidon et la NDFD de 2 à 4 %. L'impact sur le rendement dépend, dans une certaine mesure, du potentiel de rendement de l'hybride, mais en général, attendez-vous à ce que le rendement (base 35 % de m.s.) du fourrage baisse d'environ 136 kg par acre pour chaque pouce plus élevé de la hauteur de coupe.

Dans certaines régions, comme en Californie, on coupe aussi bas qu'entre 5 à 7 cm du sol. Dans d'autres régions, comme au nord-est, les opérateurs d'ensileuses récoltent à une hauteur

ÉVALUATION DES RENDEMENTS DE MAÏS

Cette procédure est fondée sur des informations utilisées dans la conception du « Corn Yield Calculator » par l'Université de l'Illinois :

1. Compte du nombre d'épis dans 1/1 000 acre.

LARGEUR DES RANGS (pouces)	LONGUEUR ÉGALE À 1/1000 A
15 po	34 pi 10 po
20 po	26 pi 1 po
28 po	18 pi 8 po
30 po	17 pi 5 po
36 po	14 pi 6 po
40 po	13 pi 1 po

2. Sélectionnez trois épis représentatifs et comptez le nombre de rangées de et le nombre de grains par rangée. Ne comptez pas les grains du bout de l'épi dont la taille est de moins de la moitié de celle des autres.
3. Faites comme suit l'évaluation du rendement de CHACUN des trois épis : (Nombre d'épis dans 1/1 000 acre) x (le nombre de rangées de grains) x (le nombre de grains par rangée) x 0,01116 = boisseaux par acre, à un taux d'humidité de 15,5 %.
4. Faites la moyenne des évaluations à partir des trois épis. Répétez les étapes 1 à 4 à plusieurs endroits et faites la moyenne des résultats pour avoir une évaluation du rendement en grains pour l'ensemble du champ.

supérieure pour ne pas endommager l'équipement sur la roche. Le gain potentiel est réduit en augmentant la longueur de coupe si elle est déjà haute (en haut de 20 à 25 cm).

La réduction des rendements de l'ensilage par une coupe plus élevée ne présente aucun avantage économique chez les hybrides à nervures brunes (BMR) puisque les tiges du BMR sont déjà très élevées en digestibilité des fibres.

Les hybrides ne se comporteront pas tous de la même façon lorsqu'ils sont coupés plus haut puisqu'il semble y avoir une interaction importante entre l'hybride et l'environnement. Cela implique que les hybrides réagiront différemment à une coupe haute en fonction des conditions de croissance. Une façon de déterminer l'impact potentiel d'une hauteur de coupe plus élevée consiste à récolter manuellement, deux semaines avant la récolte, cinq à dix plants représentatifs à une hauteur de coupe

normale et d'autres plants à une plus grande hauteur de coupe. Les échantillons peuvent ensuite être expédiés à un laboratoire et analysés pour la digestibilité NDF de manière à savoir si la hauteur de coupe plus élevée justifie la perte de rendement.

La hauteur de coupe plus élevée peut s'avérer une bonne pratique pour augmenter la NDFD d'un ensilage de maïs, surtout lorsque le foin ou l'ensilage de foin déjà entreposé est faible en NDFD. Les producteurs peuvent aussi couper le maïs plus haut lorsqu'ils ont plus d'ensilage que ce qu'il leur faut, sans aucun moyen de le récolter pour le grain. Élever la hauteur de coupe permettra également d'entreposer la récolte dans un espace limité et fournira au nutritionniste un ensilage de maïs de meilleure qualité.

MAÏS-GRAIN HUMIDE

Le terme « maïs-grain humide » peut techniquement être appliqué à tout maïs récolté au-dessus de la teneur en humidité traditionnelle et qu'on laisse fermenter dans une structure d'entreposage. Dans des structures verticales scellées recommandées, la teneur en eau peut être aussi basse que 22 à 24 %, et atteindre jusqu'à 36 à 38 % d'humidité pour l'ensilage épi-hampe entreposé dans un silo-couloir. Le maïs-grain humide peut être récolté avec une moissonneuse-batteuse (maïs-grain humide égrené), avec une cueilleuse-dépanouilleuse ou conjointement avec la rafle de maïs réservée (épi de maïs-grain

humide) ou en tant qu'ensilage épi-hampe (épi et spathe récoltés au moyen d'ensileuse munie d'une tête cueilleuse d'épis). Le regain d'intérêt pour l'ensilage épi-hampe est dû aux économies réalisées par rapport à la récolte avec une moissonneuse-batteuse et la transformation (broyage) des grains à la structure d'entreposage. De récentes études ont également confirmé que récolté au bon taux d'humidité, l'ensilage épi-hampe peut avoir une valeur fourragère extrêmement élevée s'il est transformé et entreposé correctement.

LES AVANTAGES DU MAÏS HUMIDE COMPRENNENT :
1. Récolte plus hâtive qui s'adapte bien entre l'ensilage de maïs et le grain sec.
2. Rendement accru de 9 à 12 % par acre si la rafle de maïs est également récoltée.
3. Économies potentielles par rapport à la récolte du maïs sec et de la transformation à la structure d'entreposage.
4. Disponibilité accrue de l'amidon au rumen comparativement au maïs sec.
5. Source supplémentaire de fibres digestibles si les rafles de maïs et les spathes sont récoltées au moment opportun.

LES DÉSAVANTAGES DU MAÏS-GRAIN HUMIDE SONT :
1. Fermentation et perte de reprise de l'ensilage.
2. Potentiel que la récolte de maïs devienne trop sèche réduisant ainsi la digestibilité et la palatabilité.
3. Coût supérieur pour maintien des stocks.
4. Plus inconsistant que le grain sec en raison de la digestibilité de l'amidon qui change avec le temps durant l'entreposage. Si la récolte de maïs devient trop sèche (p. ex. : humidité du grain < 25 %), les problèmes commencent à s'accumuler en ce qui a trait à la digestibilité de la rafle de maïs réduite avec l'ensilage d'épi-hampe, les problèmes de fermentation et la possibilité d'instabilité à l'intérieur du silo-couloir.

Pour obtenir le plus d'amidon possible par acre, la récolte du maïs-grain humide ne devrait pas commencer avant que les grains n'aient atteint le point noir et la maturité physiologique. Pour la plupart des hybrides, les grains auront une teneur en eau entre 34 à 36 % au stade point noir. Il est préférable de faire référence à la teneur en eau du grain lorsque vous faites des recommandations de récoltes d'ensilage épi-hampe puisque la plupart des producteurs ont leur propre hygromètre pour le grain et le produit final peut avoir différentes quantités de rafles ou de spathes, lesquelles affectent la teneur en eau. La rafle de maïs comporte une teneur en eau plus élevée que le grain avec comme règle de base que le mélange final de l'ensilage épi-hampe sera d'environ trois à quatre pour cent plus humides que le grain (selon les épis retrouvés parmi les génétiques modernes, soit 10 % de rafles de maïs).

Cibler les niveaux d'humidité du grain de 28 % ou plus donne généralement un produit qui semble mieux fonctionner tant du point de vue de la fermentation de la culture que celui de la digestibilité de l'amidon. Les nutritionnistes devront être conscients que la digestibilité ruminale de l'amidon du maïs-grain humide augmentera avec le temps de deux pour cent par mois, lorsqu'entreposé pour la fermentation. Il est particulièrement important de prendre cela en considération si la nourriture des vaches passe d'un maïs-grain à teneur en eau plus faible à un produit avec une teneur en eau du grain plus élevée.

VALEUR ÉNERGÉTIQUE DE LA RAFLE DE MAÏS ET DE LA SPATHE

Les valeurs énergétiques de l'ensilage d'épi-hampe peuvent varier d'un procédé à l'autre en raison de différences dans la quantité de rafles de maïs et de spathes contenue dans l'alimentation. Les hybrides à teneur en eau plus élevée et plus verts ne se récoltent habituellement pas aussi bien et tendent à avoir un contenu en spathe plus élevé. Cela peut diluer l'alimentation et réduire le contenu énergétique.

Pioneer a mené une étude au champ sur l'ensilage épi-hampe pour évaluer le rendement et le contenu nutritionnel de quatre hybrides récoltés à quatre maturités différentes. L'étude a démontré que la digestibilité de la rafle de maïs avait diminué par près de 20 % à l'intérieur de la fenêtre de récolte de quatre semaines. La spathe et la tige avaient également diminué quelque peu avec la maturité de l'épi, mais sont demeurées relativement élevées parmi toutes les périodes de récolte. Maintenir la digestibilité de la rafle de maïs est une autre raison pour cibler la récolte de l'ensilage d'épi-hampe à une teneur en eau du grain excédant 28 %.

L'ensilage épi-hampe n'est pas particulièrement attrayant lorsqu'il est vu pour la première fois en raison de la présence de spathes « filandreuses ». Il est certainement plus difficile d'obtenir la spathe avec un ensilage épi-hampe haché aussi fin que l'ensilage de maïs puisque ce ne sont que les épis qui sont alimentés dans l'ensileuse. Il y a de l'espace entre les épis et ils ne sont pas maintenus fermement sur un tapis de récolte pour passer près du contre-couteau. Il n'existe aucun moyen de contrôler la direction dans laquelle les épis seront alimentés dans la tête de fauchage. Il est plus facile d'obtenir la longueur de hachage désirée avec un ensilage en raison d'un tapis de récolte plus épais, et pratiquement tous les épis sont alimentés avec la tige dans les rouleaux d'entraînement perpendiculaire aux couteaux.

L'ensileuse peut être modifiée de plusieurs façons pour réduire la taille des particules de la spathe : 1) Réglez aussi courte que possible la longueur du hachage de manière à ralentir les rouleaux d'entraînement, 2) Utilisez différents fonds de tambour avec une cale soudée perpendiculairement à tous les cinq centimètres des couteaux (selon le fabricant) pour faciliter la coupe des aliments qui pénètrent dans l'ensileuse, ou 3) Ajoutez un écran sur la coupeuse à l'arrière du couteau du tambour avant que les aliments ne pénètrent le broyeur, par contre cela aura comme effet de ralentir le débit de la récolte.

GRAINS ENDOMMAGÉS

Les nutritionnistes ont appris à s'intéresser de près à la taille des particules des grains de maïs égrené ou concassé sec, ou à teneur en eau élevée. Des objectifs typiques dans la taille des particules sont de 800 à 1 200 microns, avec un petit écart type pour prévenir les particules excessivement petites ou grosses. Il est tout aussi important que la taille de la particule du grain soit surveillée parmi les ensilages épi-hampe. Pioneer a mis au point une méthode de dépistage pour le grain de l'ensilage épi-hampe. Elle est offerte dans plusieurs laboratoires commerciaux. Elle élimine la confusion concernant l'effet des rafles de maïs et des spathes sur la valeur finale de la taille du grain.

Pour maximiser le broyage du grain de l'ensilage épi-hampe, il est conseillé de choisir une longueur de hachage aussi courte que possible et de s'assurer que le broyeur de l'ensileuse comporte des rouleaux à dents fines (p. ex. 5 à 7 dents par pouce) avec un espacement de un à deux mm ainsi qu'un différentiel de 30 à 40 % (plus élevé que l'ensilage de maïs).

LUZERNE CULTIVÉE

VFR VERSUS QFR

La valeur fourragère relative (VFR) a été mise au point il y a plus de 30 ans comme un outil de marketing pour faciliter l'uniformisation de la qualité lors de l'achat et la vente de foin. Cette valeur est fondée sur la prise alimentaire volontaire, par les animaux, d'un fourrage de matières sèches digestibles avec une valeur de 100, ce qui équivaut à une valeur fourragère d'un foin de luzerne cultivée en pleine floraison.

La qualité fourragère relative (QFR) a été conçue de manière à prendre en considération les différences dans la digestibilité des fibres. Le calcul de la QFR nécessite une analyse en laboratoire pour la digestibilité NDF (NDFD). La NDFD tend à être plus élevée dans la luzerne cultivée lorsqu'elle provient d'environnements à températures plus fraîches (surtout la nuit). La première coupe présente généralement la NDFD la plus élevée comparativement aux coupes ultérieures cultivées avec des unités thermiques supérieures.

Les résultats de ces deux systèmes se ressemblent beaucoup à la première coupe de la luzerne cultivée, mais ils ont tendance à diverger lors des récoltes ultérieures. De nombreux producteurs mesurent la



VFR de la première coupe à l'aide d'un « bâton PEAQ » (équations prédictives pour la qualité de la luzerne cultivée). Par la suite, ils planifient les récoltes ultérieures selon le nombre de jours d'intervalle entre les coupes (p. ex. : 26 à 30 jours selon la qualité désirée).

La recherche menée par l'Université du Wisconsin indique que le PEAQ peut également être utilisé pour estimer la QFR de la première coupe de luzerne cultivée et qu'elle tend à être aussi élevée (ou plus élevée) que les estimations de la VFR. Cependant, la perte de feuilles pendant la récolte et les dommages dus à la chaleur durant l'entreposage auront un impact plus significatif sur la QFR que la VFR.

Valeur fourragère relative (VFR)

VFR = % DMS x % IMS
1,29

% DMS = 88,9 - (0,779 x % ADF)
% IMS = 120/% NDF

Qualité fourragère relative (QFR)

QFR = IMS, (% de la PV) * TDN, (% de m.s.)
1,23

Pour les mélanges de luzerne cultivée,
de trèfles et de légumineuses/graminées

IMS = 120/NDF + (NDFD - 45) * 0,374
/1 350 * 100

TDN = (NFC * 0,98) + (PB * 0,93)
(AG * 0,97 * 2,25) + (NDFn *
(NDFD/100) - 7

ACRONYMES :

- DMS = Digestibilité de matières sèches
- IMS = Ingestion de matières sèches
- ADF = Fibre au détergent acide (% de m.s.)
- PB = Protéine brute (% de m.s.)
- AG = Acides gras (% de m.s.) = Extrait à l'éther
- NDF = Cellulose au détergent neutre (% de m.s.)
- NDFPB = Cellulose au détergent neutre protéine brute
- NDFn = NDF non azoté = NDF - NDFPB, ou estimé comme étant NDF * 0,93
- NDFD = 48 heures *in vitro* digestibilité NDF (% de NDF)
- NFC = Hydrate de carbone non fibreux (% de m.s.) = 100 - (NDFn + PB + EE + cendre)

MATURITÉ DE LA RÉCOLTE

La maturité de la plante au moment de la récolte est le meilleur indicateur du rendement de la luzerne cultivée et de sa qualité nutritionnelle. Malheureusement, ils sont inversement liés. Si on laisse la plante mûrir jusqu'au stade de floraison, le rendement est accru, mais la qualité concernant le ratio feuilles/tiges (qui influence les niveaux de protéines) et la digestion de la NDF de la plante sont réduites.

Des études menées dans les champs indiquent qu'un rendement accru moyen quotidien de luzerne parmi toutes les coupes sauf celles de l'automne donne un rendement moyen de 45 kg/ha. Toutefois, le changement du rendement par jour pendant la période de récolte varie considérablement, allant de 0 à 224 kg/ha par jour. Les rendements de la culture ne sont pas aussi élevés à une température fraîche et nuageuse, en présence d'insectes, de maladies ou de sécheresse. Les rendements sont supérieurs avec un taux d'humidité adéquat, un rayonnement solaire élevé et une température allant de 24 à 29,4 °C. Les données provenant du Midwest indiquent que trois récoltes prises à 10 % du stade de la floraison donneront un rendement d'environ 15 à 20 % supérieur que quatre récoltes prises au stade bourgeon.

La recherche de l'Université du Wisconsin indique que la teneur en fibres et la digestibilité de la première coupe changent à un rythme plus rapide qu'avec les coupes ultérieures. La première coupe est réduite d'environ cinq points VFR par jour, la deuxième coupe est réduite d'environ deux à trois points par jour, la troisième et quatrième coupes sont réduites d'un à deux points par jour. Il semble que la croissance à la fin de l'automne change très peu en ce qui a trait à la qualité du fourrage de la mi-septembre à la fin septembre et au début octobre. Lors de la première coupe, le changement de la QFR sera pratiquement identique à celui de la VFR, et par la suite baissera d'environ quatre points par jour lors de la 2^e, 3^e et 4^e coupe. Certains facteurs tels que la sécheresse et la cicadelle de la pomme de terre réduiront considérablement le rendement, mais augmenteront la qualité du fourrage en raison d'un ratio feuilles/tiges plus élevé.

Variations du rendement quotidien
d'un fourrage de luzerne cultivée

COUPE	RENDEMENT (kg/jour)	VFR par jour	QFR par jour
	VARIATION QUOTIDIENNE		
1	100	-5	-5
2	100	-2 à -3	-5
3	100	-2	-4
4	100	-1	-4

Source : Dan Undersander, Université du Wisconsin.

MÉTHODES POUR SURVEILLER LA MATURITÉ DE LA RÉCOLTE

Le choix de la maturité lors de la récolte dépend du type d'animal auquel elle sera servie, le besoin en quantité par rapport à la qualité et les considérations agronomiques pour les peuplements de luzerne comme le réapprovisionnement en réserve d'hydrate de carbone pour les racines ou une récolte devancée en raison d'une infestation par la cicadelle.

Il est important d'établir des objectifs pour la récolte, puis espérer que la température soit favorable. Les producteurs laitiers préfèrent

généralement la luzerne allant de 160 à 180 VFR/QFR pour les vaches en lactation. Les peuplements de luzerne peuvent généralement être récoltés lorsqu'ils sont plus matures de manière à obtenir un rendement supérieur pour les autres classes d'animaux. Les échéanciers pour la récolte doivent tenir compte d'une perte de vingt points de la VFR/QFR en raison du flétrissement et de la fermentation du champ. Si une QFR de 180 est souhaitée, la récolte doit se produire lorsque les plants sont près de 200 VFR/QFR.

Le niveau d'humidité pour flétrir le plant est principalement une question de structure d'entreposage et un problème de fermentation discutés dans la section ENTREPOSER de ce manuel.

Exemple de VFR par rapport à la QFR dans la luzerne cultivée

ÉCHANTILLON	ADF (% M.S.)	NDF (% M.S.)	NDFD (% NDF)	VFR	QFR
1	34	43	48	135	148
2	34	43	58	135	174

Même teneur en fibre
en laboratoire

Valeur élevée = Digestibilité
supérieure des fibres

Même
VFR

QFR clairement
supérieure

Les feuilles ont moins de NDF mais une NDFD plus élevée que les tiges donc,
les pertes à la récolte ont une plus grande incidence sur la QFR que sur la VFR.

Valeurs anticipées pour la qualité fourragère à mesure que la luzerne cultivée mûrit

STADE DE MATURITÉ	PROTÉINE BRUTE	FIBRE AU DÉTERGENT ACIDE	FIBRE AU DÉTERGENT NEUTRE	MATIÈRES SÈCHES DIGESTIBLES	VALEUR FOURRAGÈRE RELATIVE
	% DE MATIÈRES SÈCHES				
Végétatif	>22	<25	<34	>69	>188
Bourgeon	20-22	25-31	34-41	67	166
Floraison précoce	18-19	32-36	42-46	62	131
Floraison tardive	16-17	37-40	47-50	60	115
Gousse	<16	>41	>50	<58	<108

Source : N. P. Martin et J.G. Linn. Université du Minnesota.

MÉTHODE UTC

La méthode UTC (unité thermique de croissance) a surtout été utilisée avec la première coupe et commence par l'identification du moment où la plante sort de sa période de dormance. La « Base » cumulée 41 degrés-jours de croissance est l'approche la plus commune. Elle est calculée comme $[(\text{température maximale quotidienne} + \text{température minimale quotidienne})/2] - 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Les UTC ne sont pas calculées tant que la température quotidienne la plus élevée n'a pas atteint $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant cinq jours consécutifs. Les producteurs devraient concevoir leurs propres cibles UTC pour leur propre environnement unique; toutefois, en général 700 UTC équivalent au stade bourgeon et 880 UTC correspondent à la première fleur. Une recherche au champ a indiqué que les niveaux NDF de la culture peuvent augmenter autant que 0,04 point pour chaque UTC cumulée. Il est typique d'accumuler de 10 à 40 UTC/jour ce qui se traduit par 0,4 à 1,6 point de NDF par jour. S'il faut six jours pour récolter, la culture peut augmenter de 2,4 à 9,6 points de NDF. Le site Web de Pioneer (www.pioneer.com) offre un outil permettant aux producteurs de faire le suivi des UTC locaux. Cet outil peut être utilisé pour prédire les stades de croissance du maïs ou pour planifier la récolte de luzerne.



MÉTHODE DE COUPE AUX CISEAUX

Plusieurs services-conseils du gouvernement ont collaboré avec les laboratoires d'analyses de fourrage locaux pour évaluer les niveaux de fibres (et également la NDFD) des plantes immatures pour aider à la planification de la récolte. L'échantillonnage de la luzerne cultivée débute lorsque la plante atteint une hauteur d'environ 35,6 cm). Pour faciliter et pour accélérer le traitement des données, les laboratoires utilisent souvent la méthode d'analyse NIRS (spectroscopie de réflexion dans le proche infrarouge). Cette méthode se sert d'étalonnages conçus spécifiquement pour la luzerne cultivée immature.



PEAQ

L'équation prédictive de la qualité de la luzerne cultivée (PEAQ) est un outil conçu pour une utilisation dans les champs. Elle vise principalement à déterminer la première date de récolte en surveillant la hauteur de la plante et de sa maturité. La hauteur de la plante est un excellent indicateur pour la planification de la récolte puisque la VFR et la QFR diminuent à mesure que la plante grandit. Lorsque la plante atteint de 51 à 102 cm en hauteur, la recherche menée par l'Université du Dakota du Nord indique que la VFR de la luzerne diminue de 71 unités pendant le stade végétatif tardif, de 61 unités pendant le stade bourgeonnement tardif et de 53 unités pendant le stade tardif de la floraison.

L'évaluation par le « bâton PEAQ » commence par l'échantillonnage de quatre à cinq sections de 1,8 m² représentant l'ensemble du champ de luzerne cultivée tout en évitant les zones de culture versée ou inclinée. Déterminez le stade de croissance (végétatif, bourgeon ou fleur) de la tige la plus mature (peut ne pas être la tige la plus haute). Trouvez la tige la plus grande et maintenez-la près du bâton en prenant en note les valeurs VFR et NDF estimées de la plante qui se trouve le plus près de l'extrémité de la tige (et non l'extrémité de la feuille la plus haute). Cette méthode ne fonctionne pas très bien en présence de peuplements de mauvaises herbes ou de graminées, ou avec des peuplements très courts (<41 cm) ou très grands (>102 cm). Le PEAQ est la seule méthode de planification qui fonctionne relativement bien pour toutes les coupes.



PROLONGATION DE LA SAISON GRÂCE À DIFFÉRENTES VARIÉTÉS

Il est possible d'élargir la fenêtre de récolte en choisissant les variétés de manière à faciliter la récolte de grandes superficies en cultures destinées à l'ensilage. Le tableau ci-dessous illustre comment les variétés de semis choisies pour leur qualité élevée peuvent être utilisées comme compléments à des variétés à haut rendement en poussant la fenêtre de récolte à une période ultérieure.

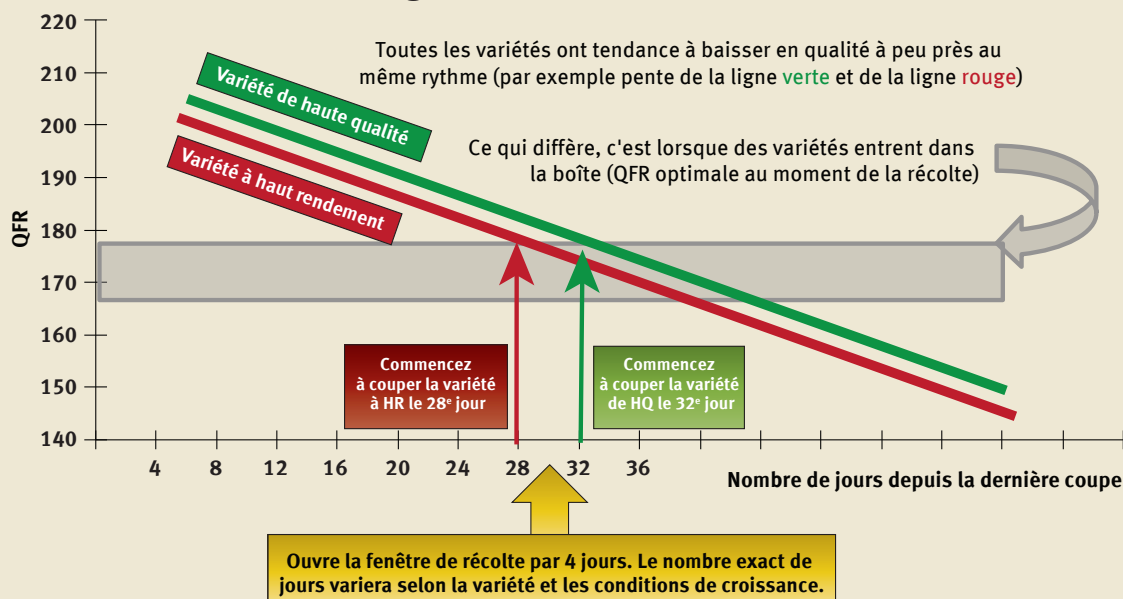
CHOIX DU MOMENT DE LA RÉCOLTE

Le moment de la journée pour récolter la luzerne cultivée (matin par rapport à l'après-midi) est un sujet intéressant. Les résultats de recherche se rejoignent sur les deux facettes de ce débat. L'idée de base est qu'une coupe plus tardive dans la journée permet à la culture de déposer plus de sucre pour améliorer la palatabilité et pour aider à la fermentation de l'ensilage. Une grande partie de la recherche favorable à cette option a été menée avec le foin de luzerne récolté dans les états de l'Ouest.

Par rapport aux fourrages récoltés en après-midi, les fourrages du matin diffèrent en composition initiale. Cependant, on ne sait pas encore si ces différences persistent au-delà du séchage et/ou de la fermentation. Même une fois coupée, la plante vit toujours et la respiration cellulaire réduira les niveaux de sucre pendant la nuit et durant la période sans ensoleillement. Pour de la luzerne fauchée en après-midi, une recherche au Wisconsin a indiqué que 11 des 14 échantillons avaient des concentrations plus élevées en sucres. Toutefois, seulement un seul sur 14 comportait des niveaux en sucre plus élevés dans le fourrage entreposé.

Une étude *in vitro* menée par Miner Institute n'a révélé aucune différence statistique dans les sucres, l'amidon, la NDF ou la digestibilité entre la récolte du matin et celle de l'après-midi. Alors que la récolte de la luzerne cultivée en après-midi était numériquement plus élevée en sucre et en amidon, les petites différences ont diminué ou disparu au moment où le fourrage a atteint 40 % de matière sèche. La luzerne fauchée dans la matinée était prête pour l'ensilage après environ neuf heures, alors que celle coupée en fin d'après-midi était impossible à ensiler

En utilisant la gestion de variété de manière à « élargir la fenêtre de la récolte »





avant le lendemain après-midi. Plusieurs chercheurs de la région du Midwest et de la côte suggèrent qu'il vaut mieux récolter tôt en début de journée pour maximiser les heures de séchage au soleil plutôt que de prolonger cette période et risquer des conditions météorologiques défavorables.

Il semble également y avoir suffisamment de sucre pour soutenir la fermentation lorsque la luzerne est récoltée à des taux d'humidité/maturité typiquement nord-américains comparativement aux fourrages européens plus faibles en matière sèche. La palatabilité du foin est également moins préoccupante lorsqu'il est servi en ration totale mélangée.

RÉCOLTE À LA FIN DE L'AUTOMNE DANS LES CLIMATS NORDIQUES

Récolter la luzerne à la fin de l'automne, après une gelée meurtrière est une approche viable. Elle accroît les stocks de fourrages sans affecter la survie hivernale ni les rendements printaniers suivants. L'Université du Wisconsin suggère une « fenêtre sans coupe » du premier septembre jusqu'à la gelée meurtrière (en bas de -5°C). Cela donne suffisamment de temps à la plante pour déposer des réserves d'hydrates de carbone aux racines de manière à survivre à l'hiver et satisfaire les besoins destinés à la croissance le printemps suivant. D'autres recherches

indiquent que lorsque la longueur de la période de repousse après la récolte est de plus de 45 à 50 jours, une autre récolte peut être prélevée sans trop de risques agronomiques. Dans le cas de la récolte d'automne, il serait prudent de laisser quelques chaumes (15 cm) ou même quelques bandes de manière à accumuler de la neige pour avoir une meilleure isolation et faciliter la survie hivernale. Il est fortement recommandé d'inoculer la luzerne récoltée à la fin de l'automne avec des souches de bactéries spécifiques à celle-ci puisque la majorité des bactéries de fermentation (épiphytes) naturelles ne survivent pas à la gelée meurtrière. La luzerne récoltée à l'automne contient également plus de sucre pentose (cinq carbones) comparativement au sucre hexose (six carbones) produit pendant la croissance printanière et estivale. Les sucres pentoses sont fermentés en acide lactique (trois carbones) et en acide acétique (deux carbones). La production d'acide acétique plutôt que lactique donne généralement un pH supérieur à celui d'un ensilage de luzerne récoltée en automne.

La qualité des aliments devrait être relativement élevée puisque la croissance s'est produite au cours d'une période de rayonnement solaire à la baisse et de nuits plus fraîches, même si la valeur efficace de la fibre de cette récolte sera vraisemblablement très faible.

HAUTEUR DE COUPE

Abaissier la barre de coupe donne des rendements plus élevés. La recherche indique que la luzerne peut être coupée aussi court qu'à quatre centimètres et que chaque pouce au-dessus provoquera une diminution du rendement annuel de 1,2 /ha. Toutefois, les rendements accrus doivent être pondérés avec la tendance des faucheuses à disques d'aspirer de la terre dans la récolte. Cela entraîne une digestibilité moindre et le potentiel d'augmenter les bactéries et les spores terricoles, lesquelles peuvent avoir un impact négatif sur la fermentation. Pour la plupart des producteurs, la coupe des peuplements purs de luzerne à 6,4 ou 7,6 cm semble être un bon compromis. Si le peuplement comprend du brome, du dactyle pelotonné ou de la phléole des prés, on devrait augmenter la hauteur de coupe jusqu'entre 7,6 à 10 cm afin d'éviter de raccourcir la durée de vie d'un peuplement.

BIOLOGIE DU FLÉTRISSEMENT ET DU SÉCHAGE DE LA LUZERNE

L'exposition à la lumière du soleil, la température de l'andain étalé, la température ambiante, la déficience en vapeur, la teneur en eau de la culture et la vitesse du vent constituent les facteurs principaux qui accélèrent le flétrissement et le séchage de la luzerne. Les facteurs qui ralentissent le séchage sont l'humidité relative, la densité de l'andain étalé et l'humidité du sol.

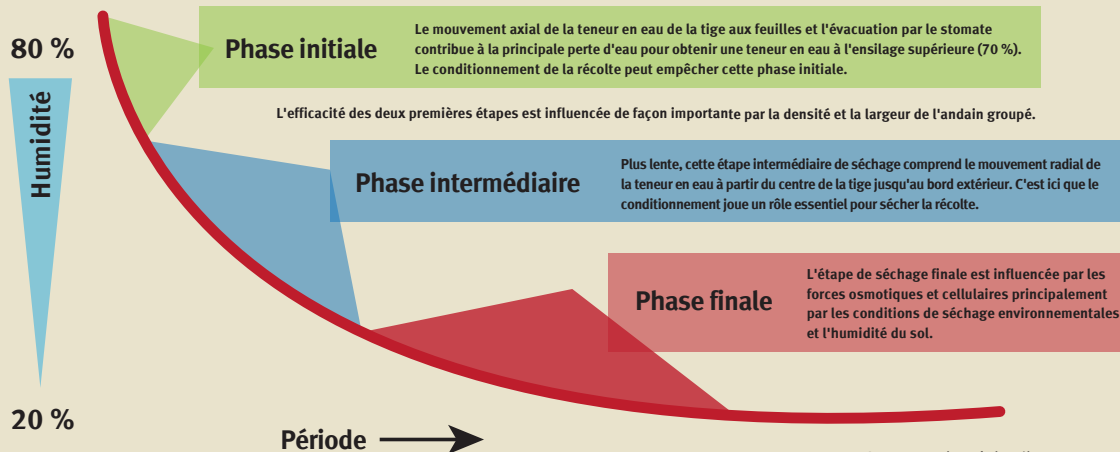
Au moment de la récolte, pour tenter de réduire les risques reliés aux conditions météorologiques, plusieurs producteurs fauchent

la luzerne (parfois sans la conditionner) en andains étalés afin qu'elle sèche plus rapidement. Puis, en deçà de 24 heures, ils la mettent en andains et l'ensilent. Cela ne réduit pas seulement les risques liés aux conditions météorologiques, mais préserve la qualité en conservant plus de sucres et de protéines (sous forme peptidique plutôt que de dégrader à l'ammoniac-N).

Le tableau ci-dessous illustre en détail les phases du flétrissement et du séchage de la luzerne cultivée. La recherche menée par l'Université de Cornell indique que le conditionnement et l'andain présentent un avantage limité puisque cela nuit à la perte d'eau du stomate de la feuille.

Les chercheurs du Wisconsin citent une recherche démontrant que le conditionnement et l'andainage étalé offrent la période la plus courte entre la coupe et l'ensilage d'un produit à un degré d'humidité acceptable. De plus, selon cette étude les andains groupés non conditionnés doivent être deux fois plus larges que les andains groupés conditionnés pour offrir un avantage au séchage. Une partie de ce débat concernant le conditionnement s'appuie sur la teneur en eau de l'ensilage recommandée pour la récolte. De nos jours, les producteurs ciblent un ensilage de luzerne beaucoup plus sèche que le taux de 65 à 70 % qui était la norme autrefois. Lorsque les producteurs utilisent un andainage étalé, il semble que le conditionnement ne soit pas aussi important pour atteindre une teneur en eau de 65 pour cent ou plus. Toutefois, si l'équipement empêche un andainage étalé, le conditionnement est toujours recommandé, surtout pour ceux qui désirent ensiler la luzerne à un taux d'humidité autour de 60 %.

Biologie du flétrissement et du séchage de la luzerne





SEMER
CULTIVER
RÉCOLTER
ENTREPOSER
SERVIR

PROCESSUS DE FERMENTATION

En bref, la fermentation de l'ensilage comprend trois phases. D'abord, l'ensilage subit des conditions aérobies (avec oxygène) lors de la récolte et le remplissage, suivie d'assez près par des conditions d'anaérobie (sans oxygène) lesquelles activent la croissance de bactéries lactiques (produisent l'acide lactique) et une réduction du pH, et finalement, un retour aux conditions aérobies pendant la reprise de l'ensilage.

La perte de matières sèches (rétrécissement) commence avec l'oxygénation des cellules (respiration cellulaire) et la microflore du plant (en aérobie) en utilisant les sources d'hydrates de carbone (principalement le sucre) produisant l'eau, la chaleur et le dioxyde de carbone (CO_2). C'est ce carbone, perdu dans l'atmosphère, qui entraîne la perte due au rétrécissement. Le temps de flétrissement et la vitesse de récolte ont un impact sur l'étendue de ces pertes aérobies au champ. Ces processus se poursuivront jusqu'à l'épuisement de l'oxygène dans la masse d'ensilage. Durant l'entreposage, la teneur en eau du plant et le compactage (tassement) jouent un rôle dans la réduction de la durée de cette phase aérobie en minimisant la porosité de l'ensilage.

La phase anaérobie établit un environnement approprié pour la domination par la bactérie lactique (BL) homofermentaire et hétérofermentaire. Il n'y aurait pas de perte due au rétrécissement lors de cette phase si uniquement les BL homofermentaires étaient actives. Toutefois, moins de 0,5 % d'organismes épiphytes naturellement retrouvés sur de nouvelles cultures sont des BL et seulement une petite proportion de celles-ci est homofermentaire. Pour mettre la perte des BL en perspective, signalons qu'elles causent une perte de 24 % de la matière sèche provenant de la fermentation hétérofermentaire du glucose. En utilisant des souches homofermentaires retrouvées parmi les inoculants d'ensilage de renom, ces fermentations anaérobies peuvent être réduites par 25 % ou plus.

Une nouvelle exposition de l'ensilage à des conditions aérobies peut être divisée en deux zones : exposition de la surface et des côtés avec plus de 20 % de l'ensilage contenu dans les trois premiers pieds (0,91 m) dans la plupart des silos-couloirs, les empilements et l'exposition de la surface pendant la reprise de l'ensilage.

La combinaison de ces deux sources de perte en rétrécissement peut varier considérablement en raison du niveau de gestion avec des estimations de plus de 20 % de perte d'énergie nette (en équivalent d'amidon pur) rapportée dans la documentation pour l'ensilage en milieu aérobie instable. L'utilisation accrue des silos-couloirs et des silos-meules à grande surface exposée (par opposition aux surfaces plus petites des silos verticaux ou des sacs) entraînent un rétrécissement plus important lors de la phase aérobie de la reprise de l'ensilage que celui de la phase aérobie initiale.

Phases de fermentation de l'ensilage et entreposage

PHASES AÉROBIES		PHASES ANAÉROBIES			PHASES AÉROBIES
L'oxygénation des cellules et les organismes aérobies consomment des HCNS (hydrates de carbone non structuraux) avec une production de CO ₂ de chaleur et d'eau.	La population de bactéries enterobacters et hétérofermentaires produisent de l'acide lactique, de l'acide acétique et de l'éthanol.	Phase de transition avec changement à plus de BL (bactéries lactiques) homofermentaires.	Phase principale des BL homofermentaires. L'efficacité dépend des niveaux d'épiphytes, des HCNS, de la teneur en eau et du compactage.	Une augmentation de la solubilité des protéines et de la digestibilité de l'amidon se produit pendant cette phase.	Décomposition secondaire en aérobie lors d'une nouvelle exposition à l'oxygène. Grandement influencée par le taux de reprise lente ou d'une mauvaise gestion de la surface de reprise.
<p>21 °C 32 °C 27 °C >38 °C (si instable) Changement de température : (la température du post-ensilage est généralement supérieure de 15° par rapport à la température ambiante)</p> <p>6,0-6,5 ~5,0 ~4,0 >6,0 (si instable) changement de pH</p>					
Se poursuit jusqu'à ce que tous les O ₂ soient consommés. Haute activité des hydrates de carbone et de la protéine enzymatique.	Les micro-organismes tolérants à l'acétate abaissent le pH à ~5,0. Un pH faible réduit l'activité microbienne. Dure de 24 à 72 heures.	Les BL homofermentaires produisent une chute plus rapide et efficace du pH.	Phase la plus longue, se poursuit jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de HCNS ou que le pH final inhibe la croissance.	Stabilité affectée par la pénétration résiduelle des O ₂ des HCNS, le profil acide, les populations microbiologiques et les champignons.	Activité par la levure, la moisissure et les bactéries aérobies causant 50 % des pertes en m.s.
12 à 24 heures	2 à 3 jours	←	La durée de temps pour atteindre le pH final dépend de la récolte en ce qui a trait à la quantité de sucre et à la capacité du pouvoir tampon. Peut être aussi court que quelques jours avec un ensilage de maïs et aussi long que 2 mois avec un maïs égrené sec à teneur en eau élevée (humidité de <24 %). La durée de temps peut être réduite de moitié avec l'utilisation d'un inoculant de renom.	→	

BL = bactéries lactiques

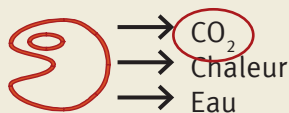
HCNS = hydrates de carbone non structuraux

La fermentation de l'ensilage de maïs-grain humide (et de l'ensilage épi-hampe) est quelque peu unique en raison de la teneur en eau et du contenu en sucre relativement faibles (p. ex. : le grain est principalement composé d'amidon, et non de sucre). La teneur en eau du grain permet de déterminer la durée du processus de la fermentation et les changements relatifs de la digestibilité de l'amidon pendant qu'il se trouve en entreposage. Lorsque récolté au degré d'humidité recommandé dépassant 28 %, le pH final peut être atteint dans un délai de deux à trois semaines. Si les grains sont trop matures/secs (p. ex. humidité < 25 %), cela peut prendre jusqu'à deux mois pour terminer le processus de fermentation. L'inoculation avec des produits spécialement conçus pour l'ensilage de maïs-grain humide peut être très utile. L'inoculants contenant *Lactobacillus buchneri* aide à maintenir la stabilité et de la palatabilité dans une culture reconnue comme porteuse d'un nombre élevé de levures à la récolte.

Plusieurs technologies peuvent être utilisées pour réduire l'altération du dessus et de la surface de reprise. Elles incluent les équipements d'emballage spécialisés, la pellicule de plastique qui agit comme barrière à l'oxygène, les couverts de surface de reprise et les inoculants bactériens contenant *Lactobacillus buchneri*. Le fait que *L. buchneri* soit une BL hétérofermentaire peut susciter des questions. En effet, pourquoi les fabricants d'inoculants utilisent-ils une BL reconnue comme étant moins efficace que les souches homofermentaires. Elles sont utilisées puisque les métabolites préviennent la croissance de levures pendant la reprise de l'ensilage, et c'est la levure qui amorce la cascade d'événements qui mènent à des pertes en aérobies. De plus, la plupart des produits contenant *L. buchneri* contiennent également des souches homofermentaires pour faciliter la chute rapide du pH initial.

Origines de CO₂ perdu, ensilage responsable de la perte (rétrécissement) de matières sèches

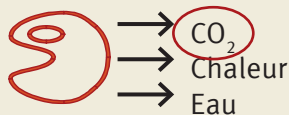
- Oxygénation continue du plant
 - Pertes de CO₂ par :
1. Organismes aérobies actifs jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'oxygène



2. Bactérie hétérofermentaire anaérobie retrouvée naturellement sur les récoltes



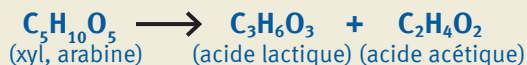
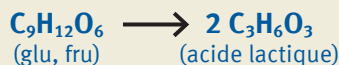
3. Organismes aérobies qui redeviennent métaboliquement actifs lorsque soumis à l'air ambiant à la reprise de l'ensilage



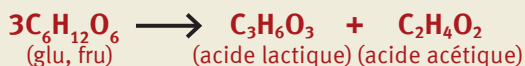
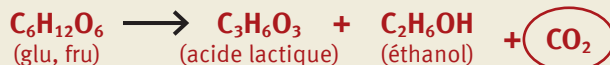
SUBSTRAT

PRODUITS FINAUX

Voies d'accès homofermentaires



Voies d'accès hétérofermentaires



COÛT DU RÉTRÉCISSEMENT

Le rétrécissement d'un ensilage entraîne la perte des nutriments les plus précieux de l'ensilage. Lorsque l'ensilage fermente, les sucres et l'amidon sont ce que les organismes aérobies et les BL utilisent, et la teneur en fibre est effectivement augmentée (concentrée). Pour comprendre le vrai coût du rétrécissement, les pertes doivent être remplacées par une source d'énergie nutritionnelle équivalente, comme le maïs-grain. Par exemple, même dans un silo-couloir relativement bien géré, si les modifications de gestion pouvaient réduire le rétrécissement de 20 % (de 15 % à 12,5 %), cela correspondrait à une valeur de 2,21 \$ par tonne d'aliments (13,24 \$ – 11,03 \$) si cette énergie devait être remplacée par un maïs de 7,00 \$/boisseau (consultez le tableau ci-dessous).

Les producteurs d'ensilage sont tout à fait conscients de l'altération de l'ensilage sur la surface et les côtés. Toutefois, ils pourraient avoir besoin d'autres arguments convaincants concernant la perte de la valeur fourragère dans ce qui peut sembler être un ensilage « normal ». Pour quantifier le rétrécissement, il vaut mieux se fier au poids de la RTM (ration totale mélangée) qui sort du silo-couloir qu'à celui des camions qui entrent au silo-couloir. Il y a tout simplement trop de place pour les erreurs de mesure, et cela ne tient pas compte de la réalité biologique lorsque l'ensilage sort de la structure d'entreposage

avec une teneur en eau plus élevée que lorsqu'il a été ensilé en raison de l'activité microbienne aérobie qui génère l'humidité.

Cependant, il existe plusieurs approches qui peuvent être utilisées pour quantifier le coût nutritionnel du rétrécissement. L'une est l'utilisation de cendres, du pH et des mesures de la température de l'ensilage sur la surface du silo-couloir comparativement à un échantillon prélevé en profondeur (p. ex. : 51 cm). En 2003, dans une étude en champ menée par des chercheurs de DuPont Pioneer sur douze silos-couloirs non inoculés et les silos-meules, la moyenne des cendres, du pH et de la température était respectivement de 0,27 % unité, 0,3 % unité et 5 °C de plus en surface, comparativement à l'échantillonnage pris en profondeur. Lorsque les données concernant les cendres ont été insérées dans une équation de récupération de matières organiques conçue par l'Université d'état du Kansas, on a évalué une perte de matières organiques sèches de 5,6 % de plus pour l'ensilage de surface. Remplacer totalement la matière organique perdue avec de l'amidon de maïs nécessiterait plus d'un boisseau de maïs pour chaque tonne d'aliments d'ensilage.

Une autre approche utilisée par Pioneer pour aider les producteurs à visualiser la chaleur provoquée par l'activité microbienne aérobie est l'utilisation de caméra à sensibilité thermique. L'ensilage réchauffe habituellement de 4 à 6 °C au-dessus de la température

Coût du rétrécissement de la matière sèche par tonne, lorsque remplacé avec du maïs-grain comme source d'énergie équivalente

	% DE RÉTRÉCISSEMENT	10,0 %	12,5 %	15,0 %	17,5 %	20,0 %	22,5 %	25,0 %	27,5 %	30,0 %
Prix du maïs (en \$/bo)	3,00 \$	3,78 \$	4,73 \$	5,67 \$	6,62 \$	7,56 \$	8,51 \$	9,45 \$	10,40 \$	11,34 \$
	3,50 \$	4,41 \$	5,51 \$	6,62 \$	7,72 \$	8,82 \$	9,93 \$	11,03 \$	12,13 \$	13,24 \$
	4,00 \$	5,04 \$	6,30 \$	7,56 \$	8,82 \$	10,08 \$	11,34 \$	12,61 \$	13,87 \$	15,13 \$
	4,50 \$	5,67 \$	7,09 \$	8,52 \$	9,93 \$	11,34 \$	12,76 \$	14,18 \$	15,60 \$	17,02 \$
	5,00 \$	6,30 \$	7,88 \$	9,45 \$	11,03 \$	12,61 \$	14,18 \$	15,76 \$	17,33 \$	18,91 \$
	5,50 \$	6,93 \$	8,67 \$	10,40 \$	12,13 \$	13,87 \$	15,60 \$	17,33 \$	19,07 \$	20,80 \$
	6,00 \$	7,56 \$	9,45 \$	11,34 \$	13,24 \$	15,13 \$	17,02 \$	18,91 \$	20,80 \$	22,69 \$
	6,25 \$	7,88 \$	9,85 \$	11,82 \$	13,79 \$	15,76 \$	17,73 \$	19,70 \$	21,66 \$	23,63 \$
	6,50 \$	8,19 \$	10,24 \$	12,29 \$	14,34 \$	16,39 \$	18,43 \$	20,48 \$	22,53 \$	24,58 \$
	7,00 \$	8,82 \$	11,03 \$	13,24 \$	15,44 \$	17,65 \$	19,85 \$	22,06 \$	24,26 \$	26,47 \$
	7,50 \$	9,45 \$	11,82 \$	14,18 \$	16,54 \$	18,91 \$	21,27 \$	23,63 \$	26,00 \$	28,36 \$
	8,00 \$	10,08 \$	12,61 \$	15,13 \$	17,65 \$	20,17 \$	22,69 \$	25,21 \$	27,73 \$	30,25 \$

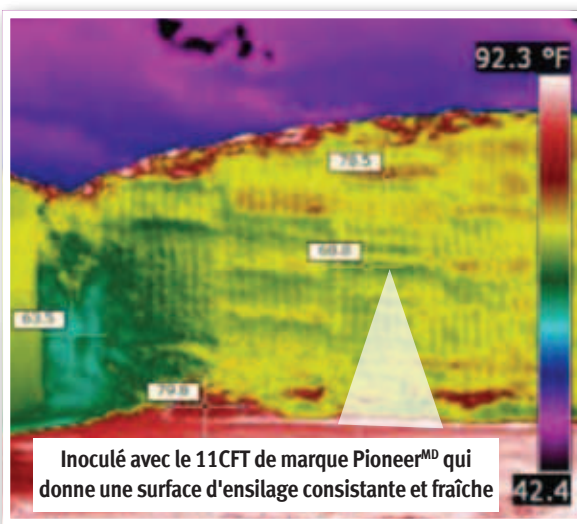
ambiante au moment de l'ensilage. Le taux d'humidité dans les silos-couloirs plus gros retient cette chaleur (physiologique) inévitable, laquelle se dissipe lentement pendant la durée de la période d'entreposage. Si l'ensilage est enlevé de la structure d'entreposage et continue à réchauffer, cela est un réchauffement qui pose un problème particulier, car il est causé par la croissance d'un organisme aérobique qui occasionne une perte de la valeur nutritive et de la palatabilité.

RÔLE DE LA LEVURE DANS LA PERTE PAR RÉTRÉCISSEMENT

Les levures peuvent exercer un impact profond sur l'ensilage au moment le servir en amorçant la diminution de la stabilité aérobique (chauffage) et de la valeur nutritive ultérieure. Les levures sont des épiphytes naturels et que l'on retrouve dans l'ensilage de maïs, l'ensilage de céréales et les grains à teneur en humidité élevée au moment de la récolte. Elles peuvent également être retrouvées dans les ensilages de graminées et de légumineuses, en particulier lorsque récoltées à un faible taux d'humidité (< 50 %). Cela peut expliquer

pourquoi les producteurs qui font de l'ensilage de graminées/légumineuses à un taux d'humidité moins élevé pour essayer d'éviter les problèmes causés par l'acide butanoïque (clostridium) peuvent quelques fois subir des problèmes de stabilité aérobique.

La population de levures et les métabolites qu'ils génèrent changent énormément d'un environnement aérobique à un anaérobique. Les levures peuvent être catégorisées comme souches provenant de la nouvelle récolte, de l'entreposage ou de la reprise d'ensilage. De plus, elles sont également classées comme capables ou incapables de faire la fermentation. Elles peuvent également être subdivisées par leur capacité à utiliser différents substrats comme le sucre soluble ou l'acide lactique. Les bactéries utilisatrices de sucre dominant pendant la phase aérobique au début du processus d'ensilage et pendant les conditions anaérobiques de l'entreposage. Les utilisateurs d'acide constituent la majorité de la population en présence d'oxygène lors de la reprise de l'ensilage. Au moment de la récolte, plus de 90 % des levures utilisent le sucre. Cependant, le processus d'ensilage donne lieu à une pression sélective qui fait en sorte qu'au moment de la reprise



d'ensilage, plus de 90 % des utilisatrices de lactate dominant. Un nombre élevé de levures consommatrices de lactate causent des soucis de stabilité aérobie puisque leur métabolisme d'acide lactique élève le pH de l'ensilage créant un environnement favorable aux bactéries de putréfaction et aux moisissures.

Les levures de nouvelles récoltes sont habituellement incapables de faire la fermentation et comprennent les organismes *Cryptococcus*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* et parfois *Torulopsis*. La chaleur, le dioxyde de carbone et l'acide acétique sont les principaux produits fabriqués par les levures sous conditions aérobies. Le chauffage peut affecter la palatabilité et le dioxyde de carbone contribue à la perte due au rétrécissement.

Les levures capables de fermentation comme *Sacchromyces* et parfois *Torulopsis*, peu résistantes au pH, en anaérobie, peuvent utiliser les sucres résiduels au cours de la période d'entreposage. Les levures ne se reproduisent pas en conditions anaérobies. Bien que les levures ne se reproduisent pas, elles demeurent métaboliquement actives produisant de la chaleur, du dioxyde de carbone, de l'éthanol et également des sous-produits y compris l'acide acétique, des aldéhydes et des esters. Pour tous les alcools produits, un CO_2 est généré ce qui contribue davantage à la perte de matière sèche. La production d'éthanol dans l'ensilage n'est pas entièrement mauvaise. L'éthanol peut aider à solubiliser la zéine, une protéine présente dans les grains de maïs. Avec le temps, durant l'entreposage cela permet une meilleure digestibilité de l'amidon.

Les levures capables de faire la fermentation, actives pendant la reprise de l'ensilage comprennent les espèces *Candida* et *Hansula* qui utilisent l'acide lactique. La levure se reproduira pendant les conditions aérobies (mais pas aussi rapidement que les bactéries). Cela explique pourquoi les reprises lentes, d'un ensilage poreux (mauvaise compaction, donc beaucoup d'air), faible en humidité favorisent la présence d'un si grand nombre de levures (bacilles aérobies). Outre l'acide acétique et les quantités limitées d'éthanol, les conditions aérobies font que la levure produit un grand nombre de composés aromatiques selon la souche de la levure spécifique et les conditions environnementales. Plus la température augmente, plus de composés aromatiques sont produits.

Dans l'ensilage, les levures de la reprise sont également en mesure de produire des esters (odeur fruitée), de l'acétate d'éthyle (odeur de vernis à ongles), de l'alcool de fusel (à partir de la dégradation des acides aminés dégageant une odeur âcre semblable au solvant), des aldéhydes (le biacétyle – odeur de beurre ou l'acétyle-aldéhyde – odeur de pomme verte) et autres composés dégageant des odeurs semblables au solvant. Les niveaux de substrats influencent également le niveau de sous-produits fabriqués en anaérobie, par les utilisateurs des sucres présents durant l'entreposage. À mesure que le niveau en sucre et que la température augmentent, il peut se produire plus d'esters aromatiques et d'alcool de fusel. De hauts niveaux de sucre peuvent également modifier la production



d'alcool vers d'autres métabolites. La production de ces composés aromatiques ne fait pas qu'augmenter la perte de la matière sèche. Elle peut également contribuer de façon importante aux problèmes de palatabilité.

D'une perspective de diagnostic, les ensilages affectés en aérobie ont habituellement une population de levures excédant 100 000 unités de formation de colonies par gramme (ufc/gr) de grains ensilés. La présence des organismes *Hansula* et *Candida* est généralement associée à un pH élevé résultat de la consommation d'acide lactique. De son côté, habituellement *Torulopsis* n'est pas associée à un pH élevé puisque l'organisme utilise principalement des sucres solubles. Les profils d'acides gras volatiles révèlent généralement une réduction en acide lactique et une augmentation des niveaux d'acide acétique. En revanche, habituellement, des échantillons prélevés plus profondément dans la masse d'un ensilage bien compacté indiqueront un pH et un niveau d'acide lactique plus souhaitable. En effet, la croissance de la levure est limitée en raison d'un manque d'oxygène.

Des niveaux plus élevés d'acétate ne devraient pas toujours être considérés comme mauvais ou comme preuve d'une contamination élevée par les levures. Des niveaux plus élevés d'acétate ne devraient pas toujours être considérés comme mauvais ou comme preuve d'une contamination élevée par les levures. Des niveaux d'acide acétique élevés causés par les levures, les bactéries type Gram-négatif, productrices d'acide acétique (p. ex. : *Enterobacter* sp.) ou la bactérie lactique hétérofermentaire (p. ex. : *Leuconostoc* sp.) peuvent contribuer à écourter la durée de vie du fourrage ou causer des problèmes d'ingestion. Toutefois, les ensilages traités avec des additifs bactériens contenant les souches

de *Lactobacillus buchneri* présentent également un ratio lactique/acétique réduit, et pourtant il a été démontré qu'elles réduisent le compte de levures et améliorent la durée de vie du fourrage sans raccourcir de façon importante la durée de vie du fourrage, ni exercer un effet négatif sur la consommation de matière sèche.

La disponibilité accrue du compte et de l'identification de la levure a amené certains nutritionnistes à se questionner sur le lien possible entre des ensilages à compte élevé de levures et le faible test de gras chez les troupeaux laitiers. Bien que les levures contribuent aux événements en cascade qui mènent à un ensilage instable, il est peu probable qu'un taux de gras faible soit attribuable aux levures ou à leurs métabolites, à moins que l'ensilage peu appétant cause le tri et une réduction de la consommation de la fibre efficace. Il serait plus probable que le responsable de la réduction du taux de gras vient du fait qu'on sous-estime la digestibilité de l'amidon ou de la fibre des fourrages. Ces deux points contribuent à réduire le pH du rumen. Ce dernier favorise la synthèse d'intermédiaires par biohydrogénation ruminale comme l'acide linoléique conjugué trans-10 et cis-12.

À court terme, pour pallier la présence des levures nuisibles à l'ensilage il faut accroître le taux quotidien de reprise d'ensilage de manière à les priver du temps requis pour se multiplier dans des environnements oxygénés. Des techniques adéquates de reprises pour préserver une surface de silo horizontal dense et propre aideront également à minimiser l'activité aérobie des levures. À long terme, il faut planifier la récolte de manière à réduire l'activité aérobie des levures qui se trouvent dans l'ensilage. Pour y arriver, il faut choisir une dimension adéquate de la structure d'entreposage afin de permettre : un taux de reprise d'ensilage très élevé, une récolte rapide à la bonne maturité et au bon taux d'humidité, l'utilisation d'additifs pour ensilage contenant *Lactobacillus buchneri*, ainsi qu'un bon compactage et une étanchéité adéquate.

ADDITIFS POUR ENSILAGE

Les études de marché indiquent que les inoculants bactériens représentent 65 % de tous les additifs pour ensilage. Suivent les agents de conservation acides avec une utilisation de 20 %. Les produits acides sont principalement utilisés avec le foin et les grains fermentés.

Les producteurs d'ensilage et les nutritionnistes sont constamment à la recherche de moyens pour améliorer le rendement du fourrage et la qualité nutritionnelle. Lorsque l'on examine les progrès technologiques qui ont eu un impact direct sur les fourrages, l'industrie des inoculants est probablement une des plus novatrices. Il y a eu des améliorations dans la génétique des fourrages. Les fabricants d'équipements ont livré des gains substantiels avec des équipements comme le ramasseur « Merger » ou les surfaceuses de silos-couloirs. Les progrès scientifiques dans les domaines de la microbiologie ont permis à l'industrie des inoculants de livrer d'importantes technologies au cours des dernières décennies. Ces

technologies aident à : 1) Réduire le pH de l'ensilage et à conserver les sucres, 2) réduire le chauffage sur les surfaces d'ensilage de plus en plus grandes, 3) réduire la perte de la matière sèche (rétrécissement) dont la valeur énergétique doit être remplacée avec des sources de grains dispendieux, 4) améliorer la consistance et la palatabilité des aliments ensilés et, plus récemment, 5) introduire les inoculants de Pioneer qui contiennent une souche *Lactobacillus buchneri* en mesure de produire des enzymes estérases. Elles décomposent la fibre à mesure qu'elle croît dans l'ensilage (technologie de la fibre 11 CFT et 11 GFT).

Historiquement, le pH final était la meilleure évaluation de l'efficacité des inoculants. On visait un pH inférieur à 4,5 pour les légumineuses et le maïs-grain humide, et moins de 4,0 pour les ensilages de maïs, de céréales et de graminées. Toutefois, le problème avec le pH final est que la plupart des ensilages finissent par l'atteindre, mais la question est de savoir combien de temps (et combien de sucre) il a fallu pour atteindre un pH final stable. De nos jours, il existe des outils permettant de mieux évaluer l'effet de l'inoculation : les profils AGV, image par caméra thermique et des méthodes de laboratoire comme Fermentrics^{MC} laquelle permet de mesurer les cinétiques de la digestion.

Depuis 1978, Pioneer a joué un rôle central dans l'identification et la commercialisation de souches bactériennes. Les microbiologistes spécialisés en ensilage chez DuPont Pioneer ont conçu une gamme étendue d'inoculants spécifiques à chaque culture. Ces produits résultent d'une évolution naturelle, fruit de la recherche qui a prouvé que les bactéries ne fonctionnent pas toutes de la même manière avec chaque récolte. Si l'ensilage était considéré comme un média pour la croissance bactérienne, imaginez l'étendue des différences qui existent entre les cultures. L'ensilage de maïs possède une teneur élevée en sucre et une faible capacité tampon, tandis que la luzerne cultivée contient relativement peu de sucre et une grande capacité tampon, et elle est exposée aux polluants des sols alors qu'elle flétrit au sol. L'ensilage de maïs-grain humide est le plus difficile à fermenter en raison d'une disponibilité en eau relativement réduite, de sa teneur en sucre très basse et généralement, d'un compte en levures élevé.

La conception de produits inoculants devient plus complexe du fait que les microbiologistes de DuPont Pioneer doivent tester individuellement en laboratoire différentes combinaisons de souches et faire des essais sur les animaux. Cela est dû au fait que les souches bactériennes peuvent agir différemment lorsqu'elles sont combinées à diverses autres souches par rapport à leur façon d'agir lorsqu'elles sont testées individuellement.

Au cours de l'année 2000, la technologie des inoculants a fait un grand pas lorsque Pioneer a commercialisé le premier inoculant Nord-Américain contenant la souche *L. buchneri*. Cela fut rapidement suivi en 2003 par la mise en marché du premier produit (11C33) contenant des souches homofermentaires spécifiques

Progrès technologique des inoculants

2007-2011

Pioneer introduit la technologie de la fibre

(11CFT/11GFT), avec une nouvelle souche de bactéries *L. buchneri* produisant des enzymes qui digèrent la fibre dans l'ensilage

Début des années 2000

- *Lactobacille buchneri* pour une amélioration marquée de la durée de vie de l'ensilage.
- Pioneer lance la première combinaison de produits homofermentaires et *L. buchneri* (11C33).

1990

- Intérêt à quantifier l'amélioration des performances animales avec un ensilage inoculé.
- L'introduction d'inoculants spécifiques à chaque culture avec des souches spécifiques pour les différents défis de la fermentation de la récolte (1132, 11H50, 1189).

1980

- L'objectif principal était la réduction du pH de manière à conserver les sucres
- Les premières tentatives visant à améliorer la durée de vie du fourrage

1970

Personne ne pensait vraiment à la manipulation de la fermentation de l'ensilage

à chaque culture. Il est utilisé conjointement avec *L. buchneri* de manière à permettre une baisse rapide de pH et à améliorer de façon importante la durée de vie du fourrage. Les souches de *L. buchneri* préfèrent un pH faible pour avoir une croissance optimale. Elles requièrent d'un à deux mois dans l'ensilage pour utiliser l'acide lactique préformé (réduisant ainsi les niveaux de l'acide lactique) et pour produire des métabolites (acide acétique et propanédial 1, 2) qui inhibent la croissance des levures. Servir des ensilages traités avec *L. buchneri* avant un à deux mois après l'ensilage ne présente aucune inquiétude. Toutefois, la durée de vie du fourrage pourrait être inférieure à celle attendue.





Améliorer la digestibilité des fibres a longtemps été le but ultime des microbiologistes de DuPont Pioneer. La recherche démontre clairement que l'ajout de certaines enzymes à la RTM peut améliorer la digestibilité des fibres. Le problème vient du fait que cultiver des bactéries productrices d'enzymes dans des cuves de fermentation commerciales, les purifier, les stabiliser, et les vendre par les canaux de distribution fait en sorte que leur utilisation n'est pas économiquement viable pour le marché de l'ensilage. Les produits traditionnels qui contiennent des souches de bactéries de fermentation et des enzymes n'ont jamais démontré une amélioration dans la digestibilité au-delà de ceux contenant uniquement la bactérie. Cela est dû au coût élevé des enzymes

purifiées qui empêche leur inclusion à des taux adéquats.





Une autre percée technologique dans l'amélioration de la digestibilité des fibres s'est produite en 2007. C'est l'année où Pioneer a introduit la technologie Sila-Bac (11CFT) pour fibres contenant une souche unique de *L. buchneri* capable de produire des enzymes estérases acétyles et férulates tout en croissant dans l'ensilage. Cette enzyme aide à séparer la lignine du polysaccharide de la paroi cellulaire. Une action qui augmente le taux de digestibilité des fibres génère plus d'énergie métabolisable et un meilleur rendement en protéines microbiennes de l'ensilage. Cela permet d'inclure dans la ration plus de fourrage, de meilleure qualité, et la possibilité de réduire les coûts d'alimentation en enlevant le grain et les protéines en raison de la valeur nutritive améliorée du fourrage.

La recherche menée par le Centre DuPont Pioneer d'alimentation du bétail, ainsi que des douzaines d'études au champ ont démontré que les masses d'hydrates de carbone (B1, B2 et B3) tels que définis dans le modèle Cornell, ont un meilleur taux de digestibilité dans l'ensilage inoculé avec la souche bactérienne qui produit l'estérase dans le 11CFT. Le modèle Cornell offre un logiciel pour équilibrer la ration selon le système de protéines et d'hydrates de carbone nets (CNCPS). En modifiant ces taux de digestibilité dans le logiciel, il indique que

Portfolio d'inoculants de marque Sila-Bac^{MD} spécifiques à chaque culture

Principaux avantages et utilisation recommandée du produit	TECHNOLOGIE DE LA FIBRE DU MAÏS	ENSILAGE DE MAÏS		ENSILAGE DE LUZERNE CULTIVÉE
	11CFT <small>Contient <i>L. buchneri</i></small>	11C33 <small>Contient <i>L. buchneri</i></small>	1132	11H50
				
	<p>Réduit la perte de la matière sèche en abaissant rapidement le niveau du pH. Contient également la souche <i>L. buchneri</i> pour réduire considérablement les pertes aérobies à la reprise de l'ensilage.</p> <p>La technologie des produits fibreux qui améliorent la digestibilité avec une enzyme qui est produite par une nouvelle souche <i>L. buchneri</i> fait de ce produit un excellent choix pour les animaux hautement productifs nourris avec une grande quantité de fourrage.</p> <p>Permet une réduction des concentrés et suppléments protéiques afin de réduire tous les coûts liés à l'alimentation.</p>	<p>Améliore la qualité de l'ensilage et la durée de vie du fourrage en réduisant rapidement le niveau du pH, et améliore de façon importante la durée de vie du fourrage grâce à l'inclusion de la souche <i>L. buchneri</i>.</p>	<p>Réduit rapidement le pH de l'ensilage et améliore progressivement l'efficacité de la digestion des nutriments.</p> <p>Plus adaptés pour les ensilages qui bénéficient d'une excellente gestion de la surface de reprise.</p>	<p>Réduit la perte de la matière sèche par une fermentation plus rapide et efficace.</p> <p>Réduit de manière significative la dégradation protéique de l'ensilage de luzerne cultivée.</p>
	Améliore la fermentation	Améliore la durée de vie du fourrage	Améliore la digestibilité des fibres	
	***	***	***	***
	***	***	*	**
	***	**	**	*

Classement relatif * = Bon ; ** = Excellent ; *** = Remarquable, S.O. = Sans objet. **IMPORTANT** : Les informations et les classements sont basés sur des comparaisons relatives avec d'autres inoculants de la marque Sila-Bac^{MD} au sein de chaque récolte en particulier, et non avec des produits concurrentiels. Les informations et les classements sont assignés par DuPont Pioneer Forage Additive Research (recherche sur les additifs pour fourrages) et sont fondés sur les performances moyennes dans des conditions générales d'utilisation, parmi un large éventail d'environnement et de conditions de gestion, et ne peuvent prédire les résultats futurs. Les réactions des produits sont variables et sujettes à toutes les conditions environnementales et de gestions. Veuillez utiliser cette information uniquement pour positionner votre produit.

TECHNOLOGIE DE LA FIBRE DE LA GRAMINÉE	ENSILAGE DE GRAMINÉES/ CÉRÉALES	MAÏS-GRAIN HUMIDE		RÉCOLTES MULTIPLES	
11GFT <i>Contient L. buchneri</i>	11G22 <i>Contient L. buchneri</i>	11B91 <i>Contient L. buchneri</i>	1189	11A44 <i>Contient L. buchneri</i>	1174/1177
					
<p>Réduit la perte de la matière sèche en réduisant rapidement le pH des ensilages de graminées ou de céréales, et améliore la durée de vie du fourrage en y incorporant la souche <i>L. buchneri</i>.</p> <p>Technologie des produits fibreux contenant la souche <i>L. buchneri</i> pour améliorer la durée de vie du fourrage et pour augmenter sensiblement la digestion des fibres. Mieux adapté pour les animaux hautement productifs nourris avec une grande quantité de fourrage.</p> <p>Permet une réduction des coûts liés aux concentrés et aux suppléments protéiques.</p>	<p>Aide à protéger la qualité nutritionnelle de la graminée ou des céréales d'ensilage en réduisant rapidement son pH et améliore la durée de vie du fourrage en y incorporant la souche <i>L. buchneri</i>.</p>	<p>Combine les avantages du 1189 et améliore de façon importante la durée de vie du fourrage grâce à l'inclusion de la souche <i>L. buchneri</i>.</p>	<p>Réduit rapidement le niveau du pH et augmente la digestibilité de l'amidon du maïs-grain humide ou de l'ensilage épi-hampe.</p> <p>Permet d'améliorer l'efficacité d'alimentation et la prise de poids chez les animaux nourris avec du maïs-grain humide égrené ou avec un ensilage épi-hampe.</p>	<p>Contient la souche <i>L. buchneri</i> pour améliorer de façon importante la durée de vie du fourrage d'ensilage.</p> <p>Mieux adapté à l'ensilage et la gestion des situations où la gestion de la surface de reprise et la stabilité aérobie sont un défi.</p>	<p>Produit de fermentation de base qui réduit rapidement le pH de l'ensilage et conserve les sucres précieux de la récolte tout en réduisant la dégradation protéique.</p>
**	**	***	***	Varie en fonction de la récolte	
***	***	***	*		
***	*	S.O.	S.O.		

Consultez le site Web www.pioneer.com/inoculants ou contactez un représentant de Pioneer pour obtenir la liste complète mise à jour des attributs et des pointages de chaque produit de marque Sila-Bac[®]. **Fermentation** – taux et étendue de la baisse du pH et la composition des acides de fermentation qui surviennent dans l'ensilage. **Durée de vie du fourrage** – croissance de la chaleur relative par rapport à la température ambiante. La durée de vie du fourrage tient compte de la rapidité avec laquelle l'ensilage commence à réchauffer et la quantité de chaleur générée tout en demeurant au-dessus de la température ambiante. **Digestibilité des fibres** – la digestibilité de la fibre au détergent neutre (NDF) par les ruminants est exprimée en pourcentage du total de la NDF. Tous les produits sont des marques de commerce de leurs fabricants.

l'ensilage inoculé produit plus d'énergie métabolisable (EM), de protéines métabolisables (PM) et de quantité de lait projetée, tout en donnant une production de protéines microbiennes accrue (des bactéries du rumen plus en mesure d'accéder plus facilement à la portion digestible de la paroi cellulaire).

Les nutritionnistes et les producteurs ont mis en doute l'impact qu'ont les acides lactiques et acétiques produits dans l'ensilage sur la consommation de cet ensilage ou sur l'acidose ruminale. L'acide lactique est produit par les espèces bactériennes de l'ensilage (lactobacilles et entérocoques) et par les organismes du rumen (espèces *Selenomonas ruminantium*, *Streptococcus bovis* et *Lactobacilles*). Bien que l'acide lactique soit un acide dix fois plus fort que les autres acides gras volatiles de l'ensilage (ou du rumen), la contribution totale de l'acide (surtout lactique) d'un ensilage raisonnablement bien fermenté, ne représente qu'une infime fraction par rapport à la charge d'acide totale produite par les organismes du rumen.

La réduction de la consommation a longtemps été associée à un ensilage à teneur élevée en composés ammoniacaux, amides et aminés (telle que l'histamine). Ce sont des produits finaux résultant de la dégradation protéique de l'ensilage pendant la fermentation. Si la fermentation est prolongée, ces produits de la dégradation protéique augmentent habituellement en concentration, similaire aux concentrations en acides. L'azote ammoniacal (exprimée en pour cent de l'azote total) à moins de 5 % indique généralement un ensilage de haute qualité.

Des recherches menées en Europe et aux États-Unis indiquent que de hauts niveaux d'acétate (p. ex. : le ratio d'acide lactique/ acide acétique de près de 1/1) n'ont aucun impact négatif sur

l'ingestion si le haut niveau acétique est le résultat d'un ensilage traité avec des souches *L. buchneri*. Toutefois, l'acide acétique produit par la levure, par les producteurs d'acide acétique Gram négatif comme les espèces *Enterobacter* ou par la bactérie d'acide lactique hétérofermentaire comme les espèces *Leuconostocs* peuvent contribuer à raccourcir la durée de vie du fourrage ou à donner lieu à des problèmes d'ingestion.

À mesure que les inoculants deviennent plus sophistiqués dans leur capacité à manipuler la fermentation et la digestibilité, il pourrait être possible de faire des fourrages à valeur nutritive supérieure à celle du jour où ils ont été récoltés ; un peu comme la transformation du grain qui améliore la valeur nutritive de l'ensilage de maïs. Les produits inoculants à la fine pointe de la technologie devraient probablement être considérés comme un outil de gestion pour aider à améliorer la valeur nutritive plutôt que comme une police d'assurance pour réduire les pertes potentielles. À mesure que l'industrie des inoculants évolue, il sera important pour les nutritionnistes de bien comprendre le mode d'action des produits, car la formulation de rations aura peut-être besoin d'être modifiée pour profiter pleinement de la valeur offerte par ces produits.

APPLICATION D'INOCULANTS

Pour que l'inoculation soit efficace à réduire le rétrécissement, à améliorer la durée de vie du fourrage et la digestibilité des nutriments, il est essentiel que les bactéries soient distribuées uniformément dans l'ensilage. Les bactéries lactiques ne comportent pas de flagelle et ne migrent pas très loin dans l'ensilage. Bien que l'application granulaire soit toujours utilisée, la méthode préférée pour faciliter la distribution sur la récolte est l'application



Appli-Pro^{MD} SLV C2000



Appli-Pro^{MD} SLV



Appli-Pro^{MD} De base

du liquide à l'ensilage dans la souffeuse ou l'ensileuse. De plus, les produits granulaires sont moins efficaces dans un ensilage sec.

Pioneer a mené des recherches approfondies concernant l'application. Pioneer a mis sur le marché plusieurs systèmes d'applications d'inoculants brevetés AppliPro^{MD}. En plus d'assurer une excellente distribution, ces applications permettent également d'enlever les inoculants de l'applicateur et de les ranger jusqu'à cinq jours sans aucune perte de viabilité dans les cas où les conditions météorologiques ou les bris d'équipement retardent le début de la récolte.

PROFILS AGV

L'interprétation pratique des profils des acides gras volatils (AGV) de l'ensilage peut s'avérer difficile, surtout si des additifs contenant la souche *L. buchneri* ont été utilisés et qu'ils n'ont pas été enregistrés par le laboratoire. De plus, un grand nombre d'ensembles de données issues de laboratoires commerciaux sont subjectifs par la présentation d'échantillons qui posent problème. En général, une culture à teneur élevée en humidité se traduit par une fermentation plus longue et par une charge d'acide totale plus élevée. Il n'est pas rare chez des ensilages de graminées à faible teneur en matière sèche d'avoir des niveaux d'acide total dépassant 10 %. Les ensilages typiques nord-américains traités avec un inoculant homofermentaire auront un ratio acide lactique/acide acétique supérieur à deux pour un. Comme on l'a vu précédemment, les niveaux d'acide lactique/acide acétique peuvent approcher 1:1 lorsque des produits contenant la souche *L. buchneri* métabolisent l'acide lactique pour produire de l'acide acétique et le propanédial 1, 2.

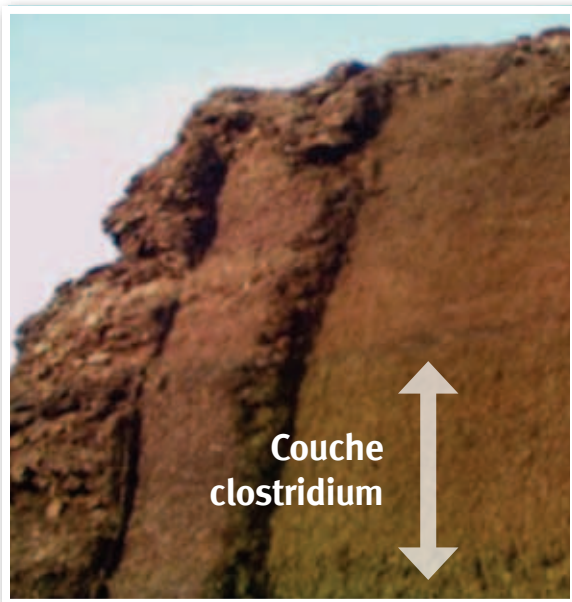
Profil type de l'acide gras volatil (AGV) d'un ensilage de maïs inoculé homofermentaire	
Profil de fermentation	
pH	3,6 %
Acide lactique, % m.s.	4,6 %
Acide acétique, % m.s.	0,8 %
Acide propionique, % m.s.	0,1 %
Azote ammoniacal, % PB	4,6 %

Profil type de l'acide gras volatil (AGV) d'un ensilage de maïs inoculé <i>L. buchneri</i>	
Profil de fermentation	
pH	3,8 %
Acide lactique, % m.s.	3,1 %
Acide acétique, % m.s.	1,8 %
Acide propionique, % m.s.	0,4 %
Azote ammoniacal, % PB	4,6 %

L'AGV qui devrait être absent d'un ensilage de qualité est l'acide butanoïque produit par clostridium. L'ensilage à forte teneur en eau et contaminé par de la terre (niveau élevé de cendres) à tendance à avoir plus de problèmes avec l'acide butanoïque. L'acide butanoïque réduit la palatabilité et la prise alimentaire. Il a le potentiel de prédisposer les ruminants à l'acétose. Les recommandations sont de limiter l'ingestion quotidienne d'acide butanoïque à 50 grammes ou moins pour les vaches en début de lactation. Les niveaux supérieurs à 150 grammes présentent un risque élevé d'acétose. Quel que soit le stade de lactation, le risque d'acétose est élevé lorsque les niveaux quotidiens de consommation dépassent 250 grammes (voir le tableau).

Seuil de l'acide butanoïque pour l'ensilage

% d'acide butanoïque dans l'ensilage (base m.s.)	mg/lb	50g / vache / jour	150g / vache / jour	250g / vache / jour
	Source : Dr. Gary Oetzel, Univ. du WI.			
0,25	1,1	44,1	132,2	220,3
0,50	2,3	22,0	66,1	110,1
0,75	3,4	14,7	44,1	73,4
1,00	4,5	11,0	33,0	55,1
1,25	5,7	8,8	26,4	44,1
1,50	6,8	7,3	22,0	36,7
1,75	7,9	6,3	18,9	31,5
2,00	9,1	5,5	16,5	27,5
2,25	10,2	4,9	14,7	24,5
2,50	11,4	4,4	13,2	22,0
2,75	12,5	4,0	12,0	20,0
3,00	13,6	3,7	11,0	18,4
3,25	14,8	3,4	10,2	16,9
3,50	15,9	3,1	9,4	15,7
3,75	17,0	2,9	8,8	14,7
4,00	18,2	2,8	8,3	13,8
4,50	20,4	2,4	7,3	12,2
5,00	22,7	2,2	6,6	11,0
5,50	25,0	2,0	6,0	10,0
6,00	27,2	1,8	5,5	9,2
6,50	29,5	1,7	5,1	8,5
7,00	31,8	1,6	4,7	7,9
8,00	36,3	1,4	4,1	6,9
9,00	40,9	1,2	3,7	6,1



Couche
clostridium

DÉGRADATION PROTÉIQUE

L'azote ammoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) en tant que pourcentage de l'azote total peut être un indicateur de la durée de la fermentation et/ou de la fermentation clostridium. En général, une fermentation plus rapide signifie moins de protéolyse. Les niveaux de $\text{NH}_3\text{-N}$ (en tant que pour cent du N total) doivent être inférieurs à 10 % pour les ensilages de maïs/céréales et moins de 15 % pour les ensilages de graminées/légumineuses.

Les dommages causés par la chaleur (protéine non disponible ou liée) à l'intérieur de l'ensilage sont contrôlés avec de l'azote insoluble au détergent acide (ADIN) en tant que pourcentage de l'azote total. Des niveaux supérieurs à 12 % indiquent une chaleur excessive ($>54,4^\circ\text{C}$) dans les ensilages de fourrage et peuvent nécessiter des réglages de la protéine brute dans la ration. Des niveaux d'azote insoluble dans la pepsine (en tant que pourcentage de l'azote total) supérieurs à 20 % indiquent une chaleur excessive dans les ensilages épi/hampe ou de maïs-grain humide égrené.



COMPACTAGE ET ÉTANCHÉITÉ

Le tassement des silos-couloirs et des silos-meules est l'un des éléments les plus essentiels pour assurer la qualité de l'ensilage. Les ensilages à faible teneur en matière sèche mal compactés verront la respiration cellulaire du plant se prolonger ce qui occasionnera une perte supplémentaire de nutriments digestibles. L'air emprisonné peut permettre la croissance des micro-organismes aérobies (levures et moisissures), lesquels sont nuisibles au processus de fermentation de l'ensilage. La majorité des ensilages qui chauffent (plus de $>5,7^\circ\text{C}$ au-dessus de la température ambiante au moment de la récolte) sont le résultat d'un mauvais compactage. La densité est ce qui est facile à mesurer au silo-couloir, mais en réalité c'est la porosité (mouvement d'air) que les méthodes de gestion essaient de réduire. Prendre la mesure

La porosité et la densité de la m.s. en tant que fonction de la masse volumique en vrac du fourrage et de son contenu en m.s.

Les cellules ombrées atteignent la masse volumique en vrac et les niveaux de porosité recommandés

Masse volumique en vrac (objectif >44) (lb comme aliment/pi ³)	30	35	40	45	50	55
M.S. du fourrage	Porosité (objectif < 40) (Densité de la m.s., lb m.s./pi ³)					
25 %	55,9 (7,5)	48,6 (8,8)	41,3 (10,0)	33,9 (11,3)	26,6 (12,5)	19,2 (13,8)
30 %	56,7 (9,0)	49,5 (10,5)	42,3 (12,0)	35,1 (13,5)	27,9 (15,0)	20,7 (16,5)
35 %	57,5 (10,5)	50,5 (12,3)	43,4 (14,0)	36,3 (15,8)	29,2 (17,5)	22,2 (19,3)
40 %	58,3 (12,0)	51,4 (14,0)	44,5 (16,0)	37,5 (18,0)	30,6 (20,0)	23,6 (22,0)
45 %	59,1 (13,5)	52,3 (15,8)	45,5 (18,0)	38,7 (20,3)	31,9 (22,5)	25,1 (24,8)
50 %	59,9 (15,0)	53,3 (17,5)	46,6 (20,0)	39,9 (22,5)	33,3 (25,0)	26,6 (27,5)

Adapté de Holmes, 2009.

de la densité peut être dangereux dans les grands silos-couloirs ou dans les silos-meules avec des surfaces instables. L'un des avantages de l'imagerie thermique est sa capacité de visualiser en toute sécurité l'ensemble de la surface avec la signature thermique indiquant les zones à porosité excessive.

La recherche du Wisconsin a abordé le lien entre la densité de l'ensilage en vrac et sa porosité. L'objectif est d'aider les producteurs à cibler la teneur en eau de la récolte qui donnera une valeur en porosité inférieure à 40 % et réduira, au bout du compte, la pénétration d'oxygène dans la surface exposée.

Deux des facteurs les plus corrélés à une densité élevée (pour aider à réduire la porosité) sont le temps consacré au tassement par tonne et la profondeur de la couche individuelle étant compactée. L'objectif est de tasser en couches minces de moins de 15 cm. Lors du montage des silos-meules, il est également important de maintenir une pente d'environ 30 degrés pour s'assurer que les « queues » des empilements ne soient pas trop longues, ni profondes. Il a toujours été recommandé de construire des silos-couloirs en utilisant une approche progressive, plutôt que de répandre l'ensilage à plat en couches minces. Toutefois, étant

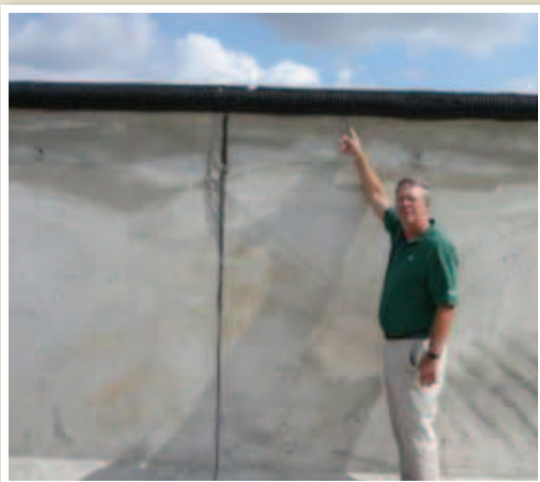
donné la capacité de remplissage des silos-couloirs actuels, si tout le silo-couloir peut être rempli dans un laps de temps relativement court (un à deux jours), il est préférable de le remplir en couches uniformes.

La densité au remplissage doit dépasser 6,80 kg de matière sèche par 0,03 m³ pour les ensilages de fourrages, et plus de 13,6 kg de matière sèche par 0,03 m³ pour l'ensilage de maïs-grain humide. Cela fournira un environnement anaérobie qui aidera à améliorer la fermentation et la stabilité de la reprise de l'ensilage.

Une bonne règle de base pour connaître la capacité de compactage du tracteur est de multiplier par 800 les tonnes d'ensilage livrées au silo-couloir à l'heure. Par exemple, si l'ensilage de maïs est livré au silo-couloir au rythme de 200 tonnes à l'heure, il faut avoir au total une capacité de tassement de 160 000 tonnes (ou environ quatre gros tracteurs pour compacter l'ensilage).

En général, les ensilages ne doivent pas être trop tassés, sauf pour la toute dernière couche. Il est préférable de mettre le dessus à niveau et de le recouvrir, le plus rapidement possible, avec un film et un plastique qui agissent comme barrière contre l'oxygène. Passer des

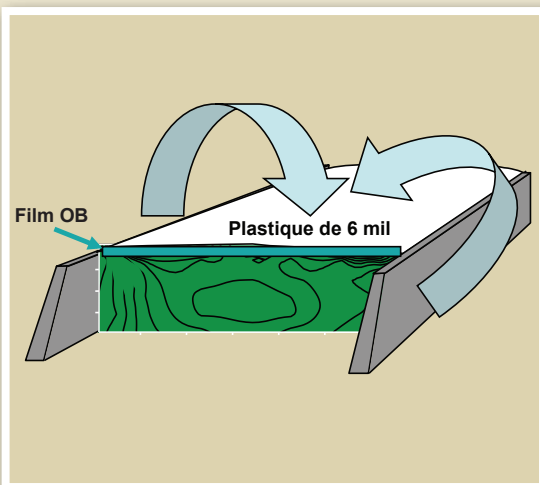
Faire un « sac hors du silo-couloir »



- 1** Placez le tuyau d'argile par-dessus les parois du silo-couloir de manière à ce que le plastique ne puisse se déchirer lorsqu'il est tiré au-dessus des parois latérales.



- 2** Sécurisez le plastique avec quelques aliments et faites-le pendre par-dessus la paroi. Déposez le tuyau d'argile de 10 à 15 cm à l'arrière du plastique. Ne vous inquiétez pas s'il déchire un peu lors du tassement, il agira comme il se doit.



- 3** Placez la pellicule qui sert de barrière à l'oxygène sur le dessus sous le plastique pour plus de protection. Tirez le plastique par-dessus les parois et recouvrez l'ensilage, s'assurer que les feuilles se chevauchent.



- 4** La pluie/neige fondue s'écoule entre les parois et le plastique, et s'échappe par le tuyau d'argile pour une meilleure préservation de l'ensilage contre la paroi.

heures sur le haut d'un silo-couloir ne change pas grand-chose au compactage de la masse entière et entraîne des problèmes de rupture des parois cellulaires, exposant l'eau et les nutriments aux organismes d'altération aérobie. La couche sombre observée à environ 10 à 15 cm sous le dessus d'un silo-couloir par ailleurs très bien géré, est souvent le résultat d'avoir passé des heures au tassement de la couche supérieure. La migration de l'eau et des nutriments dans l'ensilage permet aux organismes qui l'altèrent de se multiplier dans cette zone.

Le scellement de l'ensilage est l'autre étape importante. Cela devrait être fait aussitôt que possible en recouvrant avec un film qui agit comme barrière contre l'oxygène et un plastique blanc

de 6 à 8 mm (pour réfléchir la lumière du soleil et réduire la condensation sous le plastique). Envisagez de mettre le plastique le long des parois du silo-couloir de manière à créer « un sac hors du silo-couloir ». Assurez-vous que le plastique se chevauche entre les feuilles de manière à ce que l'eau puisse s'égoutter par le dessus du plastique et non dans l'ensilage. Le plastique devrait être lesté avec des sacs de gravier fin ou des pneus pour le maintenir bien serré. Cela est particulièrement important sur la face avant afin d'empêcher l'air de s'engouffrer dans l'ensilage. Si le silo-couloir est incliné correctement, il est recommandé d'avoir entre 31 à 61 cm de plastique par-dessus la surface de manière à repousser l'eau en cas de pluie.





SEMER
CULTIVER
RÉCOLTER
ENTREPOSER
SERVIR

GESTION DE LA REPRISE DE L'ENSILAGE

Une bonne gestion de la reprise d'ensilage est essentielle pour maintenir la consistance et la qualité élevée des fourrages ensilés ainsi que la teneur en eau élevée des grains. Les recherches indiquent qu'une gestion inadéquate de la surface de reprise peut facilement doubler les pertes dues au rétrécissement. En plus des pertes financières associées au rétrécissement, la qualité des aliments et leur consistance peuvent varier considérablement, et peuvent mener à des problèmes de productivité et de santé du bétail. Comme mentionné précédemment, la porosité est l'ennemi, alors le taux d'humidité (pour remplir les espaces d'air), la taille des particules, le tassement (densité) et les méthodes pour étancher l'ensilage sont aussi essentielles pour le maintien des conditions anaérobies. Il est également conseillé d'enlever et d'éliminer l'ensilage visiblement moisi qui se trouve sur les côtés ou sur la surface de la structure d'entreposage. Ne laissez pas d'ensilage libre, aéré s'empiler pendant de longues périodes de temps avant de le servir.

Lors de la reprise, de bonnes pratiques sont particulièrement importantes pendant les périodes chaudes de l'année puisque l'activité biologique des bactéries aérobies et des levures double chaque fois que la température monte de 4 °C. Par conséquent, il devient difficile de garder une longueur d'avance sur l'instabilité aérobie pendant le printemps et l'été. Il est également courant d'avoir des problèmes de durée de vie avec une récolte soumise à la pluie avant le hachage et l'ensilage. La pluie peut lessiver les sucres de la récolte et éclabousser des bactéries et des champignons (moisissures) terrioles sur la récolte, et effectivement « ensemer » l'ensilage avec des organismes qui n'attendent que l'occasion de proliférer. Les cultures stressées par la sécheresse, les insectes ou les dégâts provoqués par la grêle posséderont généralement un taux élevé de champignons indiquant qu'une régie adéquate doit être pratiquée au moment de les ensiler.

Le premier critère pour obtenir un ensilage stable, c'est l'atteinte d'un pH faible. Cela présente un environnement hostile qui inhibe la propagation des microorganismes comme les bactéries aérobies, les levures et les moisissures. Les inoculants contenant les souches *L. buchneri* ont été un énorme avantage en inhibant la croissance des levures. Un deuxième critère important pour le maintien d'un ensilage stable consiste à le garder en état d'anaérobie ou « exempt d'oxygène ».

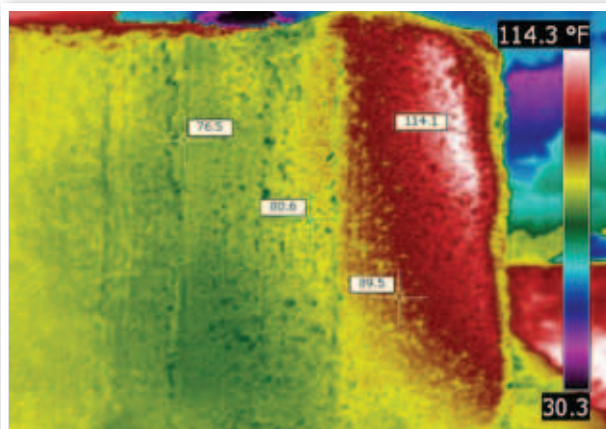
Les ensilages doivent être retirés du silo-couloir et des silos-meules en travaillant la surface exposée à partir du haut vers le bas ou en décollant l'ensilage horizontalement avec un chargeur avant à godet. Cela est préférable à l'option de lever la benne du bas

Protégé par un film/plastique qui agit comme barrière contre l'oxygène

**Protégé par les inoculants de marque Sila-Bac^{MD}
contenant des souches *L. buchneri***

vers le haut. Travailler en levant crée des lignes de fracture dans la masse de l'ensilage et permet à l'oxygène d'y pénétrer favorisant ainsi l'activité aérobie. Même lorsque les 15 cm quotidiens de la surface sont enlevés, l'oxygène peut toujours pénétrer de plusieurs pieds dans la masse entreposée. Cela facilite l'activité aérobie génératrice de chaleur qui peut ne pas se dissiper entièrement de la surface. L'utilisation d'inoculants contenant la souche *L. buchneri* permet un taux de reprise réduit tout en maintenant la stabilité aérobie. Les surfaceuses d'ensilage deviennent de plus en plus populaires. Elles « mélangent » l'alimentation sur toute la surface et enlèvent proprement l'ensilage sans perturber le compactage, ce qui est souvent le cas avec un chargeur frontal.

Les illustrations jointes indiquent l'imagerie thermique et normale d'un silo-couloir bien géré par surfacage mécanique. Ce silo-couloir a été divisé en deux parties égales puisqu'il était excessivement large. Le taux de reprise ou désilage posait problème. Par contre, l'imagerie thermique indique clairement, par les couleurs blanc-rouge, que l'oxygène pénètre le côté exposé avec comme résultat une activité aérobie et une perte de nutriments. Lorsque les silos-couloirs sont inoculés avec des produits contenant la souche *L. buchneri*, il est recommandé de nourrir à partir de l'ensemble de la surface même si seulement 5 à 8 cm par jour sont enlevés, plutôt que de séparer le silo-couloir et de prolonger l'exposition à l'oxygène.

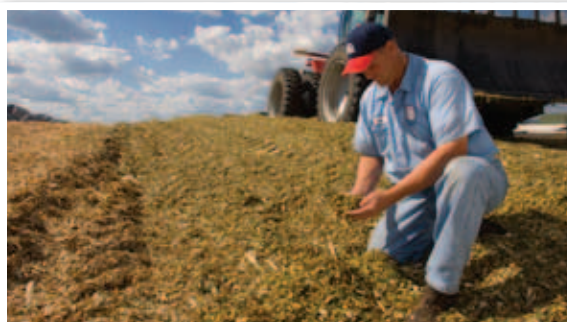




Manière dangereuse d'échantillonner l'ensilage en raison d'une avalanche potentielle

SÉCURITÉ LORS DU DÉSILAGE

Des incidents signalés d'avalanche d'ensilage augmentent à un rythme alarmant. Ces avalanches occasionnent des dommages à la machinerie (pare-brise de la chargeuse frontale) ainsi que des blessures ou la mort du travailleur. Il est impératif de penser à la sécurité au moment de prendre des échantillons du fourrage provenant de silos-couloirs/silos-meules, en mesurant la densité, en enlevant l'ensilage avarié ou simplement en faisant fonctionner un chargeur frontal ou des surfaceuses. Plusieurs entreprises interdisent aux employés d'approcher les silos-couloirs ou les silos-meules en raison des problèmes liés à leur responsabilité.



Si vous êtes près de la structure d'entreposage, soyez prudent à proximité de tracteurs surchargés durant le remplissage

RAPPELS DE SÉCURITÉ POUR L'ENTREPOSAGE DE L'ENSILAGE

- Une deuxième personne doit toujours être présente au silo-couloir lorsque vous prenez des échantillons, lorsque vous enlevez la couche supérieure détériorée ou lorsque vous testez la densité des silos-couloirs.
- Obtenez des échantillons d'aliments au chariot-mélangeur et non de la surface d'ensilage.
- Lorsque vous vous tenez debout sur le dessus d'un silo-couloir horizontal, demeurez à au moins 5 m à l'arrière de la surface de reprise et n'approchez pas si l'intégrité de la surface ne semble pas sécuritaire.
- Soyez extrêmement prudent lorsque vous enlevez la couche supérieure avariée. Un gilet de sécurité relié à un fil de sécurité ou un poteau peut prévenir de sérieuses chutes.
- Ne vous tenez pas debout dans le godet d'une chargeuse frontale ou dans un chargeur à flèche télescopique afin d'obtenir des échantillons plus haut sur la surface.
- Soyez aux aguets pour les avalanches potentielles là où une couche évidente d'ensilage sec se trouve entre deux couches humides.



Façon non sécuritaire d'enlever la couche supérieure avariée en raison du potentiel d'avalanche



GAZ RETROUVÉ DANS LE SILO

Soyez prudent lorsque vous travaillez autour d'ensilages à l'intérieur d'une plage de trois semaines de la récolte. Il peut dégager un gaz mortel (oxyde de diazote) qui sent l'eau de Javel à l'intérieur du silo. Lorsque les silos verticaux étaient la norme, il était de pratique courante de faire fonctionner le ventilateur pendant au moins 15 minutes avant d'entrer dans un silo récemment rempli. Le gaz retrouvé dans le silo est plus dense que l'air et peut exister autour du silo-couloir, des silos-meules ou des ensilages ensachés, surtout près du sol où l'air bouge peu.

Le gaz retrouvé dans le silo est commun à tous les ensilages. Toutefois, il l'est davantage chez les ensilages de maïs et de sorgho qui accumulent des nitrates issus des situations de stress, notamment la sécheresse, la grêle, le gel, le temps nuageux et le déséquilibre relié à la fertilité du sol. Les nitrates s'accumulent dans la partie inférieure du plant lorsque le rendement de la récolte est inférieur à la teneur en fertilisation azotée fournie. Les nitrates sont responsables des gaz mortels retrouvés dans les silos lorsqu'ils sont combinés à des acides organiques d'ensilage pour former de l'oxyde de diazote. L'oxyde de diazote se décompose en eau et un mélange d'oxydes d'azote y compris l'oxyde d'azote (incolore), le dioxyde d'azote (couleur marron rougeâtre) et le tétraoxyde de diazote (couleur jaunâtre). Ces formes d'azote se volatilisent sous forme d'un gaz brunâtre dans l'atmosphère. Ce gaz est plus dense que l'air et il est très létal envers les humains et le bétail.

Niveaux de nitrate des fourrages pour les bovins

% D'ANION	AZOTE DE NITRATES PPM	RECOMMANDATIONS
0,0-0,44	<1 000	Sécuritaire pour nourrir dans toutes les conditions
0,44-0,66	1 000-1 500	Sécuritaire pour nourrir les animaux qui ne sont pas en gestation. Limitez la ration totale pour les animaux en gestation à 50 % basé sur la m.s.
0,66-0,88	1 500-2 000	Sécuritaire pour nourrir si limité à 50 % du total de la ration en m.s.
0,88-1,54	2 000-3 500	Les aliments doivent être limités de 35 à 40 % du montant total de la m.s. dans la ration. Les aliments supérieurs à 2 000 PPM en azote de nitrates ne devraient pas être servis aux animaux en gestation.
1,54-1,76	3 500-4 000	Les aliments doivent être limités à 25 % du montant total de la m.s. dans la ration. Ne pas servir aux animaux en gestation.
Plus de 1,76	>4 000	Les aliments contenant ces niveaux sont potentiellement toxiques. NE PAS SERVIR.

Adapté de : Université Cornell. Pour convertir le % d'anion (NO_3) en ppm azote de nitrates, divisez le % de NO_3 par 4,4 pour obtenir le % de $\text{NO}_3\text{-N}$ et multipliez le % de $\text{NO}_3\text{-N}$ x 10 000 pour obtenir le ppm $\text{NO}_3\text{-N}$.

NITRATES

Comme avec les gaz de silos, des niveaux élevés d'azote surviennent lorsque des cultures comme le maïs, le sorgho et certaines graminées sont exposées à des situations de stress y compris : la sécheresse, la grêle, le gel, le temps nuageux et le déséquilibre dans les éléments fertilisants du sol. S'il pleut, trois jours devraient s'écouler avant de reprendre le hachage. À la longue, les plants qui récupèrent après des situations de stress convertiront le nitrate en une forme non toxique. Les nitrates ne sont pas seulement responsables des gaz létaux retrouvés dans le silo, mais lorsque les aliments sont servis aux animaux ils peuvent interférer avec la capacité du sang à transporter l'oxygène.

Si la récolte a été soumise au stress ou montre une réduction marquée en contenu de grains, il est conseillé de procéder à une analyse pour détecter la présence de nitrates. Lorsque les fourrages à teneur élevée en nitrates sont servis au bétail, ils induisent une respiration laborieuse symptomatique en raison de l'interférence avec la capacité du sang à transporter l'oxygène. À titre de recommandation générale, les programmes d'alimentation devraient être modifiés si l'ensilage contient plus de 1 000 ppm d'azote provenant de nitrates. Il est préférable d'offrir une récolte soumise au stress sous forme d'ensilage au lieu d'un fourrage haché non fermenté puisque la fermentation réduit la teneur en nitrate du plant d'environ 40 à 50 %. Les ensilages non inoculés, soumis à la sécheresse ou au stress, devraient fermenter durant trois semaines complètes avant d'être servis. Si une récolte de sorgho ou de maïs est inoculée avec un produit fiable, les niveaux de nitrates devraient être réduits de 40 à 50 % en quelques jours.

Les ruminants peuvent être nourris d'ingrédients à teneur élevée en nitrates pourvu que les bactéries du rumen s'y adaptent progressivement. Pour ce faire, il faut servir fréquemment les ingrédients riches en nitrates et en augmenter lentement le taux d'inclusion dans la ration. Les problèmes peuvent également être réduits en diminuant la concentration de l'ensilage soumis au stress, en le mélangeant à d'autres aliments, et en évitant d'utiliser des sources d'azote non protéique comme l'urée ou l'ammoniac.

ACIDE PRUSSIQUE

L'acide prussique s'accumule dans le sorgho et le sorgho-soudan. Il augmente rapidement à la suite d'un stress. L'empoisonnement se produit lorsque les animaux broutent les jeunes plants de sorgho ou des plants rabougris par la sécheresse ou soumis au stress. Les plants de sorgho sont toxiques en deux occasions : à la suite d'un gel qui tue la partie supérieure, mais pas la couronne, ou lorsqu'une nouvelle croissance est provoquée par la pluie après une sécheresse. Si de nouvelles pousses se produisent à la suite d'un gel léger, on devrait éviter d'offrir ce sorgho en pâturage jusqu'après la gelée meurtrière.

La hauteur minimum sécuritaire pour le pâturage, un pâturage vert haché ou pour ensiler est de 46 cm pour le sorgho et de 76 cm pour le sorgho-soudan. Les sorghos fourragers devraient être à l'épiaison. S'ils sont gelés à ces étapes, les producteurs devraient attendre trois jours avant le pâturage ou l'ensilage. Si les plants sont gelés avant ces étapes de maturité, on devrait attendre une période de deux semaines avant le pâturage ou l'ensilage. Une teneur en azote élevée et une fertilité du sol où le phosphore est faible augmentent le risque d'une concentration élevée en nitrates et en acide prussique.

Le processus d'ensilage ne diminuera pas la concentration de l'acide prussique dans l'ensilage de sorgho. Toutefois, le fanage ou le séchage au champ libère entre 50 à 70 % d'acide prussique.

MOISSISSURES DE CHAMP

Les spores de moisissure sont pratiquement partout dans le champ et survivent facilement à l'hiver dans le sol et les résidus des plants. La méthode la plus commune de pénétration des champignons dans le maïs est par les racines durant le stade plantule, par les soies à la pollinisation et par les blessures du plant provoquées par l'environnement ou les insectes. Les champignons communs des champs (principalement les espèces *Aspergillus* et *Fusarium*) sont en mesure de produire des toxines reconnaissables notamment l'aflatoxine, la vomitoxine (DON), le fumonisine, la zéaralonone et le T-2. On évalue que de 70 à 90 % de toutes les mycotoxines sont déjà sur le plant avant la récolte et l'ensilage. Cependant, la présence visible de moisissures

sur l'épi n'est pas fortement corrélée avec la contamination par mycotoxine. Il convient de noter qu'aucun acide d'ensilage ou produits inoculants n'est en mesure de dégrader ces toxines préformées et produites dans les champs.

Des approches pratiques pour minimiser les toxines produites dans les champs sont :

- 1. Réduisez la population fongique et accédez aux sites en plantant des hybrides possédant une résistance aux insectes, à la pourriture des tiges et à la moisissure de l'épi.
- 2. Récoltez dans un temps raisonnable et portez une attention particulière.
- 3. Isolez les ensilages des cultures exposées à de graves sécheresses ou à des dégâts de grêle.
- 4. Considérez utiliser des méthodes classiques de travail du sol pour réduire les spores fongiques dans les résidus de récoltes.

Moississures de champ avec un potentiel de produire des toxines

Fusarium graminearum Spp.
(également appelé Gibberella zeae ou Gibb)

Penicillium Spp.

Pourriture de l'épi Gibb

Fusarium (moniliforme) Pourriture des tiges

Fusarium verticillioides (F. moniliforme) pourriture de l'épi

Aspergillus Spp.

Pourriture des tiges Gibb

Conditions de croissance de la moisissure

	ASPERGILLUS	FUSARIUM MONILAFORME	FUSARIUM GRAMINEARUM
Température	Optimale > 33 °C	Optimale 27-29 °C	Optimale 20 °C
Humidité	Stress à la sécheresse du remplissage du grain	Sécheresse précoce, puis humidité	Humide pendant la floraison
Insectes comme vecteurs	Important	Très important	Moins important

MOISSISSURES À L'ENTREPOSAGE

Les champignons décrits précédemment ne croissent généralement pas dans des environnements anaérobies, faibles en pH, trouvés à l'intérieur d'un ensilage bien régi. Toutefois, il est possible pour ces champignons de produire des toxines supplémentaires. Surtout si les conditions anaérobies à l'entreposage laissent à désirer, si l'ensilage est trop peu humide à la récolte, si le compactage a été négligé ou encore si les techniques de reprises sont inadéquates. Les récoltes lourdement affectées par les espèces de levures *Candida* et *Hansula* sont particulièrement préoccupantes puisque ces consommateurs de lactate peuvent accroître le pH de l'ensilage. Si un excès d'oxygène pénètre les ensilages à pH élevé, les conditions sont propices à une croissance supplémentaire de champignons à l'intérieur de la structure d'entreposage.

Les espèces de moisissures isolées de l'ensilage et des grains à teneur élevée en eau comprennent principalement *Fusarium*, *Mucor* et *Penicillium* avec un effet nettement inférieur d'*Aspergillus* et de *Moniliose*.

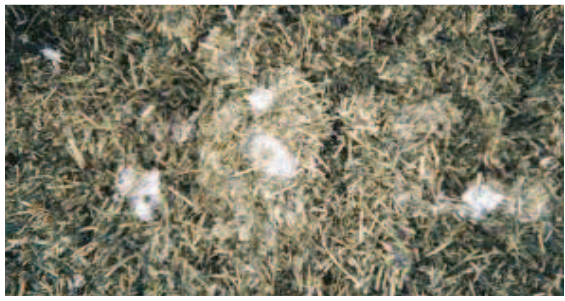
Les champignons d'entreposage tels que *Penicillium*, *Mucor* et *Moniliose* n'envahissent généralement pas la culture avant la récolte, mais leurs spores provenant du sol se trouvent sur la récolte de fourrage lorsqu'elle est ensilée. *Mucor* et *Moniliose* sont généralement blanc-grisâtre et ne produisent pas de mycotoxines connues. Leur principale fonction est la réduction de la qualité nutritionnelle de l'ensilage, sa durée de vie et sa palatabilité.

Les moisissures courantes retrouvées parmi les ensilages américains et le maïs-grain humide

Mucor (blanc/gris pelucheux)	45 %
Penicillium (vert/bleu)	45 %
Aspergillus (jaune/vert)	7 %
Moniliose (blanc/jaune)	3 %

Source : Résumé d'échantillon du service technique, Pioneer

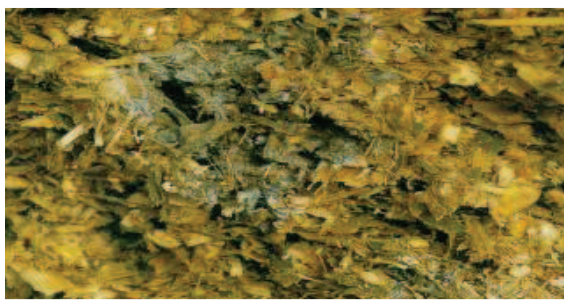
La plupart des experts s'entendent sur le fait que *Penicillium* (généralement de couleur bleu-vert) et ses toxines (principalement le PR, mais également la patuline, la citrinine, l'ochratoxine, l'acide mycophénolique et la roquefortine C.) causent la plus grande inquiétude pour le fourrage ensilé. Cela est dû au fait qu'ils résistent à un taux de pH faible. Les nutritionnistes demeurent dans le noir concernant la toxine PR. En effet, jusqu'à maintenant, aucun laboratoire n'a conçu une méthode économique pour détecter cette toxine. La seule approche pratique pour prévenir la croissance des champignons d'entreposage consiste à mettre en place une régie qui crée et maintient l'ensilage en anaérobie.



Mucor (blanc/gris pelucheux)



Penicillium (vert/bleu)



Aspergillus (jaune/vert)



Habituellement, les nutritionnistes commencent à soupçonner des problèmes de mycotoxines après avoir fait des observations d'ensilages avariés, de troubles digestifs et une prise alimentaire irrégulière. S'y ajoutent des maladies opportunistes associées aux systèmes immunitaires déréglés. Il importe de ne pas totalement exclure un problème de toxine, même dans des ensilages d'apparence normale. En effet, les toxines peuvent y être présentes même si l'ensilage ne présente pas d'altération visible ou de croissances fongiques. Inversement, les ensilages moisiss peuvent être complètement libres de toxines détectables. Il est souvent difficile de confirmer que les mycotoxines sont les responsables des problèmes de productivité et de santé. Le premier obstacle est d'obtenir un échantillon représentatif de la portion contaminée de la récolte. Une approche consiste à comparer l'analyse des échantillons altérés/moisiss à des ensilages qui semblent normaux. La meilleure façon d'évaluer s'il y a eu réellement ingestion d'une toxine, provenant d'un fourrage ou de grains douteux, c'est d'échantillonner l'alimentation à sa sortie du mélangeur de RTM. Cela fournit un échantillon plus homogène par rapport aux méthodes traditionnelles de sous-échantillonnage composé et d'échantillons

prélevés au hasard, sur la surface de la structure d'entreposage.

En tant qu'industrie, l'agriculture d'élevage peut grandement sous-estimer la contribution des toxines aux problèmes de productivité. La raison en est que les mycotoxines peuvent souvent exister sous des formes conjuguées (principalement avec les sucres) qui échappent à la détection en laboratoire. Ces toxines non détectées peuvent alors exercer leurs effets toxiques et immunosuppresseurs lorsque dissociées dans le tube digestif. Les tests ELISA (essai immunoenzymatique) sont conçus comme filtres rapides et peu coûteux pour détecter la présence des toxines du grain. Cependant, ils donnent lieu à de nombreux faux positifs, lorsqu'utilisés avec des échantillons de fourrage. Il est préférable de faire appel à un laboratoire qui utilise la chromatographie comme la CLHP (chromatographie liquide haute pression), la CPG (chromatographie en phase gazeuse) ou la CCM (chromatographie sur couche mince). Certains nutritionnistes concluent un accord avec un laboratoire de mycologie pour isoler et identifier les champignons d'ensilage. Si les champignons isolés proviennent d'espèces mycotoxigéniques, alors leurs toxines deviennent un agent responsable que l'on ait ou non détecté la présence réelle d'une toxine dans l'échantillonnage aléatoire de l'aliment.

Lorsque les toxines sont détectées ou fortement soupçonnées par une identification des champignons, les nutritionnistes doivent décider d'une approche pratique comme mesure corrective. Malheureusement, il n'y a pas beaucoup d'options autres que la ségrégation des aliments altérés ou de stimuler le système immunitaire en augmentant l'énergie, les protéines, les vitamines (A, E, B) et les minéraux (Se, Zn, Cu, Mn) de la ration. Le remède le plus efficace est peut-être l'application de l'adage connu et éprouvé « la dilution, c'est la solution ». C'est beaucoup plus facile à réaliser sur les fermes qui ont plusieurs options d'entreposage pour isoler les ensilages à problèmes, plutôt que d'ensiler tous les fourrages dans un ou deux silos-couloirs.

Le concept de dilution a plusieurs implications concernant la mycotoxicose. Il a été proposé qu'il n'y a pas plus de toxines alimentaires aujourd'hui que dans le passé. Les animaux d'aujourd'hui consomment probablement beaucoup plus de matière sèche jumelée avec nos capacités accrues de détection. La dilution devient un point important à considérer surtout depuis que les producteurs alimentent de plus en plus à partir d'un seul aliment pour bétail lequel peut être sujet à des problèmes de toxines.

Il a été démontré que les agents liants sont en mesure de réduire les niveaux de toxines dans les aliments. Toutefois, alors que bon nombre de ces produits ont le statut G.R.A.S. (généralement reconnus inoffensifs), la ADF n'autorise pas l'ajout à la ration de ces produits en particulier pour réduire les mycotoxines. De toute évidence, plus de financement public pour la recherche est requis dans ce domaine, ainsi que des normes réglementaires appropriées.

**L'administration des aliments et drogues (ADF), division de la médecine vétérinaire,
fait les recommandations suivantes concernant les aliments de la ration totale
contenant des mycotoxines**

Mycotoxine	Concentration maximale recommandée dans la ration totale	Type de bétail
Aflatoxine	20 p.p.	Bovins laitiers et veaux
	100 p.p.	Bovins de reproduction, porcs reproducteurs et volailles adultes
	300 p.p.	Bovins et porcs de finition
Vomitoxine (DON)	5 ppm	Bœufs ruminants, bovins à l'engraissement et poulets
	0,5 ppm	Porc : porcs d'engraissement et jeunes truies prépubertaires
	1 ppm	Porc : porcs de finition, troupeaux et verrats reproducteurs
	1 ppm	Veaux de boucherie
	2 ppm	Tous les autres animaux
Zéaralénone	0,3 ppm	Porcs reproducteurs, jeunes porcs
	0,5 ppm	Jeunes mâles (intacts)
	0,5 ppm	Porcs d'engraissement
	2,0 ppm	Verrats plus âgés et porcs de finition
	Aucun niveau acceptable	Poules pondeuses
	> 10 ppm	Poulets à frire
	25 ppm	Vaches laitières en lactation
	5 ppm	Bœufs d'engraissement
	0,5 ppm	Bovins (laitier et boucherie) ; taures non saillies
	Aucune information	Taureaux
Toxine T-2	0,1 ppm	Jeunes porcs (les deux sexes), porcs de remplacement (aucune donnée)
	0,3 ppm	Adultes reproducteurs et porcs d'engraissement plus âgés
	0,5 ppm	Vaches laitières et bovins d'engraissement
	0,5 ppm	Poules pondeuses
	0,75 ppm	Poulets à frire
	Aucune limite acceptable	Canards, dindes et oies
Fumonisine	5 ppm	Chevaux
	10 ppm	Porcs
	50 ppm	Bovins

Source : Les mycotoxines dans les aliments :

Perspective CVM <http://www.fda.gov/AnimalVeterinary/Products/AnimalFoodFeeds/Contaminants/ucm050974.htm>

DÉPLACEMENT DE L'ENSILAGE

La capacité de déplacer l'ensilage d'une structure à une autre (p. ex. : à partir de sacs, vers des silos verticaux vides pour faciliter l'utilisation des systèmes d'alimentation) est une question relativement commune parmi les producteurs. Malheureusement, très peu de recherches ont été publiées sur le sujet. Il est difficile de donner des recommandations généralisées puisque le succès ou l'échec du déplacement de l'ensilage dépend de la condition de l'ensilage qui se trouve dans la structure d'entreposage originale. Les facteurs qui influencent le succès du déplacement d'un ensilage sont le profil d'acide fermentatif, le niveau de contamination par les bactéries et champignons putréfiants, la teneur en sucre résiduel, le pouvoir tampon, et si oui ou non il y a eu utilisation d'un inoculant lors de l'ensilage initial. L'expérience en champ suggère que les ensilages bien ensilés et entreposés peuvent être déplacés avec succès si les conditions suivantes sont respectées :

- Inoculez l'ensilage aussi rapidement que possible lors de la récolte dans une structure d'entreposage où il y a un minimum de 13 cm d'ensilage qui sera servi quotidiennement.
- Déplacez l'ensilage durant la période la plus froide de l'année de manière à minimiser le potentiel de multiplication des bactéries/champignons.
- Gérez le déplacement de manière à prévenir autant que possible la pénétration d'oxygène dans la masse de l'ensilage.

Si, dès le départ, l'ensilage a été inoculé, généralement, il n'est pas recommandé de l'inoculer à nouveau lors du déplacement. Si la fermentation est dirigée comme prévu, les profils des acides de fermentation devraient permettre le mouvement de l'ensilage avec relativement peu de problèmes.

Centre d'alimentation du bétail - DuPont Pioneer, ville de Polk en Iowa



OBJECTIFS POUR UN ENSILAGE STABLE

PH FAIBLE

Pour une récolte relativement élevée en sucre comme l'ensilage de maïs, de céréales et de graminées, le pH devrait être de 3,8 à 4,2. Pour des récoltes avec relativement moins de sucres fermentescibles et avec des capacités tampons élevées comme les ensilages de légumineuses, le pH devrait être de 4,0 à 4,5. Le pH d'un ensilage de maïs-grain humide contenant une teneur minimale en sucres devrait être de 4,0 à 4,5. Le pH sera inférieur avec des ensilages humides. Le pH final n'est pas un indicateur de la quantité de sucre qu'il a fallu pour l'atteindre. Plus la diminution du pH est efficace, plus les hydrates de carbone hydrosolubles seront conservés dans la masse de l'ensilage. Les hydrates de carbone hydrosolubles sont essentiellement 100 % digestibles et contribuent, dans l'ensemble, de façon importante à la valeur énergétique de l'ensilage.

TEMPÉRATURE

La température d'ensilage ne doit pas être supérieure de 6 à 8 °C au-dessus de la température ambiante au moment de l'ensilage. Les grandes structures d'entreposage conservent la chaleur plus longtemps que les plus petites. L'eau est un excellent puits thermique ce qui fait que les ensilages plus humides conservent la chaleur plus longtemps comparativement aux ensilages secs. Les températures devraient être surveillées en insérant un thermomètre entre soixante et quatre-vingt-dix centimètres dans la masse d'ensilage en raison de la dissipation de la chaleur à la surface. Si l'ensilage est surfacé et que la chaleur continue d'augmenter, cela est un indicateur d'une fermentation aérobie excessive en raison d'un compactage inadéquat, d'une mauvaise gestion de la surface de reprise, d'une reprise lente ou d'une inoculation non réussie avec la souche *L. buchneri*.

SPECTRE APPROPRIÉ D'ACIDE DE FERMENTATION

Historiquement, l'objectif pour l'ensilage était un ratio de 2:1 d'acide lactique (AL) à acide acétique (AA). L'inoculation avec une bactérie d'acide lactique homofermentaire augmentera le ratio AL:AA. Souvent, le problème rencontré avec des ensilages à teneur élevée en acide lactique est qu'ils sont plus susceptibles d'avoir des problèmes de réchauffement et de stabilité aérobie. Cela est dû aux teneurs élevées en sucres, jumelées au manque d'acides gras volatils (acétique) qui inhibent la croissance de la levure et des organismes d'altération. Le niveau élevé d'acide butanoïque est une indication d'une fermentation par *Clostridium*. Les ensilages avec acide butanoïque ont généralement un pH supérieur et sont immangeables. Les ensilages traités avec les souches *L. buchneri* pour inhiber la levure et rallonger la durée de vie du fourrage exhibent généralement un

ratio lactique:acétique inférieur traditionnellement recommandé en raison d'une production accrue d'acides acétiques et propioniques.

ACTIVITÉ MICROBIENNE/ FONGIQUE MINIME LORS DE LA REPRISE DE L'ENSILAGE

En général, les microorganismes aérobies (comme les espèces *Bacillus*), les moisissures (comme les espèces *Mucors*, *Monilioses*, *Aspergillus* et *Penicillium*) et le compte de levures devraient être inférieur à moins de 100 000 unités formant colonies /gramme d'ensilage (tel que servi). Bien que le compte total soit utile, des identifications détaillées des espèces individuelles fournissent beaucoup plus d'information quant à la source et à la prévention de la dégradation.

DÉGRADATION PROTÉIQUE MINIME

Une fermentation plus rapide entraîne généralement une protéolyse réduite microbienne et du plant. La mesure de l'azote ammoniacal en tant que pourcentage de l'azote total est un bon indicateur de l'étendue de la protéolyse. Les valeurs doivent être inférieures à 10 % pour les ensilages de maïs/céréales et moins de 15 % pour les ensilages de graminées/légumineuses. Des niveaux d'azote insoluble dans la pepsine en tant que pourcentage d'azote total supérieur à 20 % indiquent une chaleur excessive avec les ensilages de maïs-grain humide ou de maïs égrené. Les dommages causés par la chaleur (protéine non disponible de la réaction de Maillard) sont mesurés par l'azote au détergent acide en tant que pourcentage total d'azote. Les niveaux qui excèdent 12 % pointent vers une chaleur excessive qui pourrait nécessiter des réglages à la teneur en protéine brute de la ration servie au bétail.



ÉCHANTILLONNAGE DE L'ENSILAGE

Il est très important d'échantillonner correctement les aliments destinés au bétail. En supposant une fermentation « normale », il est recommandé de prendre des échantillons des fourrages au moment de la récolte. Des échantillonnages avant la fermentation permettent aux nutritionnistes d'avoir des analyses « en mains » de manière à ce que les rations puissent être équilibrées immédiatement pour ce fourrage en particulier à mesure qu'il est retiré de la structure d'entreposage.

Les statistiques indiquent que dix à douze échantillons doivent être prélevés pour obtenir un niveau de confiance à 95 % que les résultats d'analyses sont représentatifs de l'ensemble. Lorsque vous obtenez des échantillons à partir de la surface du silo-couloir ou du silo-meule, il est préférable de choisir dix à douze emplacements, puis de mélanger ces échantillons. Ensuite, utilisez la procédure des quartiers pour obtenir un sous-échantillon d'une taille raisonnable à soumettre au laboratoire. Une autre approche plus pratique et sécuritaire est d'échantillonner l'aliment à partir de la goulotte de déchargement du mélangeur RTM. Ne prélevez pas d'échantillons d'ensilage à « problème » d'un mélangeur RTM ou d'une désileuse verticale avec goulotte. Cela pourrait masquer les « zones à problème » avec l'ensilage normal. Il est utile d'avoir des échantillons d'un bon ensilage pour les comparer à ceux d'un ensilage inadéquat et déterminer l'ampleur relative du problème.

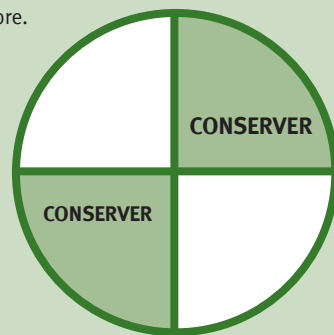
Lorsque vous répondez à un appel concernant des problèmes potentiels avec un ensilage au champ, c'est préférable d'apporter l'équipement requis pour évaluer la situation et faire l'échantillonnage de l'ensilage. Un mesureur d'humidité comme le mesureur Koster^{MD}, un mesureur d'humidité électronique ou un à four micro-ondes de 600 à 700 watts et une balance qui fonctionne avec des piles sont essentiels pour évaluer la teneur en eau de l'ensilage. Certains nutritionnistes préfèrent le mesureur plus lent Koster puisqu'il permet d'avoir un peu de temps pour interroger le producteur au sujet de sa régie. Il est également utile d'avoir un papier tournesol ou un pH-mètre de poche pour sonder l'ensilage de manière à déterminer si le pH est uniforme ou si des poches d'une croissance clostridium sont la raison pour la teneur élevée du pH. Un thermomètre pour mesurer les températures de l'ensilage est également utile pour évaluer la durée de vie du fourrage ou pour établir les dommages causés par la chaleur. N'oubliez pas d'apporter des sacs en plastique et un marqueur permanent pour identifier et pour classer les échantillons de 500 gr. Une glacière isotherme avec des pochettes de glace réutilisables est requise si les échantillons doivent être envoyés au laboratoire pour une analyse d'acides gras volatils ou d'identification microbienne. Si vous devez les envoyer au laboratoire pour un profil microbiologique, ne gelez pas les échantillons. Le gel peut perturber les cellules des organismes et causer des erreurs dans les résultats d'analyses en laboratoire.

Procédure des quartiers

Permet de réduire la taille de l'échantillon tout en conservant un échantillon représentatif

Veillez bien mélanger la matière à être échantillonnée (p. ex. : en la roulant d'avant en arrière sur un morceau de plastique), puis versez-la dans un tas uniforme sur une surface propre.

1. Divisez l'échantillon en quatre parties égales (quartiers) à l'aide d'un couteau à cloison sèche, d'une truelle ou d'un outil à extrémité droite.
2. Éliminez les deux quartiers opposés et conservez les deux autres.
3. Combinez les deux quartiers conservés dans un tas et séparez-les en quartiers encore une fois.
4. Assurez-vous de ramasser la matière fine au fond de l'échantillon conservé.
5. Éliminez les deux quartiers opposés et répétez l'étape 3.
6. Continuez ainsi jusqu'à ce que vous ayez un tas qui contient la quantité que vous désirez soumettre au laboratoire pour analyse.



Source : Dave Taysom, Dairyland Labs, Inc.

DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN EAU D'UN ENSILAGE

Il n'y a pas que le contenu nutritif des fourrages qui varie selon le champ et la coupe. Le degré d'humidité fluctue lui aussi. Les ensilages devraient être contrôlés au moins une fois par semaine concernant leur taux d'humidité. Cela est particulièrement important lorsque l'ensilage est pesé dans des mélangeurs RTM. Si des réglages ne sont pas effectués, des changements minimes au degré d'humidité de l'ensilage peuvent avoir un impact important sur le ratio fourrage : concentré de la ration totale.



Ajustement de la matière sèche de l'ensilage

% DE M.S. DE L'ENSILAGE	QUANTITÉ EN LIVRE D'ENSILAGE DE M.S. SOUHAITÉE DANS CHAQUE LOT DE RTM (RATION TOTALE MÉLANGÉE)	LES PRODUCTEURS FONT VARIER LA QUANTITÉ DE LIVRES DE L'ENSILAGE TEL QUE SERVI QUI EST AJOUTÉE À CHAQUE LOT DE RTM SELON LA M.S. DE L'ENSILAGE
30 %	1 000	3 333
35 %	1 000	2 857
40 %	1 000	2 500
45 %	1 000	2 222

Source : Randy Shaver, Université du Wisconsin spécialiste en alimentation des bovins laitiers.

Un mauvais ajustement de la matière sèche de l'ensilage change de façon importante le ratio fourrage : concentré (F : C) de la ration

% DE M.S. DE L'ENSILAGE	MÊME QUANTITÉ DE LIVRES D'ENSILAGE DE LUZERNE TEL QUE SERVI AJOUTÉE À CHAQUE MÉLANGE RTM	LIVRES DE M.S. DE L'ENSILAGE AJOUTÉES DANS CHAQUE MÉLANGE RTM (RATIO F:C)
30 %	2 500	3 333 (43 : 57)
35 %	2 500	2 857 (46 : 54)
40 % (m.s. évaluée)	2 500	1 000 lb de m.s. désirées dans le lot de RTM (50 : 50)
45 %	2 500	2 222 (53 : 47)

Source : Randy Shaver, Université du Wisconsin spécialiste en alimentation des bovins laitiers.

Four à micro-ondes et méthode de détermination du taux d'humidité avec balance pour mesurer en grammes

La teneur en eau de l'ensilage, de l'ensilage préfané ou du foin peut-être évaluée dans un four à micro-ondes. Cette technique est rapide, facile à effectuer et relativement précise pour déterminer le degré d'humidité de tout fourrage. L'inconvénient majeur avec ce système est qu'une source d'alimentation électrique est nécessaire, ce qui n'est pas toujours pratique pour tester les fourrages. Sont également nécessaires en plus d'un four à micro-ondes, une petite balance pour mesurer en grammes, une assiette en papier pour chaque échantillon et un verre d'eau.

1. Placez l'assiette en papier sur la balance et prenez en note le poids en grammes. Il convient d'écrire ce poids sur le rebord de l'assiette. Pesez l'assiette à chaque fois qu'elle est utilisée.
2. Placez de 50 à 100 grammes de fourrage haché dans l'assiette et pesez le tout. Les échantillons de particules n'ont pas besoin d'être hachés.
3. Veuillez répartir l'échantillon uniformément sur l'assiette et mettez le tout au four à micro-ondes avec un verre à moitié rempli d'eau dans le coin arrière. Les échantillons d'ensilage qu'on évalue contenir entre 50 à 75 % d'humidité peuvent être chauffés initialement pendant quatre minutes. Les échantillons de foin dont l'humidité est inférieure à 30 % devraient être chauffés pendant trois minutes uniquement.
4. Pesez et notez le poids, puis mélangez le fourrage dans l'assiette et remettez le tout dans le four pour une autre minute.
5. Répétez la 4^e procédure, mais cette fois, faites fonctionner le four à micro-ondes pour 30 secondes. Poursuivez le séchage et pesez jusqu'à ce que le poids devienne constant. Faites attention de ne pas faire chauffer le fourrage jusqu'à ce qu'il soit carbonisé. Si cela se produit, réduisez les intervalles de séchage.
6. Pour calculer le pourcentage d'humidité, soustrayez le dernier poids sec du poids original et divisez ce nombre par le poids humide. Puis, multipliez par 100. C'est la teneur en eau de l'échantillon.

Exemple : Le poids humide original était de 90 grammes. Le poids à sec est de 60 grammes.

$$90 - 60 = 30 \quad 30/90 \times 100 = 33,33 \%$$

Méthode facile : Si exactement 100 grammes de fourrage ont été pesés dans l'assiette, le poids sec final (moins le poids de l'assiette en papier) soustrait de 100 est la teneur en eau. Comme alternative, le poids sec final est le pourcentage de matière sèche.

Exemple : Poids humide original = 100 grammes. Poids sec final = 55 grammes.

$$100 - 55 = 45 \% \text{ d'humidité ou } 55 \% \text{ de m.s.}$$

ERREURS D'ANALYSES

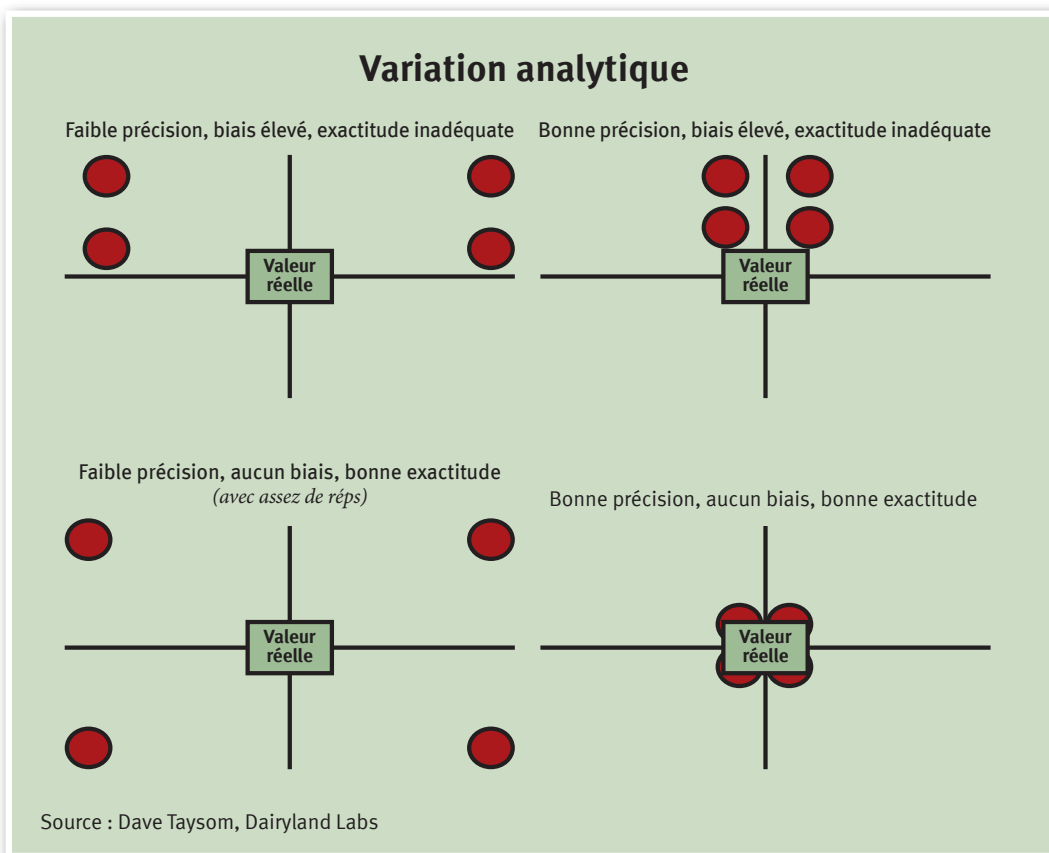
L'analyse du fourrage est importante pour équilibrer les rations et pour mieux comprendre l'impact des pratiques de gestion sur la qualité des fourrages. Des erreurs d'échantillonnages à la ferme peuvent certainement perturber la représentativité de l'échantillon comparativement à ce qui est nourri. De même, il existe des facteurs qui perturbent la variation analytique des valeurs rapportées dans les rapports de laboratoire. Ces facteurs sont le biais, la précision et l'exactitude.

Le biais est défini comme une erreur systématique introduite dans l'échantillonnage ou l'essai. La précision fait référence à la capacité d'une mesure d'être constamment reproduite, tandis que l'exactitude consiste à savoir si la valeur rapportée est exacte.

NIRS PAR RAPPORT À LA CHIMIE HUMIDE

La chimie humide fait référence à la chimie plus complexe menée en laboratoire. La spectroscopie par réflexion dans le proche infrarouge (NIRS) est une autre approche analytique appréciée pour ses données reproductibles, obtenues rapidement.

Un avantage important de la NIR comparativement à la chimie humide, c'est son coût moindre. La NIR rend possible l'analyse de plus d'échantillons, plus souvent et pour le même montant comparativement à la chimie humide plus dispendieuse. Cela aide les producteurs à gérer la variation des nutriments dans les aliments destinés au bétail grâce à des analyses plus fréquentes. Il est souvent recommandé de n'utiliser que les analyses par chimie humide suivant une saison de croissance type. Toutefois,



cela n'est pas nécessaire avec les laboratoires qui utilisent divers échantillonnages de manière à faire des mises à jour fréquentes de leurs calibrations NIR. S'il s'agit d'un laboratoire réputé disposé à partager la calibration statistique, alors la NIRS est le meilleur moyen d'économiser des dollars pour les analyses.

Depuis 1939, NIRS faisait l'objet de discussions, mais ce n'est qu'en 1968 que Karl Norris et ses compagnons de travail du laboratoire de recherche Instrumentation Research Lab de Beltsville aux É.-U. ont prouvé que l'absorption de longueurs d'onde déterminées pouvait être corrélée à des analyses chimiques provenant d'autres grains et fourrages.

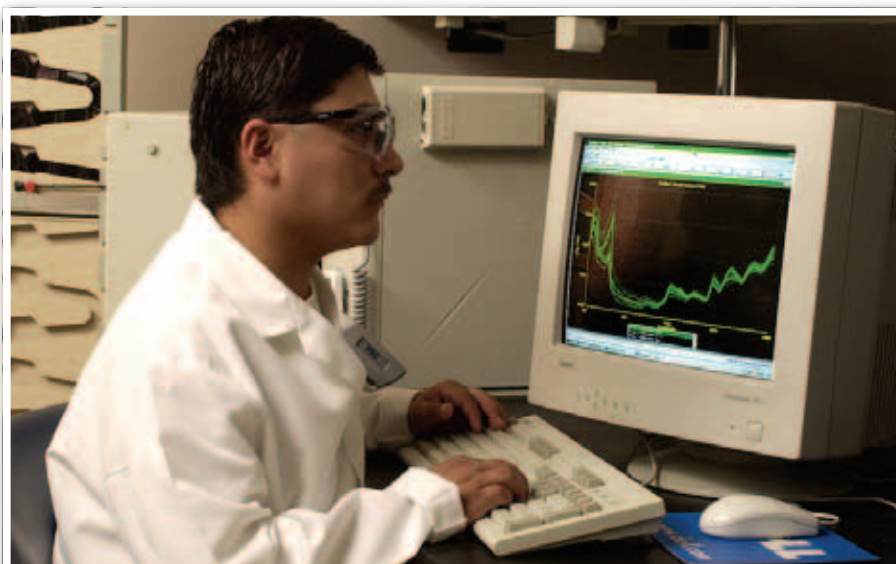
Au début de 1978, John Shenk et son équipe de recherches ont conçu un instrument portable pouvant être utilisé dans une camionnette pour analyser les fourrages directement à la ferme et aux encans de foin. Cette façon de faire s'est répandue avec les camionnettes mobiles aux universités en Pennsylvanie, au Minnesota, au Wisconsin et en Illinois. En 1978, le réseau de fourrages NIR du département américain de l'agriculture (USDA NIR) a été fondé dans le but de concevoir et de tester des logiciels pour améliorer les tests de NIRS du grain et des fourrages. En 1983, plusieurs entreprises commerciales avaient commencé à commercialiser auprès de laboratoires commerciaux l'instrument NIR et des progiciels pour les analyses du fourrage et des aliments.

NIRS est fondée sur l'interaction de la matière physique des aliments et la lumière dans le spectre en proche infrarouge (700-2 500 nm). Les vibrations de l'hydrogène lié avec le carbone, l'azote ou l'oxygène provoquent une « agitation » moléculaire responsable

de l'absorption de quantités particulières de radiations provenant de longueurs d'onde déterminées. Cela permet aux laboratoires de faire un lien entre les vibrations d'une liaison chimique donnée (spectre) à la concentration de certains composants d'aliments (p. ex. : l'amidon) déterminée par les méthodes traditionnelles de la chimie humide. NIRS est possible puisque les molécules réagissent de la même façon chaque fois qu'elles sont exposées à la même radiation. La préparation et la présentation d'échantillons à l'instrument NIR varient grandement. Bien que des échantillons secs et finement hachés soient souvent utilisés, les grains entiers ou frais, non hachés peuvent également être examinés au scanneur. Les instruments offerts sur le marché sont de plus en plus robustes de manière à pouvoir travailler sur des applications mobiles comme les ensileuses.

NIRS est une méthode secondaire rapide fondée sur un rapport mathématique (régression) avec la méthode acceptée de chimie humide. Par conséquent, une valeur NIRS ne peut jamais être plus précise que la méthode traditionnelle. Des progiciels sophistiqués sont utilisés pour réaliser les calculs mathématiques nécessaires afin d'associer le spectre NIR obtenu d'un échantillon de référence aux résultats déterminé par chimie humide à partir du même échantillon. Ces relations mathématiques sont qualifiées de « modèles de prédiction » ou « calibrations ».

La robustesse d'une calibration NIRS est essentiellement déterminée par le nombre d'échantillons, sa qualité à représenter la diversité des aliments et la variation type observée pour l'attribut mesuré. Par exemple, si l'objectif est de concevoir une calibration pour la protéine brute du maïs-grain, des échantillons



de maïs provenant de diverses génétiques et de plusieurs environnements doivent être inclus dans l'échantillon de référence qui est analysé par chimie humide. Lorsqu'une méthode de chimie humide particulière n'existe pas (p. ex. : prévision du rendement en éthanol du maïs), les laboratoires peuvent mettre au point une toute nouvelle méthode de chimie humide sur laquelle se fonder pour la calibration NIR.

En tant qu'utilisateurs quotidiens des valeurs NIR, les producteurs et les nutritionnistes devraient se sentir à l'aise de demander aux laboratoires ou aux fabricants d'équipements des renseignements concernant leurs statistiques NIR. Cela aidera à instaurer une confiance à l'égard de ces valeurs de la même façon dont les statistiques (p. ex. : les valeurs de P) déterminent la confiance dans les résultats d'essais de la recherche. Ci-dessous sont trois statistiques NIR que les laboratoires de renom devraient être en mesure de fournir :

1. Nombre d'échantillons dans le jeu de la calibration (N) – influencé par la variation typique du caractère d'intérêt. Plus la plage de différences de l'échantillon est faible, plus cela est difficile pour NIR (ou la chimie humide) de détecter ces différences. Typiquement, de 80 à 100 échantillons sont requis pour obtenir une calibration initiale jusqu'à des centaines d'échantillons pour une calibration « mature ».
2. Écart type de calibration (ÉTC) – définit l'efficacité de la calibration NIR quant à la précision des prédictions des valeurs de la chimie humide lesquelles sont utilisées pour mettre en place la calibration. Des valeurs ÉTC basses sont préférées. Par exemple, si la valeur de la chimie humide est de 30 et que la ÉTC est de 3, cela signifie qu'environ 66 % des valeurs NIR devraient se situer dans la plage de 30 +/- 3 (p. ex. 27 à 33).
3. Coefficient de régression (R^2 ou RSQ) – la « ligne du meilleur ajustement » lorsque les valeurs NIR sont obtenues par rapport aux valeurs de la chimie humide. Des valeurs R^2 élevées sont souhaitables. Un R^2 de 1,0 signifie que 100 % de la variation de l'échantillon est expliquée par la calibration.

ANALYSE IMMÉDIATE

L'analyse immédiate est un mécanisme chimique conçu en Allemagne voilà plus de 100 ans pour décrire les aliments destinés au bétail. Cette analyse se fonde sur des méthodes destructives en laboratoire pour déterminer :

- Matière sèche (m.s.)
- Cendre (minéraux)
- Protéines brutes (PB)
 - Le processus Kjeldahl mesure la teneur en azote (N)
 - $N \times 6,25 = \% PB$
- Extrait à l'éther (gras)
- Hydrate de carbone (cellule CHO)
 - Cellulose brute
- Extraits non azotés
 - Principalement des sucres et de l'amidon, mais peut contenir quelques fibres
 - Déterminé par différence (100 - tous les autres analytes), non par analyse directe

L'analyse immédiate a été un point de départ pour la détermination de la valeur nutritive des aliments, mais a échoué à fournir des informations concernant : la digestibilité des aliments, la pertinence des nutriments, la palatabilité ou la toxicité.

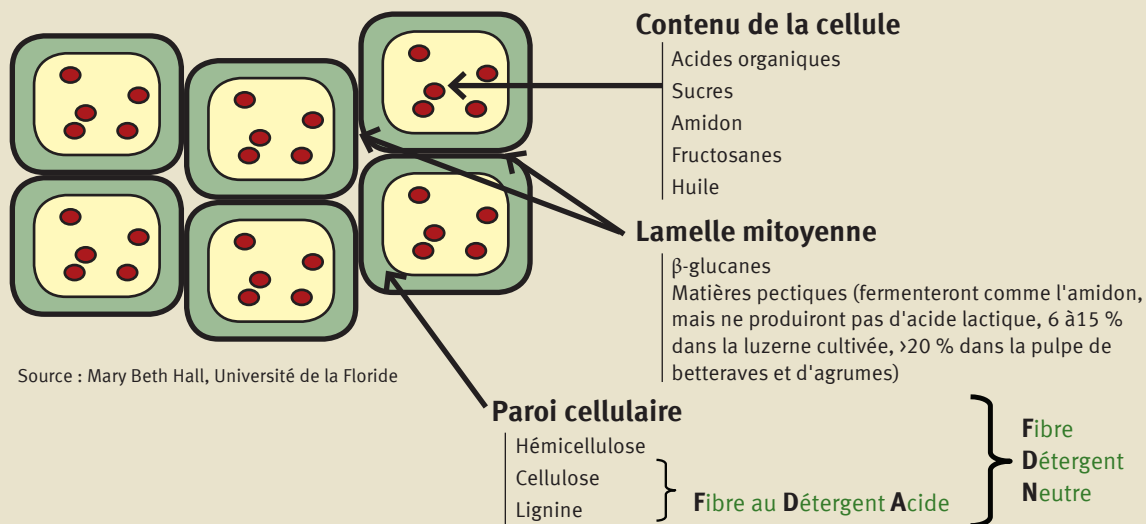
SYSTÈME DÉTERGENT

Les laboratoires de fourrage continuent d'utiliser de nombreuses méthodes d'analyses immédiates. Cependant, le niveau relativement faible des analyses en laboratoire des aliments des années soixante a lancé le programme de Peter Van Soest pour concevoir le système de détergent pour l'analyse d'aliments. Le système détergent a remplacé la cellulose brute (CB) et l'extrait non azoté par :

- Des solubles de détergent neutre (NDS)
- Fibre détergent neutre (NDF)
- Fibre détergent acide (ADF)
- Lignine

Au bout d'un certain nombre d'années, Van Soest a convaincu la communauté scientifique de remplacer le système d'analyse immédiate par le système détergent. Ce système permet d'expliquer les réactions nutritionnelles en relation avec la digestibilité des aliments et de la prise alimentaire. Comme avec la procédure pour la cellulose brute, la ADF isole principalement la cellulose et la lignine, mais non l'hémicellulose. Cela a rendu la ADF inappropriée comme mesure de la fibre structurale totale. Lorsque la procédure d'analyse NDF a été publiée pour la première fois en 1967, la ADF a commencé un déclin lent et

Structure de la cellule végétale



Source : Mary Beth Hall, Université de la Floride

Cinq types de tissus de fourrage

1. Faisceaux libéro-ligneux contenant du phloème/xylème.
2. Gains de faisceaux parenchymes entourant les faisceaux libéro-ligneux.
3. Greffons sclérenchymes qui raccordent les faisceaux libéro-ligneux à l'épiderme.
4. Cellules mésophylles entre les faisceaux libéro-ligneux et la couche épidermique.
5. Sur la surface d'une seule couche de cellules épidermiques recouverte par une cuticule protectrice.

constant aux É.-U., bien qu'elle demeure couramment utilisée dans de nombreuses régions du monde. Tandis que la NDF a largement remplacé la cellulose brute chez les scientifiques, elle continue d'être utilisée puisque la NDF n'est pas une méthode légale approuvée pour le commerce dans plusieurs pays.

Au cours des années 1980, David Mertens (étudiant au doctorat supervisé par Peter Van Soest) a entrepris des démarches pour standardiser les analyses NDF parmi les laboratoires aux États-Unis. Mertens a réalisé que la seule façon de réduire les erreurs parmi les laboratoires était de prescrire une seule méthode NDF. Les efforts de Mertens ont mené à des recommandations pour que tous les aliments soient traités par l'amyase (pour enlever l'amidon), que le sulfite neutre de sodium soit utilisé (pour enlever les protéines végétales et microbiennes) et que la NDF soit reportée sur une base sans cendre (p. ex. : « om »). La valeur résultante serait désignée comme aNDFom. La seule variation méthodologique considérée était que les aliments comportant plus de 100 grammes de matière grasse/kg devaient

être traités avec un solvant adéquat pour extraire la matière grasse. L'acceptation de la méthode NDF par l'AOAC fut un processus de longue durée, mais a finalement été approuvée en juin 2002.

ESSAIS SUR LA DIGESTION

Les essais sur la digestion sont utilisés pour déterminer la quantité de nutriments ou d'aliments digérés et disponibles pour le bien-être, la croissance et la productivité des animaux.

Les essais sur la digestion consistent :

- En analyse immédiate de l'aliment
- À nourrir un animal avec une quantité donnée d'aliments
- À faire la collecte des matières fécales (parfois l'urine)
- À faire l'analyse immédiate des matières fécales
- À déterminer la différence qui est la digestibilité « apparente » des aliments. Pour un nutriment individuel, la différence est égale au coefficient de digestibilité de ce nutriment.

Compte tenu de tous les acronymes en nutrition, il est compréhensible qu'il y ait beaucoup de confusion concernant certains termes. Par exemple, la confusion qui entoure la digestibilité apparente et réelle est définie mathématiquement comme :

Digestibilité apparente = $100 \times [(ingestion) - (matières\ fécales)] / (ingestion)$

- Avec matières fécales = (non digéré + toute perte endogène)

Digestibilité réelle = $100 \times [(ingestion) - (non\ digéré)] / (ingestion)$

Habituellement, la digestibilité réelle est supérieure à la digestibilité apparente. La digestibilité apparente nécarte pas la production endogène de protéines et de matières grasses. Ces éléments proviennent des cellules exfoliées ou de la flore ruminale qui apparaît dans les matières fécales ou dans les résidus provenant des essais *in vitro* (en laboratoire). La digestibilité réelle équivaut à la digestibilité apparente lorsqu'il n'y a aucune perte endogène comme avec la digestibilité NDF puisque l'animal ne produit aucune NDF.

Les mesures de la digestibilité *in vivo* (sur le vivant) sont généralement comprises comme étant une digestibilité apparente. La disparition *in vitro* de la matière sèche (dIVm.s.) est une matière sèche mesurée pendant des incubations dans des tubes à essai ou *in situ*, et est calculée comme suit : dIVm.s. = $100 - \%$ de la matière sèche non digérée. La disparition *in vitro* de la vraie matière sèche (dIVv m.s.) est calculée en tant que $100 - [(NDF/100) \times (100 - \text{digestibilité NDF})]$. La dIVm.s. est une évaluation de la quantité de matières qui a réellement été digérées selon la suggestion de Van Soest à l'effet que 98 % du contenu des cellules est réellement digéré. Par conséquent, pratiquement toutes les matières non digérées doivent être de la NDF non fermentée. Alternativement, cela peut être calculé comme dIVv m.s. = cellules solubles + NDF digérée.

L'analyse de la digestibilité *in vitro* de la matière sèche (dIVm.s.) ou de la digestibilité apparente produite dans un laboratoire

commercial se compose des deux étapes classiques de la procédure Tilley & Terry. La première étape est une incubation pour 48 heures dans un liquide du rumen et une substance tampon suivie par une deuxième digestion de 48 heures dans la pepsine et l'HCl. La digestibilité réelle *in vitro* (dig.rIV) comprend la même incubation pour 48 heures dans un liquide du rumen. Toutefois, la deuxième étape substitue l'extraction NDF par la pepsine et l'HCl. L'extraction NDF supprime plus efficacement les résidus bactériens et les autres matières pepsines insolubles donnant un résidu sans contamination microbiologique.

Il existe également une confusion au sujet de différence entre la digestibilité des nutriments (ou le coefficient de digestibilité) et les nutriments digestibles. La digestibilité des nutriments est exprimée comme un pourcentage du nutriment avec un suffixe majuscule « D » (p. ex. : NDFD, comme un % de la NDF). Les nutriments digestibles sont la portion de la matière sèche qui consiste en des nutriments digérés. Le format commun pour représenter cela est un préfixe minuscule « d » (p. ex. dNDF, comme un % de m.s.). La digestibilité des nutriments et les nutriments digestibles ne sont pas des termes interchangeables, même si les concepts sont reliés.

SYSTÈMES D'ÉNERGIE

Les unités nutritives totales (TDN) mesurent l'énergie alimentaire provenant du composé organique dans les aliments exprimés en % ou en livres. Les TDN utilisent des valeurs nutritives à partir d'analyses immédiates en laboratoire multipliées par les coefficients de digestibilité standard de la digestion. Elle est calculée comme suit :

$$\begin{aligned} \% \text{ TDN} = & \% \text{ de protéines brutes digestibles} \\ & + \% \text{ de fibres brutes digestibles} \\ & + \% \text{ d'extraits non azotés digestibles} \\ & + (\% \text{ d'extraits à l'éther digestible} \times 2,25) \end{aligned}$$

La principale limite du système TDN est que l'analyse chimique des aliments et du fumier ne s'applique pas très bien au métabolisme des animaux. Les TDN ignorent des pertes importantes comme l'urine, les gaz et surtout la chaleur.

Ces limitations ont mené au développement du système énergétique net où les unités d'énergie sont exprimées en mégacalories (1 000 kilocalories) ou la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un gramme d'eau de 14,5 °C à 15,5 °C).

La NDFD est différente de la dNDF

NDFD (% de NDF)
dNDF (% de m.s.)

Calculs :

NDFD = $\frac{(\text{gr de NDF au début} - \text{gr de NDF à la fin})}{\text{gr de NDF au début}}$

dNDF = $\frac{(\text{gr de NDF au début} - \text{gr de NDF à la fin})}{\text{gr de m.s. au début}}$

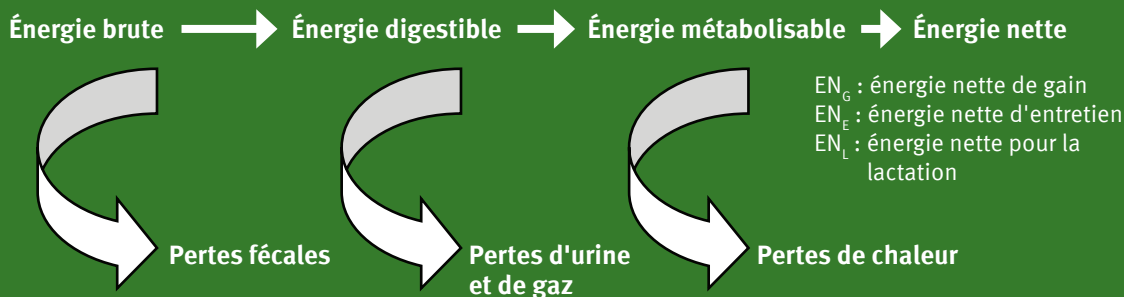
NDFD * % NDF = dNDF

Exemple de 48 heures d'incubation *in situ* avec 20 grammes de m.s. qui étaient 50 % NDF = 10 grammes début NDF. Résidu après l'incubation = 5,7 g ce qui était 71 % NDF = 4 g fin NDF.

NDFD (% de NDF, x heures) p. ex : $(10-4)/10 = 60\%$ NDFD (% de NDF, 48h)

dNDF (% de m.s., x heures) p. ex : $(10-4)/20 = 30\%$ dNDF (% de m.s., 48h)

Système d'énergie net



Une approche d'équation sommative de l'énergie a été utilisée par la plupart des laboratoires commerciaux pour calculer l'énergie nette pour la lactation (NEL) depuis qu'elle a été publiée dans la septième édition révisée (2001) des besoins nutritionnels pour les bovins laitiers (NRC Nutrient Requirements of Dairy Cattle). L'approche sommative utilise des valeurs pour la protéine brute, la matière grasse, les hydrates de carbone non fibreux (NFC) et la NDF, et les coefficients de digestibilité correspondants pour ces nutriments.

Une modification de l'approche sommative a été utilisée dans la mise au point du système MILK2006 de l'Université du Wisconsin de manière à attribuer des valeurs de lait par acre et par tonne à l'ensilage de maïs et de luzerne.

TAUX DE DIGESTION

La dégradabilité des nutriments efficaces telle que définie par l'équation Orskov est $Kd/(Kd + Kp)$ où Kd est le taux de digestion (p. ex. : 2 à 7 %/heure pour la fibre), Kp est le taux du passage des aliments à partir du rumen (p. ex. : 5 %/heure pour les vaches laitières à productivité élevée). Un apport de nutriments efficaces peut alors être calculé comme ingestion de la matière sèche $\times (Kd / (Kd + Kp))$.

Les laboratoires peuvent fournir des évaluations des valeurs Kd pour la NDF avec des équations publiées par l'Université Cornell. L'équation utilise une seule valeur de temps (p. ex. : 24, 30 ou 48 heures) de la NDFD, NDF, la lignine et une valeur de décalage de la digestion présumée (p. ex. : six heures).

Plus récemment, un système de production de gaz nommé Fermentrics^{MC} a été lancé sur le marché. Ce système permet une méthode de mesure directe du taux de digestion pour les

groupements de nutriments rapides (principalement l'amidon) et lents (principalement la fibre). Les techniques d'approximation de la courbe cinétique publiée qui sont utilisées pour évaluer les valeurs Kd du groupement d'hydrate de carbone (p. ex. : CHO B1, B2 et B3) permettent d'utiliser les taux mesurés pour les aliments du bétail plutôt que de compter sur les valeurs indiquées dans les livres.



TERMINOLOGIE COMMUNE POUR L'ANALYSE DU FOURRAGE

La présente compilation de termes d'analyses et de descriptions du fourrage est fournie pour faciliter la tâche du lecteur. Il convient de noter que la plupart des laboratoires commerciaux auront des définitions analytiques et leurs propres procédures analytiques sont décrites plus en détail sur leurs sites Web respectifs.

Matière sèche (% de m.s.) : La m.s. est l'aliment obtenu lorsque 100 % de l'humidité a été retirée par le séchage (100 % - teneur en eau). Le séchage entraîne des retards dans les temps d'analyses, et par conséquent, certains laboratoires font sécher à un certain degré d'humidité puis utilisent une analyse NIR pour tenir compte de toute teneur en eau résiduelle. Les rapports d'analyses d'alimentation donnent généralement les nutriments sur une base « tel que servi » (ou à l'état humide) et sur une base de « m.s. ». Toute la nutrition laitière et bovine est basée sur les valeurs de m.s. en raison de la grande variation de la teneur en eau des aliments pour ruminants. Les diètes monogastriques sont généralement fondées sur les valeurs « tel que servi ».

Protéine brute (% de PB) : calculée en multipliant par 6,25 la quantité totale d'azote dans les aliments, fondée sur l'hypothèse que 100 % de la protéine contient environ 16 % d'azote ($100/16 = 6,25$).

% de PB ajustée : une valeur calculée, parfois désignée comme protéines disponibles. Elle est utilisée pour les fourrages de manière à réduire le niveau total de protéines brutes. Ces protéines ne sont pas toutes adéquatement digérées par les ruminants à cause des dommages (protéines liées, caramélisées) causés par la chaleur résultant de la dégradation des produits (hydrates de carbone) qui forme des polymères insolubles de couleur foncée. Parfois, cela est calculé en soustrayant la PB liée de la ADF (ADF-PB ou ADIPB) de la PB. La ADF-PB est calculée en multipliant l'azote insoluble au détergent acide (ADIN, parfois désignée comme ADF-N) par 6,25. La PB alternativement ajustée est calculée sur une base proportionnelle selon le niveau de la ADF-PB comme lorsque l'ADIN (% de N) est supérieure à 14 %.



Ammoniac : (NH₃) : un composé gazeux d'azote et d'hydrogène à odeur âcre et incolore qui est très soluble dans l'eau. Un indicateur d'un contenu d'azote non protéique.

Ammoniac-N (NH₃-N, % de PB) : azote ammoniacal exprimé comme un pourcentage de protéines brutes en tant qu'indicateur d'une dégradation protéique excessive dans l'ensilage.

Nitrates (% de NO₃ ou ppm NO₃-N) : la concentration d'azote exprimée sous forme de nitrate. Pour convertir le % d'anion (NO₃) à la ppm d'azote de nitrates, divisez le % de NO₃ par 4,4 pour obtenir le % de NO₃-N. Multipliez le % de NO₃-N x 10 000 pour obtenir la ppm NO₃-N.

Protéine soluble, % de PB : un test chimique (tampon de borate) généralement rapporté comme le % de protéines brutes qui mesure la quantité de protéines rapidement dégradées à l'ammoniac pour satisfaire les besoins en azote des bactéries du rumen.

Protéine soluble (micro-organismes), % de PB : une analyse de micro-organismes disponible dans les rapports de Fermentrics^{MC} calculée comme étant la quantité de protéines brutes dégradées à l'intérieur de trois heures de l'incubation de l'échantillon divisée par le total de protéines brutes de l'échantillon.

Protéine soustraite à la dégradation ruminale (PSDR, % de PB) : portion de la protéine qui n'est pas dégradable dans le rumen. Parfois appelée protéine non digestible, protéine absorbable dans l'intestin grêle ou protéine alimentaire soustraite à la dégradation ruminale.

Protéine dégradable dans le rumen (PDR, % de PB) : Portion totale des protéines qui sont dégradables dans le rumen; parfois référé comme protéine alimentaire dégradable dans le rumen. Souvent déterminée à l'aide d'une méthode de digestion enzymatique développée par l'Université Cornell.

Protéine brute insoluble au détergent acide (ADIPB, % de PB) : parfois appelé protéine endommagée par la chaleur ou protéine non disponible. Cela quantifie les protéines qui ne sont pas toutes adéquatement digérées par les ruminants à cause des dommages (protéines liées, caramélisées) causés par la chaleur résultant de la dégradation des produits (hydrates de carbone) qui forme des polymères insolubles de couleur foncée. C'est une donnée d'entrée de programmes d'équilibrage de la ration qui utilise le modèle logique Cornell.

Protéine brute insoluble au détergent neutre (NDIPB, % de PB) : une protéine associée au résidu restant après l'exécution d'une analyse NDF. C'est une donnée d'entrée des programmes d'équilibrage de la ration qui utilise le modèle logique Cornell. Parfois appelée (protéine insoluble au détergent neutre) ou NDP (protéine au détergent neutre). Cela pourrait également être exprimé en termes d'azote ou « N », un composant de protéines brutes appelé azote insoluble au détergent neutre (NDIN) ou simplement azote au détergent neutre (NDN). La valeur NDIN peut être calculée en divisant la NDIPB par 6,25.

Production de biomasse microbienne (PBM, mg/g) : une valeur signalée dans les rapports de Fermentrics^{MC} qui est mesurée directement par l'analyse du substrat qui est toujours présent au bout de 48 heures d'incubation avec une analyse NDF (sans amylase ou sulfite neutre de sodium). La différence entre le poids du substrat avant et après l'analyse NDF est le rendement de la biomasse microbienne de l'échantillon incubé du liquide du rumen. Si l'ingestion de matières sèches (IMS) du nombre estimé de grammes de protéines microbiennes du rumen produite par l'utilisation de cette équation : $PBM \times 0,41 \times 1,3 \times \text{Kg de IMS}$ Le 0,41 est la quantité supposée de protéines microbiennes contenue dans la biomasse étant mesurée; 1,3 est un facteur d'ajustement représentant environ 30 % des bactéries du rumen existantes dans la phase liquide, par conséquent elles ne sont pas mesurées dans la valeur de la biomasse. À l'aide de l'exemple RTM avec 160 mg/g de PBM et une moyenne d'IMS de 23,5 kg pour une vache, cela équivaut à 2 004 grammes de protéines microbiennes produites. La contribution totale de protéines microbiennes en plus de tout PSDR fourni dans la diète est ce qui contribuera à la teneur totale en protéines utilisée pour la production du lait.

Digestibilité de l'amidon (STRD, % d'amidon) : digestibilité *in vitro* de l'amidon par le liquide du rumen (ou enzymatique). La taille du broyage (p. ex. : 1 à 4 mm) et le temps d'incubation (p. ex. : 2 à 10 heures) de l'échantillon diffèrent selon le laboratoire.

Taux de digestion des hydrates de carbone (Kd, % /heure) :

Les taux de digestion des hydrates de carbone (Kd) sont les taux maximaux de la dégradation par heure pour le B1 (amidon), B2 (fibre soluble) et B3 (NDF) comme définie par des modèles comme CNCPS ou CPM. Certains laboratoires publient des valeurs Kd pour le groupement de (NDF) B₃ en employant les équations publiées par l'Université Cornell qui utilise des valeurs de temps précis (p. ex. : 24, 30 ou 48 heures) de la NDFD, NDF, la lignine et une valeur de décalage de la digestion présumée (p. ex. : six heures). Les rapports de Fermentrics^{MC} utilisent un système de production de gaz pour mesurer directement le taux de digestion pour les groupements de nutriments rapides (principalement l'amidon) et lents (principalement la fibre). Les techniques d'approximation de la courbe cinétique publiée sont utilisées pour estimer les valeurs Kd du groupement d'hydrate de carbone.

Fibre au détergent acide (% de ADF) : les résidus toujours présents après avoir fait bouillir l'échantillon dans une solution de détergent acide. L'ADF contient de la cellulose, de la lignine et de la silice, mais aucune hémicellulose.

Cellulose au détergent neutre (% de aNDF) : la valeur NDF

est le total de la paroi cellulaire composée de la fraction de l'ADF avec l'hémicellulose. C'est le résidu qui demeure après avoir fait bouillir l'échantillon dans une solution de détergent neutre. Si l'amylase et le sulfite neutre de sodium sont utilisés pendant l'extraction (procédure recommandée), la fraction de la fibre devrait être appelée NDF (aNDF) traitée à l'amylase de manière à distinguer cette méthode de la méthode originale. Généralement, à mesure de que la NDF augmente, l'ingestion de matières sèches diminue.

NDFD, comme % de NDF : une mesure de la digestibilité NDF généralement mesurée par incubation *in vitro* avec un liquide du rumen et des tampons ou *in situ* en suspendant des échantillons sur des animaux fistulés. La taille du broyage (plus le broyage est fin, plus élevées seront les valeurs générées) et le temps d'incubation (12, 24, 30, 48 heures) de l'échantillon diffèrent selon le laboratoire. Certains laboratoires rapportent la dNDF qui est la partie de la cellulose au détergent neutre digérée par les animaux à un niveau spécifique de prise alimentaire, exprimée en pourcentage de la matière sèche. $NDFD = dNDF / NDF \times 100$.

Définitions de la NDF

	AucuNE amylase AucuN Na sulfite	Amylase AucuN Na sulfite	Amylase Na sulfite	Amylase Na sulfite Sans cendre
	NDF	NDR	aNDF	aNDFom
Ensilage de maïs (concentration élevée en grains)	37,7	38,1	36,0	35,2

Ce qui était requis dans le modèle Cornell
avant la mise à jour V 6.0

Ce que la plupart des laboratoires, en particulier ceux du Midwest, utilisent depuis le début des années 90 lorsque Mertens a commencé à promouvoir sa méthode, bien que ce ne sont pas tous les laboratoires qui utilisent le « A »

Généralement pas sauf sur demande. Serait probablement préférable d'être demandé pour le foin/ensilage préfané si les taux d'inclusion élevés, dans les échantillons, poussent la limite maximale de la ration totale de la quantité de NDF et de cendre à des niveaux élevés (>12 %)

Source : Dave Mertens, Symposium de la conférence Cornell sur la nutrition de 2002

NDF physiquement efficace (peNDF, % de m.s.) : une estimation de la portion grossière de la fibre qu'on pense efficace pour stimuler l'activité de rumination et la production d'un tampon salivaire pour accroître le pH du rumen. Valeur calculée par le tamisage de l'échantillon sec pendant dix minutes. On utilise la portion de la matière sèche conservée sur un tamis de 1,18 mm (nommée le facteur pe) multipliée par le contenu NDF de l'échantillon.

Lignine : parfois appelé lignine au détergent acide (lignine-DA). C'est le composant du plant non digestible (chaîne d'unités de propane de phényle). Il confère aux parois cellulaires végétales de la résistance et une imperméabilité à l'eau. De hauts niveaux de lignine tendent à réduire la digestibilité au sein d'une espèce végétale. Il existe deux méthodes pour mesurer la lignine dans une fibre au détergent acide : lignine de l'acide sulfurique et lignine permanganate. La lignine permanganate est une valeur plus grande que la lignine sulfurique chez la plupart des aliments pour le bétail.

Sucre, % : parfois appelé hydrates de carbone hydrosolubles (HCS). Échantillon incubé avec de l'eau dans un bain de 40 °C pour extraire des sucres simples et du fructosane. Le HCS est déterminé après l'hydrolyse acide avec l'acide sulfurique et la réaction colorimétrique avec du ferricyanure de potassium.

Amidon, % : un polysaccharide composé d'une longue chaîne d'unités de glucose.

Hydrate de carbone non fibreux (% de NFC) : une estimation des hydrates de carbone rapidement disponibles (principalement l'amidon et les sucres). Calculée à partir de l'une des équations suivantes : $NFC = 100 \% - (\%PB + \%NDF + \%EE + \% \text{ cendre})$ ou, si modifiée pour la NDIPB, $NFC = 100 \% - [\%PB + (\%NDF - \%NDIPB) + \%EE + \% \text{ cendre}]$. Puisque le NFC est calculé par la soustraction, le résultat comprend les erreurs additives de chaque composant particulièrement la procédure NDF. Les acronymes NFC et NSC (hydrates de carbone non structuraux) ne sont pas interchangeables, en particulier dans les fourrages. La différence provient principalement des pectines et des acides organiques trouvés dans le NFC, mais non dans les NSC.

Hydrates de carbone non structuraux (% de NSC) : une méthode enzymatique où tous les paramètres sont analysés pour estimer les sucres, l'amidon, les acides organiques et autres réserves d'hydrate de carbone comme les fructosanes. C'est une valeur inférieure à celle du NFC puisque celui-ci contient des composés autres que l'amidon et les sucres. Les acronymes NFC et NSC (hydrates de carbone non structuraux) ne sont pas interchangeables, en particulier dans les fourrages. La différence provient principalement des pectines et des acides organiques trouvés dans le NFC, mais non dans les NSC.

SERVIR	NFC	NSC
Ensilage de luzerne cultivée	18,4	7,5
Ensilage de maïs	41,0	34,7
Pulpe de betteraves	36,2	19,5
Maïs-grain humide	71,8	70,6
Pellicules de soja	14,1	5,3
Maïs concassé	67,5	68,7

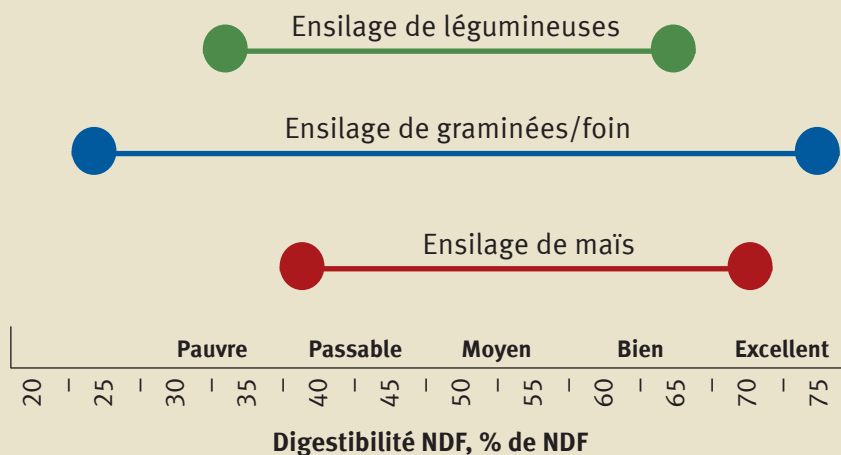
Matières grasses brutes, % : une estimation de la teneur en matières grasses des aliments déterminés par l'extraction à l'éther; parfois appelé extrait à l'éther (EE). Les matières grasses brutes contiennent du gras réel (triglycéride) ainsi que des alcools, des cires, des terpènes, des stéroïdes, des pigments, de l'ester, des aldéhydes et autres lipides.

% de cendre : le résidu restant après avoir fait brûler l'échantillon à 550 °C comme une estimation du total de la teneur en minéraux.

Minéraux : les minéraux (p. ex. : calcium, phosphore, potassium, magnésium, sodium et soufre) sont signalés en tant qu'un pourcentage et les oligo-éléments (p. ex. : cuivre, fer, manganèse, zinc) sont signalés en tant que parties par million (ppm).

Indice de transformation de l'ensilage de maïs (ITEM, % d'amidon total) : une analyse d'un échantillon d'ensilage de maïs séché pour évaluer le niveau de dommages aux grains au moment de la récolte. L'échantillon est séparé selon la taille des particules au moyen de tamis à grilles grossières (> 4,7 mm), moyennes (1,18 à 3,35 mm) et fines (0,6 mm ou moins) et ensuite être analysé pour trouver son pourcentage d'amidon. Des indices au-dessus de 70 % indiquent une transformation optimale du grain, de 50 à 70 % indiquent une transformation moyenne et des indices inférieurs à 50 % indiquent des échantillons non transformés.

Plages typiques de la NDFD (48 heures d'incubation)



Source : Dave Taysom. Dairyland Laboratories.

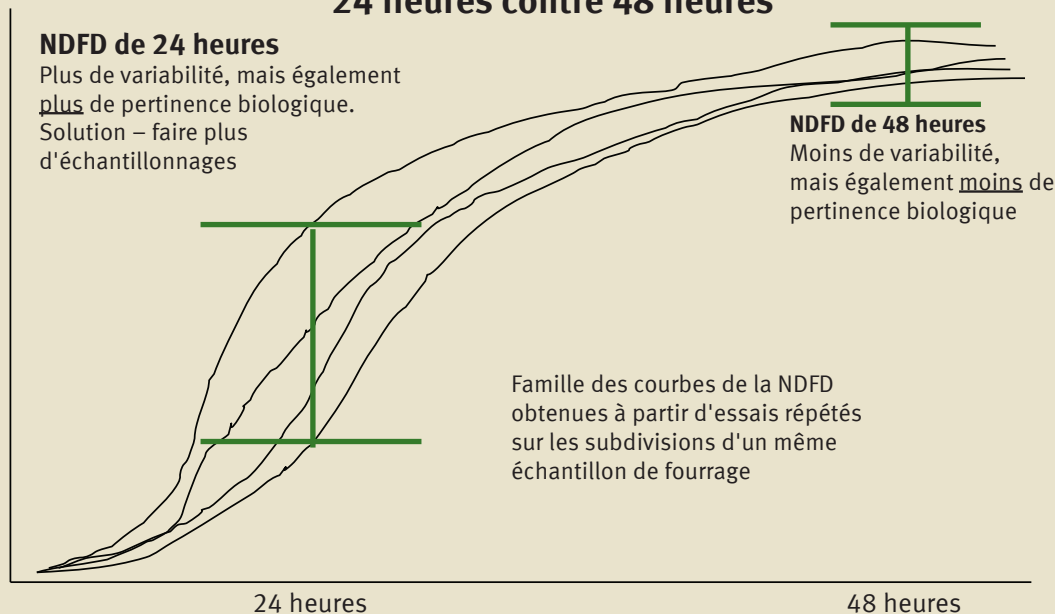
Le débat concernant la période d'incubation de la NDFD, 24 heures contre 48 heures

NDFD de 24 heures

Plus de variabilité, mais également plus de pertinence biologique.
Solution – faire plus d'échantillonnages

NDFD de 48 heures

Moins de variabilité, mais également moins de pertinence biologique



Valeur fourragère relative (VFR) : un index qui combine les facteurs qui perturbent la prise alimentaire et la digestibilité du fourrage. L'indice permet des comparaisons relatives de fourrages de légumineuses, de graminées et de légumineuses/graminées (et non l'ensilage de maïs). Indice utilisé pour déterminer la valeur relative à des fins de marketing. L'indice est calculé comme suit : $VFR = (IMS, \% \text{ du poids vif}) * (DMS, \% \text{ de m.s.}) / 1,29$ où : IMS est l'ingestion de la matière sèche (% du poids vif) calculée comme $120 / (NDF, \% \text{ m.s.})$ et DMS est la matière sèche digestible calculée comme $88,9 - (0,779 * ADF, \% \text{ m.s.})$

Qualité fourragère relative (QFR) : un indice qui incorpore la NDFD de manière à mieux comparer la performance potentielle de l'animal lorsqu'il est nourri avec des fourrages de légumineuses, de graminées et de légumineuses/graminées (et non l'ensilage de maïs). L'indice est fondé sur la digestibilité de la matière sèche fourragère et la quantité que la vache peut ingérer jusqu'à satiété. Sa valeur calculée comme suit : $QFR = IMS, \% \text{ de PV}) * (U.N.T, \% \text{ de m.s.}) / 1,23$. En fonction de la récolte, les calculs de l'IMS et de la TDN s'effectuent comme suit :

LÉGUMINEUSES :

(luzerne cultivée, trèfles et légumineuses/graminées)

$$IMS \text{ légumineuse} = 120 / NDF + (NDFD - 45) * ,374 / 1\,350 * 100$$

$$TDN \text{ légumineuse} = (NFC * ,98) + (PB * ,93) + (AG * ,97 * 2,25) + (NDFn * (NDFD / 100)) - 7$$

GRAMINÉES :

(graminées de saison chaude et froide)

$$TDN \text{ graminée} = (NFC * ,98) + (PB * ,87) + (AG * ,97 * 2,25) + (NDFn * NDFDp / 100) - 10$$

$$IMS \text{ graminée} = -2,318 + 0,442 * PB - 0,0100 * PB^2 - 0,0638 * TDN + 0,000922 * TDN^2 \\ + 0,180 * ADF - 0,00196 * ADF^2 - 0,00529 * PB * ADF$$

Où : PB = Protéine brute (% de m.s.)

EE = Extrait à l'éther (% de m.s.)

AG = Acides gras (% de m.s.) = extrait à l'éther - 1

NDF = Cellulose au détergent neutre (% de m.s.)

NDFPB = Cellulose au détergent neutre protéine brute

NDFn = NDF non azoté = NDF - NDFPB, autrement estimé en tant que $NDFn = NDF * ,93$

NDFD = 48 heures digestibilité *in vitro* NDF (% de NDF)

NFC = Hydrate de carbone non fibreux (% de m.s.) = $100 - (NDFn + PB + EE + \text{cendre})$

$$NDFDp = 22,7 + ,664 * NDFD$$



Lait par tonne, lb/tonne : selon l'aide à la décision MILK2006 de l'Université du Wisconsin, un indice d'ensilage de maïs ou de luzerne cultivée estime le nombre de livres de lait produit par tonne de matières sèches du fourrage.

Lait par acre, lb/acre : selon l'aide à la décision MILK2006 de l'Université du Wisconsin, un indice d'ensilage de maïs ou de luzerne cultivée estime le nombre de livres de lait produit par acre à partir du rendement total de la matière sèche du fourrage.

Calculs d'énergie : la plupart des laboratoires rapportent les valeurs calculées d'unités nutritives totales (TDN, %), l'énergie nette pour la lactation (EN_L , Mcal/lb), l'énergie nette d'entretien (EN_E , Mcal/lb) et l'énergie nette de gain (EN_G , Mcal/lb). Plusieurs équations différentes peuvent être utilisées pour calculer chacune de ces valeurs énergétiques, il est donc préférable d'obtenir les équations utilisées par les différents laboratoires.

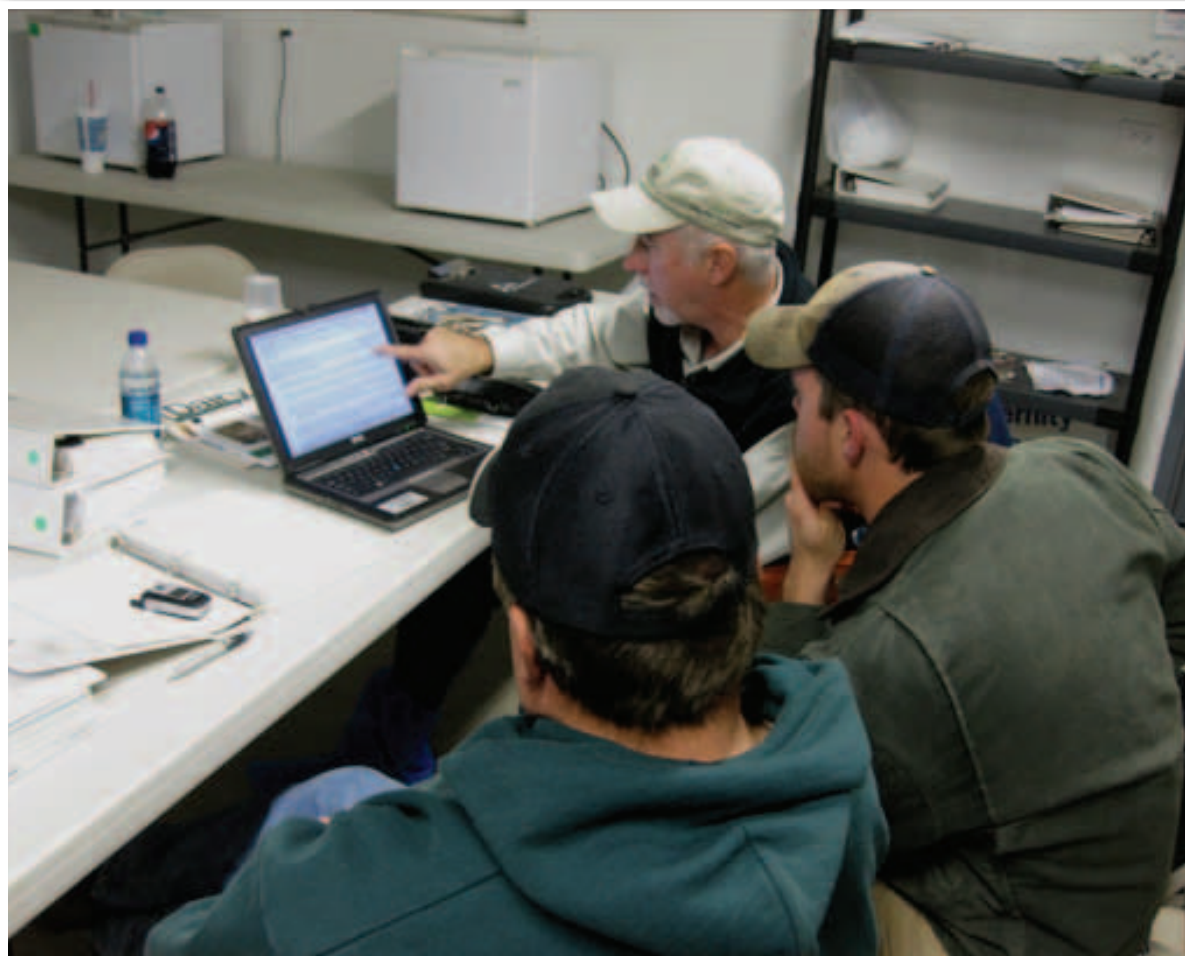
Profils de fermentation : une analyse type de la fermentation de l'ensilage comprendra les niveaux d'acides gras volatils (acétique, propionique, propanedial 1, 2, isobutyrique, butanoïque) ainsi que le pH, l'acide lactique et parfois l'ammoniac-N et l'éthanol.

LIGNES DIRECTRICES POUR SERVIR LES FOURRAGES

La prise alimentaire par les ruminants est principalement influencée par 1) la concentration des fibres dans le fourrage, 2) les caractéristiques de digestibilité du fourrage comme que la fragilité, l'effet de satiété et la digestibilité (NDFD), et 3) la capacité de fermentation de la ration (notamment l'amidon).

Il a été proposé que des problèmes tels qu'une diminution de matières grasses du lait chez les bovins laitiers pouvaient être liés à une variation de la qualité fourragère, de la matière sèche et de la palatabilité. Cela affecte la prise alimentaire quotidienne de la NDF, la rumination et le nombre de bovins qui alternent entre des épisodes de refus de s'alimenter à une suralimentation.

Les animaux hautement productifs doivent être nourris avec précision tous les jours en raison de leur plage nutritionnelle plus étroite, résultat d'un conflit entre une demande élevée en nutriments et le besoin de maintenir une quantité minimale de fibres. Sur le plan économique, c'est logique d'avoir des producteurs et des nutritionnistes qui se concentrent sur l'implantation de technologies et de protocoles de manière à mieux gérer les variations nutritionnelles qui existent dans les stocks de fourrages. Les prochaines sections fourniront des éléments généraux à prendre en considération concernant les ensilages de luzerne, de maïs à forte teneur en eau et de maïs.



LIGNES DIRECTRICES CONCERNANT L'ALIMENTATION AVEC LA LUZERNE

La luzerne est sans doute un des aliments le plus variables sur la ferme. Cette variabilité est due aux variations de l'âge du peuplement d'un champ à l'autre (contenu de graminées), à la maturité de la récolte et au degré d'humidité, à la digestibilité des fibres influencée par l'environnement durant la croissance, aux problèmes entourant la fermentation et la palatabilité.

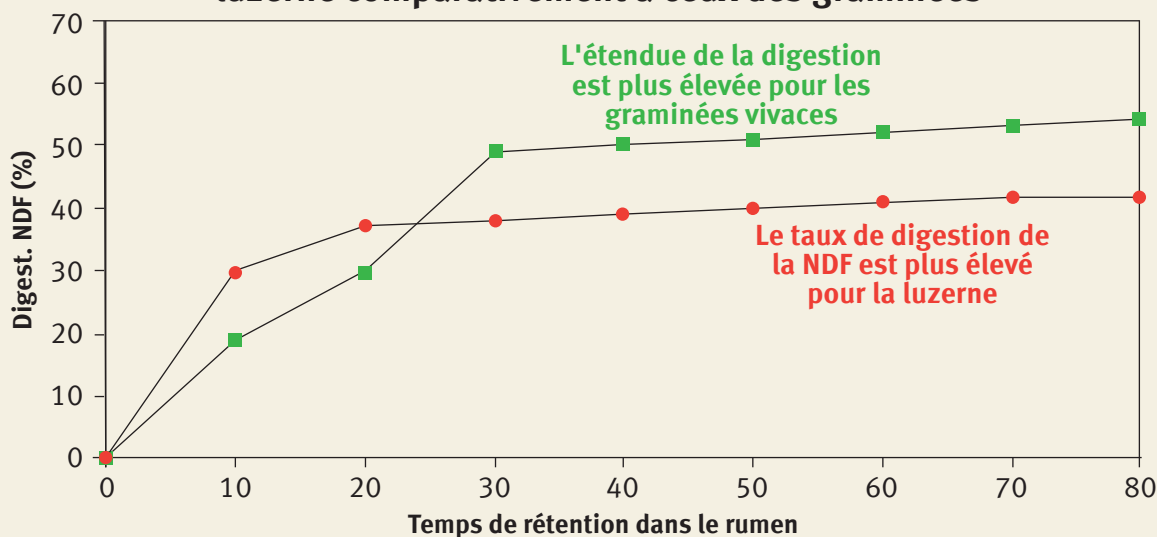
Les producteurs peuvent améliorer la constance et la qualité de l'ensilage de luzerne en mettant l'accent sur la maturité à la récolte. Le bâton PEAQ (équations prédictives pour la qualité de la luzerne) pour évaluer la maturité de la luzerne et les niveaux de la NDF est accessible depuis des décennies. Il s'agit d'un outil que plus de producteurs devraient utiliser pour surveiller la maturité de la plante.

La luzerne est utilisée dans l'alimentation des ruminants pour fournir de l'énergie, des protéines et des fibres. L'ensilage de

luzerne avec une QFR élevée (au-dessus de 170) aura des teneurs relativement inférieures de ADF, de NDF et de fibres efficaces (peNDF). L'ensilage aura également de hautes teneurs en protéines brutes, dont une bonne partie est sous une forme aisément soluble. Une luzerne de haute qualité, bien gérée, avec une plage acceptable de QFR (150 à 170) facilite l'équilibrage de la ration, offre la bonne teneur en fibres efficaces et des teneurs acceptables en protéines solubles. Cela peut également réduire les achats de suppléments protéiques.

Une attention particulière à la teneur de NDFD et à celle des cendres contribuera à assurer une récolte digestible avec moins de problèmes de fermentation. La plupart des nutritionnistes préféreraient que les producteurs retardent le moment de l'ensilage de la luzerne et qu'ils composent avec la baisse de digestibilité plutôt que des aliments exposés à la pluie et des ensilages inadéquatement fermentés. L'expérience dans les champs a également incité les nutritionnistes à cibler des niveaux idéals d'humidité (autour de 60 %) de manière à réduire la dégradation des protéines et potentiellement des ensilages de luzerne attaqués par Clostridium.

Taux et étendue de la digestibilité de la fibre chez la luzerne comparativement à ceux des graminées



Source : Rick Grant, Université du Nebraska

LIGNES DIRECTRICES CONCERNANT L'ALIMENTATION AVEC LE MAÏS-GRAIN HUMIDE

Pour obtenir la plus grande quantité d'amidon par acre, la récolte du maïs-grain humide (MGH) ne devrait pas commencer avant que les grains atteignent le point noir et la maturité physiologique. Pour la plupart des hybrides, cela signifie un taux d'humidité allant de 34 à 36 %. Il vaut mieux parler du taux d'humidité dans

le grain lorsque vous faites des recommandations pour le MGH, pour les épis de MGH, ou pour l'ensilage épi-hampe de MGH. En effet, la plupart des producteurs possèdent leur propre hygromètre pour le grain et le produit final peut avoir différentes quantités de rafles de maïs ou de spathes lesquelles affectent la teneur en eau.

Dans les ensilages d'épis de MGH et d'épis-hampe, la rafle augmente le taux d'humidité du grain. La règle de base suggère que le mélange final sera de 3 à 4 pour cent plus humide que celui avec le grain seul (basé sur le fait que l'épi compte environ 10 % de rafle).

Site de la digestion de l'amidon tel qu'influencé par la méthode de transformation du maïs-grain (roulé, fermenté, flocon)

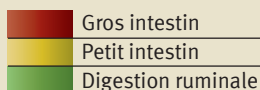
Lorsque nous parlons de la digestion de l'amidon, il importe de préciser l'endroit (rumen, petit intestin ou système digestif au complet).

Dans certaines situations d'alimentation, il peut être avantageux de contourner la digestion ruminale et d'augmenter la digestion intestinale. Surtout si la production de protéines microbiennes est élevée et que l'acidose inquiète.

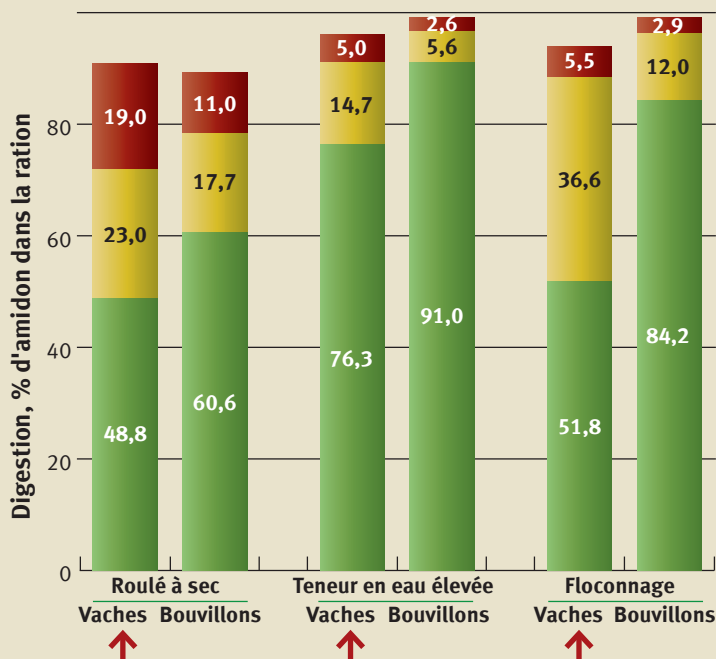
La digestion dans le système digestif au complet est moindre chez les vaches en lactation par rapport à celle des bouvillons. C'est principalement dû au fait que les vaches ont une prise alimentaire plus élevée et plus de fibres dans leur alimentation ce qui accroît le débit du flux ruminal.

Le floconnage déplace le site de la digestion du rumen vers les intestins; tandis que le processus de fermentation déplace le site de la digestion vers le rumen.

Source : Owens F. A. et S. Soderlund 2007.
Obtenir le maximum de votre maïs sec et du maïs-grain humide. Tiré de la Conférence des quatre États sur la nutrition et la gese.

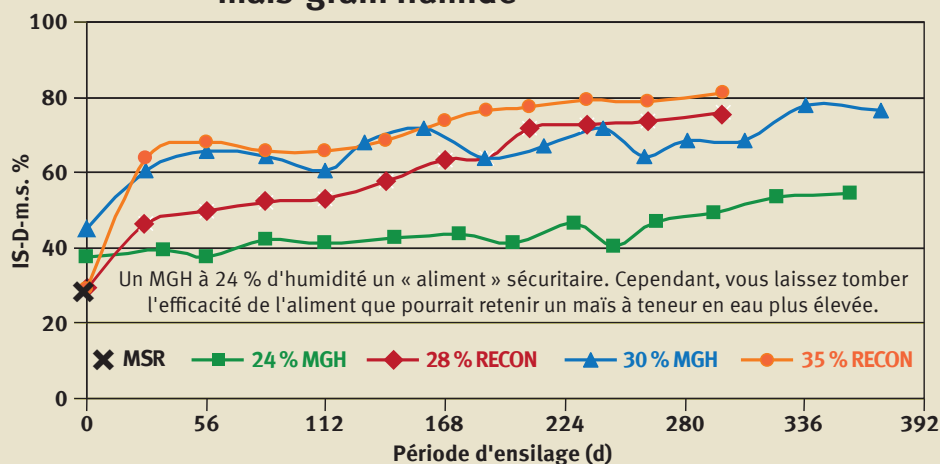


Digestion de l'amidon par les vaches par rapport aux bouvillons



Changements de la digestion ruminale selon le taux d'humidité du maïs-grain humide

La plupart des logiciels d'équilibrage de la ration ne tiennent pas compte de la digestibilité qui s'accroît avec le temps lorsque les aliments sont entreposés dans des structures de fermentation. Dans le cas d'un maïs à 28 % d'humidité, si vous en servez dix livres en octobre, il faudrait réduire cette quantité à sept livres au printemps.



Un MGH à 24 % d'humidité un « aliment » sécuritaire. Cependant, vous laissez tomber l'efficacité de l'aliment que pourrait retenir un maïs à teneur en eau plus élevée.

MRS = Le traitement du maïs roulé sec n'a montré aucun changement avec le temps pour l'IS-D-m.s., mais lorsque le même hybride fut récolté avec une teneur plus élevée en eau (MGH), l'IS-D-m.s. a augmenté avec le temps en entreposage.

IS-D-m.s. – disparition *in situ* de la matière sèche

RECON – reconstitué

L'IS-D-m.s augmente à 280 jours en entreposage comparativement à 60 jours en entreposage

28 % RECON – 30 % supérieur

30 % RECON – 8 % supérieur

35 % RECON – 14 % supérieur

Source : J. R. Benton, G.E. Erickson, et T.J. Klopfenstein U de NE, Lincoln.

Ceux qui ont de l'expérience avec une alimentation à base d'ensilage épis-hampe conviennent qu'en cas de doute il vaut ensiler plus humide que moins humide. Un ensilage trop sec (p. ex. : humidité grain < 25 %) marque le début des problèmes en ce qui a trait à la digestibilité, la palatabilité, les grains mal broyés et l'instabilité à l'intérieur du silo-couloir.

Cibler une teneur en eau du grain de 28 % ou plus donne généralement de meilleurs résultats avec la plupart des rations contenant des ensilages de MGH, de MGH concassé ou d'ensilage épis-hampe. Au contraire, un taux d'humidité moindre du MGH (24 à 26 %) tend à être plus stable avec le temps dans des structures d'entreposage où il fermente. La fermentation dans le rumen et l'énergie tirée d'un MGH plus sec sont moindres lorsque les grains sont ensilés à un taux d'humidité plus élevé.

Dans une étude en champ sur l'ensilage épis-hampe, menée par Pioneer et conçue pour évaluer le rendement et le contenu nutritionnel de quatre hybrides récoltés à quatre maturités différentes, on a démontré que la digestibilité de la rafle de maïs baisse par près de 20 % au cours des quatre semaines de la période de récolte. La spathe et la tige avaient également diminué quelque

peu avec la maturité de l'épi, mais sont demeurées relativement élevées parmi toutes les périodes de récolte. Maintenir la digestibilité de l'épi est une autre raison pour cibler la récolte de l'ensilage épis-hampe à une teneur en eau du grain excédant 28 %.

Les nutritionnistes ont appris à s'intéresser de près à la taille des particules des grains de maïs sec égrené ou concassé, ou à teneur en eau élevée. Typiquement, ils visent des tailles de particules allant de 800 à 1 000 microns. Ils recommandent aussi un petit écart type pour prévenir les particules excessivement petites ou grosses. L'attention portée à la taille des particules doit être tout aussi grande avec les grains des ensilages de MGH épi ou de maïs épis-hampe.

Comme avec l'ensilage de maïs, les nutritionnistes devront être conscients du fait que la digestibilité de l'amidon d'un ensilage épis-hampe dans le rumen augmentera avec le temps (environ 2 % par mois). Cela est particulièrement important s'il y a transition après une alimentation plus sèche avec du maïs-grain humide. À cet égard, le MGH est un peu différent d'un ensilage de maïs. Les deux essais sur les animaux et les analyses de la solubilité des protéines indiquent que le MGH semble améliorer continuellement sa digestibilité de l'amidon pendant environ douze mois. L'ensilage

de maïs tend à atteindre un plateau au bout de six mois de fermentation dans une structure d'entreposage. La différence entre l'ensilage de maïs et celui du MGH est probablement due à des grains qui sont plus immatures au moment de la récolte de l'ensilage de maïs et à une fermentation plus prononcée (pH inférieur) de ce type d'ensilage. Pour les troupeaux qui consomment une grande quantité d'ensilage de maïs (>20 lb de m.s./vache/jour), il pourrait être logique de cibler du MGH à fermentation élevée ou un ensilage épis-hampe pendant les premiers six à sept mois d'alimentation, pour effectuer une transition lente vers une source d'amidon moins susceptible à la fermentation (maïs sec ou MGH à teneur en eau inférieure). Cette approche peut servir de complément à l'amidon retrouvé dans l'ensilage de maïs dont la digestibilité augmentera simultanément avec le temps en entreposage.

LIGNES DIRECTRICES L'ALIMENTATION AVEC L'ENSILAGE DE MAÏS

En tenant compte de la sécurité, un bon point de départ pour évaluer l'ensilage de maïs consiste à observer physiquement la structure d'entreposage. L'évaluation de la surface de reprise est une indication du souci pour le détail en régie des fourrages. Recherchez les signes d'altération sur la surface et les côtés de l'ensilage, et si l'altération semble étendue, étudiez la façon dont les aliments altérés sont manipulés. Il est utile de savoir si l'ensilage de maïs provient de plus d'une structure d'entreposage et combien d'hybrides différents ont été ensilés dans la même structure. Il est possible de réduire la variation dans le contenu de la matière sèche d'un ensilage, de l'amidon et de la NDF en effectuant la reprise sur la surface complète au lieu de la faire par petites sections.

De nombreux nutritionnistes aiment à sentir l'ensilage. Cela n'est pas recommandé pour trois raisons : il n'est pas sain d'inhaler fréquemment des spores de moisissure souvent présentes dans l'ensilage, 2) s'il y a fermentation indésirable, cela peut facilement être détecté à distance (et confirmé avec une analyse des AGV) et 3) la senteur n'est pas un très bon indicateur de la palatabilité ou de la valeur nutritionnelle.

Recherchez les signes de réchauffement dans l'ensilage de maïs. La vapeur qui s'échappe de la surface d'un silo-couloir pendant un temps froid n'indique pas nécessairement des problèmes d'instabilité aérobie. Souvent, il s'agit seulement de la température ambiante de la récolte et de la chaleur normale de fermentation retenue par l'eau qui joue le rôle d'un puits thermique dans la masse de l'ensilage. Quel est un meilleur indicateur d'une chaleur induite par l'activité microbienne? C'est le fait qu'un ensilage continue à chauffer après la reprise lorsqu'il repose dans un monticule ou dans la mangeoire.

GRAINS ENDOMMAGÉS

Les dommages physiques aux grains de maïs sont probablement l'aspect le plus négligé lors de l'évaluation d'un ensilage dans un silo-couloir. Dans le processus de surveillance, la tasse Pioneer (32 oz) peut être utilisée à la ferme pour quantifier les grains endommagés. Remplissez la tasse jusqu'au bord, étendez l'ensilage sur une surface plane et ramassez les morceaux de grains qui sont plus gros qu'un ¼ de grain. Si l'échantillon contient plus de deux à trois de ces morceaux de grains, faites effectuer un test de transformation du grain en laboratoire pour aider à diminuer la valeur énergétique potentielle de l'ensilage. L'observation des grains aide également à évaluer la maturité du maïs au moment de la récolte. Si les grains sont plus immatures, l'analyse du fourrage devrait révéler la présence de moins d'amidon, une teneur en huile légèrement supérieure (le germe n'est pas aussi dilué par l'amidon) et une teneur en sucre supérieure. Cela peut influencer la formulation des rations, de même que la tendance de l'ensilage à être soumis à des problèmes de durée de vie et de palatabilité.



DISTRIBUTION DES ALIMENTS

Le suivi de la taille des particules est très important dans une ration où l'ensilage de maïs occupe une place importante. En plus de surveiller la longueur de hachage de l'ensilage de maïs (idéalement environ 19 mm; plus long en utilisant un transformateur Shredlage^{MC}); il est important de noter la longueur de hachage et la texture des autres fourrages de la RTM. Il est utile de faire se chevaucher l'ancien et le nouvel ensilage de maïs. Cela minimisera la difficulté d'adaptation de la vache au moment de passer au nouvel ensilage. Si possible, surveillez le distributeur d'aliments charger la RTM de manière à observer les séquences d'aliments et la durée de temps à laquelle l'ensilage de maïs a été soumis. La taille des particules et l'analyse nutritionnelle du mélange de la RTM au moment de la distribution des aliments aident souvent à détecter l'abus par le mélangeur de la taille des particules des fibres. Ils permettent également d'évaluer la régularité du mélangeur. Certains troupeaux qui servent des rations contenant beaucoup d'ensilage de maïs y incorporent de la paille ou du foin de mauvaise qualité pour aider à accroître la présence des fibres et pour stimuler la rumination. Cette approche est souvent profitable lorsque la taille des particules du fourrage n'est pas adéquate. Toutefois, une attention particulière à la taille des particules de la paille ajoutée est nécessaire pour empêcher le tri et des épisodes acidoses.

Les nutritionnistes qui donnent des rations élevées en ensilage de maïs tendent à donner des aliments à teneur légèrement supérieure en NDF dans toute la ration. Une revue de l'Université du Minnesota a indiqué qu'il est possible d'offrir une ration à 30 % de NDF avec beaucoup d'ensilage de maïs sans perte de production de lait. Dans les rations où les teneurs NDF physiquement efficaces (peNDF) sont surveillées, la plupart des troupeaux alimentés de rations à forte teneur en ensilage de maïs préfèrent les équilibrer en peNDF de 22 à 23 %. Un taux qui les situe dans la partie supérieure des recommandations normales. Pour des rations contenant beaucoup d'ensilage de maïs, la plupart des nutritionnistes préfèrent un minimum de 12 à 12,5 lb de NDF obtenus des fourrages. Cela équivaut à environ 22 % de la ration de NDF provenant des fourrages. Ces teneurs en fibres sont souvent dépassées (de 24 à 25 % de NDF totale à partir de fourrage) si l'ensilage de maïs est particulièrement élevé en NDFD en raison de l'impact de la saison de croissance (sécheresse), de la génétique des hybrides ou de l'utilisation d'inoculants éprouvés pour améliorer la NDFD. Certains nutritionnistes surveillent le lien de la NDF d'un fourrage et le niveau de l'amidon fermentescible dans le rumen (déterminé par des calculs ou évalué par les méthodes *in situ* ou *in vitro* en laboratoires). La règle de base qui suggère de fournir 1,25 lb de NDF pour chaque livre d'amidon fermentescible s'est avérée utile, en particulier dans les rations d'ensilage de maïs contenant de très hauts niveaux de NDFD.

AMIDON

L'amidon retrouvé dans l'ensilage de maïs est souvent considéré comme le « vilain » lorsque des vaches alimentées avec des

niveaux élevés d'ensilage ne répondent pas comme prévu, affichent des tests faibles en gras ou démontrent une inconstance dans les indices du fumier. L'image du vilain s'est atténuée à mesure que les valeurs d'amidon en laboratoires sont devenues disponibles et que les nutritionnistes ont appris à réduire le grain pour servir de complément à l'amidon présent génétiquement dans le maïs moderne. Les teneurs en amidon de la ration laitière varient généralement entre 30 % pour une nouvelle récolte d'ensilage de maïs à aussi peu que 22 à 24 % dans un ensilage de maïs qui a fermenté longtemps. Il est pratiquement impossible de dépasser ces teneurs d'amidon dans la ration totale avec un ensilage de maïs, même avec les taux d'inclusion les plus élevés d'ensilage de maïs avec concentration élevée en amidon.

Il y a une abondance de recherches sur la fermentation d'ensilage de maïs qui indiquent des changements rapides dans les deux à trois premiers mois d'entreposage. Ces recherches donnent raison aux recommandations scientifiques courantes qui demandent d'attendre que l'ensilage de maïs ait fermenté de trois à quatre mois avant de le servir. Jusqu'à tout récemment, on ne comprenait pas ce qui se produit avec les ensilages et les grains entreposés pour une période plus longue. Des études chronologiques avec des silos de recherche à l'échelle d'un laboratoire indiquent que la digestibilité de l'amidon d'un ensilage de maïs atteint un plateau au bout de cinq à six mois en entreposage. Cette découverte est également appuyée par le suivi de la solubilité moyenne de la protéine dans les échantillons d'ensilage de maïs soumis aux laboratoires commerciaux, en présupant que la solubilité de la protéine est hautement liée à la digestibilité de l'amidon. Il est important que les nutritionnistes continuent de tenir compte du changement à la hausse de la digestibilité de l'amidon dans le rumen (environ deux pour cent par mois). Une hausse qui se produit dans l'ensilage de maïs à la suite de la période dynamique précoce. Ne pas tenir compte des changements dans la digestibilité de l'amidon peut expliquer certaines « acidoses printanières » et une diminution du gras dans le lait. Des constatations obtenues chez les exploitations laitières qui alimentent des quantités élevées d'ensilage de maïs et du maïs-grain humide ou du maïs floconné, hautement fermentescible dans le rumen.

PROTÉINE

Un domaine qui a récemment capté l'intérêt des nutritionnistes est la supplémentation protéique des rations d'ensilage de maïs. L'attention à la quantité et à la qualité des protéines a contribué à l'utilisation de rations à concentration élevée en ensilage de maïs parmi les troupeaux qui avaient auparavant des difficultés avec ce genre de fourrage comme alimentation.

Dans le passé, on a vécu une tendance à fournir un excès de protéines dégradables dans le rumen (PDR) au moyen d'une supplémentation protéique accrue. Une supplémentation justifiée lorsque l'ensilage de maïs (moins de protéine) a remplacé la luzerne (plus de protéine) dans la ration. Des rations avec une teneur élevée en protéines brutes (PB) et en PDR semblaient un bon complément aux rations

contenant beaucoup d'ensilage de maïs pour obtenir des rendements élevés en protéines microbiennes. Toutefois, un excès de PB et de PDR est un luxe qu'on ne peut plus tolérer puisque les coûts du tourteau de soya augmentent, les questions environnementales reliées à l'azote s'accumulent. De plus, nous en savons davantage concernant le recyclage de l'azote uréique et de l'azote dans le rumen, ainsi que les besoins spécifiques en acides aminés des vaches grandes productrices. Sans compter que suralimenter en protéines soustraites à la dégradation par le rumen (PSDR) peut être coûteux et diminuer l'efficacité des protéines métabolisables dans les rations. En effet, la PSDR comporte généralement une concentration plus faible de lysine et de L-méthionine que les protéines microbiennes. Une teneur excessive de PB occupe également de l'espace dans la ration. Un espace qui pourrait être rempli par une source d'énergie. L'excès de PB peut également entraîner chez l'animal un stress en énergie nette par un effet de désamination protéique vers l'ammoniac et sa conversion en urée pour être excrété.

Les rations contenant plus de 25 lb de matière sèche (m.s.) provenant d'un ensilage de maïs à haute teneur en amidon ont marqué des points. Elles ciblaient une teneur de 15 à 16 % de PB

avec une concentration raisonnable (8 à 8,5 % de m.s.) de PDR. L'utilisation de logiciels pour suivre l'ingestion des acides aminés a permis de réduire la quantité utilisée de PB obtenue du tourteau de soya de plus en plus dispendieux. Les économies réalisées peuvent contribuer à l'achat d'un mélange plus équilibré d'acides aminés de sources végétales, animales et aquatiques ou d'acides aminés dérivés de produits commerciaux.

Les taux d'inclusion des ensilages de maïs sont à la hausse en raison de la disponibilité de l'approvisionnement, de la densité énergétique, de la consistance et de la palatabilité. Une attention particulière devrait être accordée à la teneur en amidon de l'ensilage et aux changements de la digestibilité avec le temps dans la structure d'entreposage, la teneur en NDF, la digestibilité et les attributs physiques comme la peNDF, les grains broyés, l'entreposage des aliments et la régie de la distribution. Des rations fondées sur un taux d'ensilage de maïs élevé devraient inclure des teneurs modérées de PB et de protéines dégradables dans le rumen avec une attention particulière portée à la teneur en lysine et en L-méthionine provenant des sources végétales, animales et aquatiques ou protégées dans le rumen.

Composition des mélanges de rations provenant de 14 exploitations laitières commerciales de New York

Article	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Vaches	1 550	108	270	920	140	100	700	60	180	45	220	45	250	53
Lait, kg	39	39	38	52	40	38	40	27	43	36	34	38	38	32
Matière grasse du lait en %	3,6	3,6	3,8	3,2	3,65	4,0	3,5	4,0	3,6	3,6	3,85	3,7	3,56	3,64
Lait, protéine réelle, %	3,05	3,2	3,07	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,03	2,9
MUN, mg/dl	10,6	12,0	—	8,0	8-10	9,0	7-9	9,0	8-9	8-9	8-9	8-9	10	14
Ration PB, %	15,9	15,5	15,7	15,9	14,3	16,0	16,3	16,5	15,8	15,6	15,0	15,6	15,5	15,8
Protéine microbienne (PM), g/vache	2 625	2 720	2 961	3 306	2 599	3 016	2 792	1 991	2 744	2 305	2 256	2 419	2 739	—
Lysine, % de (PM)	6,60	6,23	6,40	6,74	6,42	6,17	6,64	5,63	5,77	6,32	6,32	6,31	6,29	6,40
L-méthionine, % de (PM)	1,94	4,96	2,05	2,71	2,10	1,77	2,79	1,78	1,85	1,91	1,88	1,91	1,93	1,90
Lys:Meth	3,4:1	3,18:1	3,12:1	2,5:1	3,05:1	3,5:1	2,38:1	3,16:1	3,12:1	3,3:1	3,3:1	3,3:1	3,3:1	3,3:1
NDF, %	28,9	30,8	30,7	30,9	31,4	31,5	32,2	30,5	32,3	29,3	31,5	29,3	31,5	33,7
NDF du fourrage, % de PV	0,88	0,86	0,86	0,94	0,99	0,91	0,88	0,78	0,99	0,89	0,78	0,89	1,02	0,94
NFC, %	43,4	41,9	40,6	41,5	42,4	38,1	39,1	40,0	39,3	41,3	40,7	44,4	42,5	40,0
Amidon, %	28,5	27,1	31,6	28,7	29,3	24,0	27,6	26,3	28,7	28,6	27,6	29,5	28,6	29,0
Sucre, %	3,5	3,1	4,2	5,4	5,0	3,3	5,1	7,0	3,5	3,7	3,4	4,1	7,4	3,9
Matière grasse, %	4,3	3,8	4,3	5,1	4,4	5,2	5,4	5,4	5,1	5,1	4,8	4,0	5,2	4,1
Fourrage, % de ration de m.s.	57	60,4	48	60	59	57	53	50	51	59	52	59	55	60
Ensilage de maïs, % de fourrage	80	72	37	68	53	48	64	0	58	56	49	38	74	46
Efficacité du lait N, lait N en tant que % de l'ingestion du N	35	35	32	38	36	28	35	28	35	35	36	31	32	

Source : Chase et al., 2009

Prix suggéré 20,00 \$ CAN.

Rédacteur et collaborateur :

Bill Mahanna, Ph.D., Dipl. ACAN
DuPont Pioneer, directeur mondial sciences de l'alimentation
bill.mahanna@pioneer.com
515.229.3409

Contributeurs :

Bill Seglar, DVM, P.A. S.
DuPont Pioneer, nutritionniste et vétérinaire principal
bill.seglar@pioneer.com
515.535.6674

Fred Owens, Ph.D.
DuPont Pioneer, chercheur scientifique et nutritionniste principal
fred.owens@pioneer.com
515.535.6416

Scott Dennis, Ph.D.
DuPont Pioneer, microbiologiste (ensilage et rumen)
scott.dennis@pioneer.com
515.535.4049

Robin Newell, M.S.
DuPont Pioneer, agronome (fourrages)
robin.newell@pioneer.com
515.535.6489



Tous les produits sont des marques de commerce de leur fabricant.

Le logo ovale DuPont est une marque de commerce déposée de DuPont.
Les produits de marque PIONEER^{MD} et Sila-Bac^{MD} sont fournis et sont soumis aux conditions d'achat qui font partie de
l'étiquetage et des documents à l'achat.

^{MD}, ^{MC}, ^{MS} Les marques de commerce et les marques de service autorisé à Pioneer Hi-Bred Limited. © 2013 PHL 13-552 CanE