



Ventilation et conservation des grains à la ferme



Avertissements

L'information contenue dans le présent guide reflétait l'état des connaissances relatives à la ventilation et à la conservation des grains au moment de la rédaction. Son utilisation demeure sous l'entière responsabilité du lecteur.

Pour information et commentaires

Réseau Innovagrains

Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval

2425 rue de l'Agriculture, local 3221

Québec (Québec) G1V 0A6

Téléphone : 418 656-2131 poste 6789

Télécopieur : 418 656-7856

Site Internet : www.reseauinnovagrains.ca

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ)

Édifice Delta 1

2875, boulevard Laurier, 9^e étage

Québec (Québec) G1V 2M2

Téléphone : 418 523-5411

Télécopieur : 418 644-5944

Courriel : client@craaq.qc.ca

Site Internet : www.craaq.qc.ca

Pour citer ce document :

St-Pierre, N., V. Bélanger et A. Brégar. 2014. Ventilation et conservation des grains à la ferme. Réseau Innovagrains et Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 58 p.

© Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2014

PGCC0101-01

ISBN 978-2-7649-0486-2 (version imprimée)

ISBN 978-2-7649-0487-9 (PDF)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives Canada, 2014

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014

Rédaction

Nicolas St-Pierre, agr., enseignant, Collège d'Alma

Valérie Bélanger, Ph.D., coordonnatrice du réseau Innovagrains

Annie Brégar, Ph.D., professionnelle de recherche, Université Laval

Collaboration et révision

Valérie Bélanger, Ph.D., coordonnatrice du réseau Innovagrains

Annie Brégar, Ph.D., professionnelle de recherche, Université Laval

Jacques Dion, d.t.a., directeur production semence, Semican

Annick Fillion, agr., conseillère, Groupe Pousse-Vert

Daniel Lanoie, producteur, directeur national Association canadienne des producteurs de semences (ACPS) et observateur, Producteurs de Semences du Québec (PSQ)

Pierre Laplante, gérant de territoires, RAD Équipements inc.

Nicolas St-Pierre, agr., enseignant, Collège d'Alma

Cécile Têtreault, d.t.a., experte céréales et canola, analyste en semences, Synagri

Anne Vanasse Ph.D., agr., professeure, Université Laval, directrice scientifique du réseau Innovagrains

William Van Tassel, producteur et 1^{er} vice-président, Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec

Coordination

Valérie Bélanger, Ph.D., réseau Innovagrains

Édition et mise en page

Danielle Jacques, M.Sc., agr., chargée de projets aux publications, CRAAQ

Nathalie Nadeau, graphiste, CRAAQ

Partenaires financiers

Québec 

- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
- Fonds de recherche du Québec - Nature et technologies

Remerciements

Le réseau Innovagrains tient à remercier toutes les personnes et tous les organismes œuvrant dans le secteur des grains et ayant collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce guide pratique, notamment les Producteurs de Semences du Québec (PSQ) pour leur appui financier.

Table des matières

AVANT-PROPOS	01
--------------------	----

CHAPITRE 1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES GRAINS.....03

1.1 Anatomie d'un grain.....	03
1.2 Composition biochimique des grains.....	04
1.3 Activité vitale des grains.....	04
1.4 Propriétés bio-physico-chimiques.....	06
1.5 Caractérisation des grains.....	08
1.6 Facteurs d'altération des grains.....	09

CHAPITRE 2. RÉCOLTE ET MISE EN SILO10

2.1 Ajustement de la moissonneuse-batteuse	10
2.2 Vérification du taux d'humidité à la récolte	11
2.3 Nettoyage du grain après le battage.....	12
2.4 Préparation du silo.....	13
2.5 Mise en silo des grains.....	13
2.6 Mesure de la température et de l'humidité de l'air extérieur....	15
2.7 Mesure de l'humidité et de la température du grain	16

CHAPITRE 3. VENTILATION DES GRAINS.....20

3.1 Objectifs de la ventilation	20
3.2 Cycle de ventilation	21
3.3 Choix d'un système de ventilation.....	22
3.4 Types de ventilation.....	27
3.5 Types de ventilateurs	29
3.6 Modes de ventilation	33
3.7 Conduite de la ventilation : quand et comment ventiler?	34
3.8 Convection versus condensation	37

CHAPITRE 4. LUTTE CONTRE LES RAVAGEURS ET LES MOISSISSURES DES GRAINS.....39

4.1 Prévention	39
4.2 Détection	39
4.3 Identification des ravageurs.....	40
4.4 Méthodes de lutte.....	46

CHAPITRE 5. SANTÉ ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL DANS LES SILOS	48
Attention à la machinerie motorisée!	48
Attention aux chutes!	48
Attention aux effondrements de grains!.....	49
Attention à l'atmosphère toxique!.....	49
RÉFÉRENCES.....	50
ANNEXES – Courbes d'équilibre air-grain (blé, orge, avoine, maïs, soya, canola).....	53
CONVERSIONS UTILES	

Avant-propos

En 2014, l'industrie québécoise du secteur des grains générait des recettes annuelles d'environ un milliard de dollars et comptait plus de 10 000 entreprises agricoles qui ensemencent près d'un million d'hectares par année. Il s'agit d'un des plus importants secteurs agricoles au Québec. Les producteurs agricoles se voient offrir des primes importantes en fonction du type de grain produit et des marchés. Ces marchés sont souvent très exigeants en termes de qualité, de spécificité et d'homogénéité.

Pour répondre à ces critères, une récolte plus hâtive peut s'avérer avantageuse afin de conserver les caractéristiques demandées pour les différents types de grains. Ainsi, récolter plus hâtivement améliore grandement le pouvoir germinatif des semences, la couleur des grains et leur qualité générale, tout en réduisant l'incidence des maladies. Cela sous-entend par contre un taux d'humidité des grains à la récolte plus élevé (16 à 18 %), ce qui doit être pris en considération lors de l'entreposage.



Source : N. St-Pierre

L'entreposage des grains à la ferme prend de plus en plus d'ampleur. En 2012, la récolte totale de céréales et de grains oléagineux s'élevait à 5 018 millions de tonnes et l'entreposage à la ferme pouvait combler 80 % des besoins de cette production (AGÉCO, 2014)¹. L'entreposage à la ferme permet de mieux cerner le moment de l'année qui sera le plus avantageux pour vendre le grain au meilleur prix.

Ces deux facteurs qui sont une récolte hâtive et l'entreposage à la ferme demandent une certaine vigilance dans la gestion de la

1. AGÉCO. 2014. Portrait et diagnostic du système d'approvisionnement en grains du Québec. 139 p.

qualité post-récolte des grains. Parce que les grains sont plus humides, une récolte plus hâtive entraîne un risque accru de mauvaise conservation. Une gestion rigoureuse et une maîtrise des équipements de contrôle de la ventilation dans les silos sont des atouts pour maintenir la qualité des grains et ainsi répondre aux exigences de plus en plus élevées des acheteurs et des consommateurs.

Constat de perte

Plus de 85 % des lots de grains livrés sont trop humides, ce qui entraîne des coûts supplémentaires de 20 \$ la tonne pour le séchage. Si un silo contient 200 tonnes, le calcul est facile et très évocateur... Il faut donc bien connaître les principes de ventilation et de conservation des grains pour en maximiser le revenu.

Source : Résultat du calcul de la moyenne des tonnes d'orge brassicole ayant un taux d'humidité supérieur à 14 %, livrées par les producteurs du Québec en 2012 et 2013 chez Canada Maltage, Montréal.

Bien connaître la valeur de son silo et pratiquer les bonnes méthodes d'entreposage, dont une bonne conduite de la ventilation et l'utilisation appropriée des équipements, est d'une importance capitale afin de bénéficier des avantages de l'entreposage à la ferme et de maximiser la qualité des grains. Une bonne conservation permet également d'éviter les pertes économiques dues à un déclassement à un grade inférieur, à un coût de séchage supplémentaire lors de la livraison, ou encore à une diminution, voire la perte de prime pour une production de semences ou d'un marché de niche. Ces pertes peuvent facilement atteindre entre 20 \$ et 100 \$ la tonne (Jacques Dion, 2014, communication personnelle).

En premier lieu, ce guide pratique a pour but d'informer les producteurs agricoles qui produisent et entreposent des grains à la ferme. En second lieu, il vise à aider les conseillers et les agronomes à mieux maîtriser cette activité afin de répondre adéquatement aux besoins des producteurs. En ce sens, le contenu de ce guide apporte des connaissances favorisant une meilleure gestion de l'entreposage, de la ventilation et de la conservation des grains. L'information présentée aborde des principes et concepts clés qui guideront le producteur dans ses démarches pour conserver et maximiser la qualité des grains produits. Le guide comporte cinq chapitres : 1) les caractéristiques générales des grains; 2) la récolte et la mise en silo; 3) la ventilation; 4) la lutte contre les ravageurs et les moisissures; 5) la santé et la sécurité.

Bonne conduite de la ventilation et de la conservation des grains!

Chapitre 1

Caractéristiques générales des grains

Les grains sont des **organismes vivants** dont la finalité est de se développer à partir de l'embryon (germe) et de produire une nouvelle plante grâce à leurs réserves d'amidon. **À l'intérieur d'un silo**, il est souhaitable que les grains soient à **l'état de vie ralentie**. Il faut donc éviter certaines conditions de température et d'humidité qui amplifieraient la respiration ou qui amorceraient la germination.

1.1 Anatomie d'un grain

Un grain se compose de trois parties principales : l'**enveloppe ou péricarpe** (chez le grain nu), l'**endosperme** et l'**embryon** (germe) (Figure 1.1).

- **Enveloppe ou péricarpe** : protège le grain en réduisant les échanges avec l'extérieur. Cette enveloppe peut toutefois être facilement traversée par les microorganismes et les gaz.
- **Endosperme** : constitue l'organe de réserve où s'accumulent les glucides (amidon), les lipides et les protéines. Ces composants se retrouvent dans tous les grains, en proportions variables selon le type de grain. Ainsi les céréales ont des réserves de glucides alors que les grains oléagineux contiennent beaucoup de lipides (ex. : canola) et les grains protéagineux, beaucoup de protéines (ex. : soya).
- **Embryon (germe)** : communément appelé « germe », l'embryon est constitué du scutellum et du germe proprement dit. Le scutellum entoure le germe et constitue une zone d'échanges avec l'endosperme. Le germe est une véritable plante miniature avec la gemmule, la tigelle et la radicule.

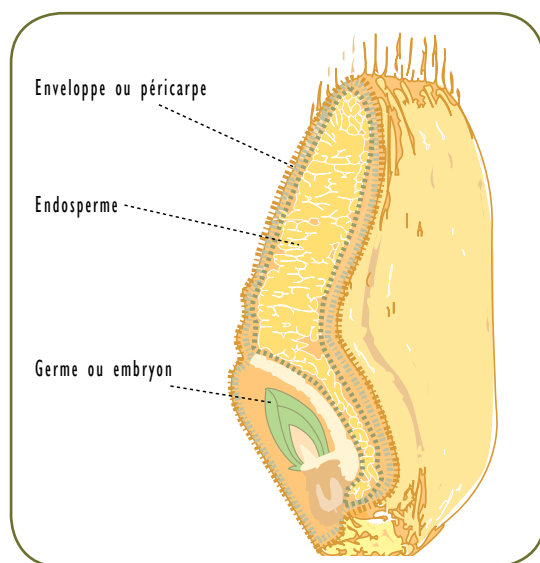


Figure 1.1 Coupe longitudinale d'un grain de blé

Source : *Stockage et conservation des grains à la ferme*, distribué par ARVALIS-Institut du végétal via son site : www.editions-arvalis.fr

1.2 Composition biochimique des grains

Les grains sont constitués d'**eau** et de **matière sèche**, laquelle contient des **minéraux** et des **matières organiques**. Les matières organiques sont les **glucides** (dont l'amidon et les fibres), les **lipides** et les **protéines** (dont le gluten). Bien qu'en infime quantité, l'eau est toujours présente dans les grains même lorsque ceux-ci semblent secs, car elle est indispensable à la vie des végétaux. Au-delà d'un certain seuil, la quantité d'eau contenue dans les grains peut engendrer des problèmes pour la conservation.

1.3 Activité vitale des grains

L'**activité vitale** des grains se manifeste par la **respiration** et la **germination**. Sitôt récoltés, les grains, encore métaboliquement actifs, ont une respiration élevée. Il est donc important que la ventilation débute rapidement. Lorsque les grains sont entreposés adéquatement, la réduction de la température et de l'humidité ambiantes crée des conditions défavorables à leur activité vitale. Ils passent alors à l'**état de vie ralentie** (phase de **dormance** et **respiration faible**). Si les conditions du milieu varient et deviennent favorables, les processus vitaux peuvent fonctionner à nouveau, d'où l'importance de contrôler la température et l'humidité à l'intérieur des silos (Figure 1.2).

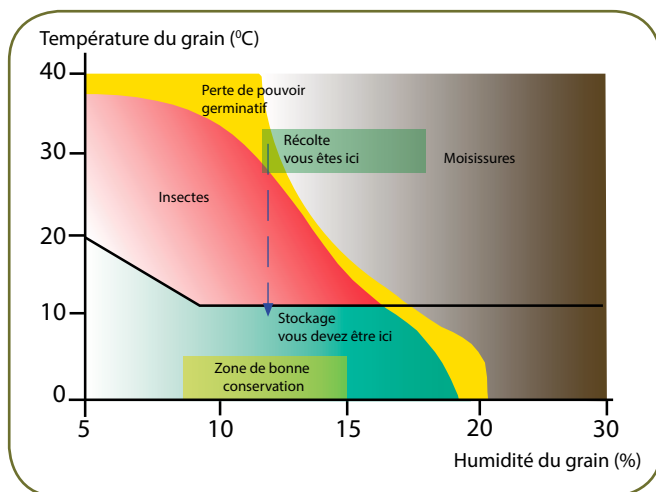


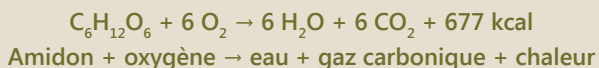
Figure 1.2 Diagramme de conservation des céréales

Adapté d'ARVALIS-Institut du végétal

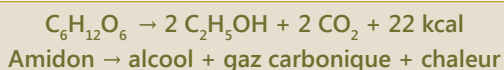
1.3.1 Respiration

Bien que variable en intensité, **la respiration a toujours lieu**, quelles que soient les conditions d'entreposage, que la faculté germinative des grains soit intacte ou non. L'intensité du phénomène est fonction de la température et de l'humidité du grain entreposé et de la quantité d'oxygène présent dans le silo. Durant la conservation, le but est de **limiter la respiration à une valeur aussi faible que possible**.

En **présence d'oxygène**, les glucides (sucres) issus de l'amidon se transforment en **eau**, en **gaz carbonique** et en **chaleur**. Quand l'air (oxygène) présent entre les grains est tout juste renouvelé (faible ventilation ou tirage naturel), la production de chaleur peut devenir très élevée et provoquer des zones de réchauffement importantes dans le silo, entraînant par ailleurs une perte de matière sèche.



En l'**absence d'oxygène**, le grain continue d'évoluer, mais une **fermentation** se produit. Les sucres sont transformés en **gaz carbonique** et en **alcool** avec un **léger dégagement de chaleur**. Dans ce cas, la perte de matière sèche est moins importante qu'en présence d'oxygène.



1.3.2 Germination

La germination est l'aboutissement naturel de l'activité vitale des grains. Elle est déclenchée en présence d'oxygène et dans des conditions optimales d'humidité et de température. La qualité des grains commence à s'altérer (dégradation de l'amidon, perte de matière sèche, etc.) dès que la germination est initiée. **La germination ne doit donc pas débiter pendant les périodes d'entreposage et de conservation.**



Figure 1.3 Exemple d'un grain germé
Source : Commission canadienne des grains

1.4 Propriétés bio-physico-chimiques

Trois propriétés majeures peuvent affecter la ventilation et la conservation des grains dans les structures d'entreposage : la **porosité de la masse de grains**, la **conductibilité thermique** des grains et l'**hygroscopie** des grains.

1.4.1 Porosité

Une masse de grains comprend un certain volume d'air entre les grains (**air interstitiel**), ce qui confère à la masse une certaine **porosité** propice au passage de courants d'air lors de la ventilation. La quantité d'espaces vides varie selon la forme des grains. **Plus les grains sont petits, moins la masse de grains laisse passer l'air et vice-versa.** Le volume d'air dans une masse de petits grains (canola, blé) représente environ 30 % du volume total. Dans une masse de grains plus gros (soya, maïs), le volume d'air est de 40-45 %.

1.4.2 Conductibilité thermique

Les grains ont une **conductibilité thermique faible**, si bien que la masse de grains agit comme un isolant thermique. **Les variations de température entre le centre et la surface de la masse de grains se produisent donc lentement.** Cela devient un avantage lorsque les grains sont bien refroidis puisqu'ils ont moins tendance à se réchauffer lors de l'entreposage. Par contre, s'ils sont récoltés assez humides, la ventilation et le séchage nécessitent une importante quantité d'énergie avant que le taux d'humidité désiré soit atteint.

1.4.3 Hygroscopie

Les grains sont des corps hygroscopiques, c'est-à-dire qu'ils peuvent échanger de l'eau sous forme de vapeur avec l'air ambiant selon l'humidité relative de celui-ci. Ils se comportent comme des **éponges**. **Pour une température donnée, il existe un équilibre entre l'humidité relative de l'air et l'humidité du grain.**

De nombreux travaux ont permis d'établir des **courbes d'équilibre air-grain spécifiques pour chaque espèce**. Ces courbes permettent de connaître l'humidité du grain qu'il est possible d'atteindre dans des conditions de température et d'humidité relative de l'air définies.

Les courbes d'équilibre correspondant aux différents types de grain sont regroupées à la fin du guide (annexe). La connaissance et l'utilisation de ces courbes sont nécessaires pour la compréhension de la conduite de la ventilation.

Lire la courbe d'équilibre – L'exemple du blé

Lorsque l'humidité relative de l'air est d'environ 74 % et que la température du grain est d'environ 30 °C, la teneur en eau du grain est à l'équilibre à 15 % (traits pointillés rouges, figure 1.4). Lors de journées où l'humidité relative est de 60 %, toujours à 30 °C, il serait possible, uniquement par la ventilation, d'abaisser l'humidité du grain à 13 % (traits pointillés bleus)

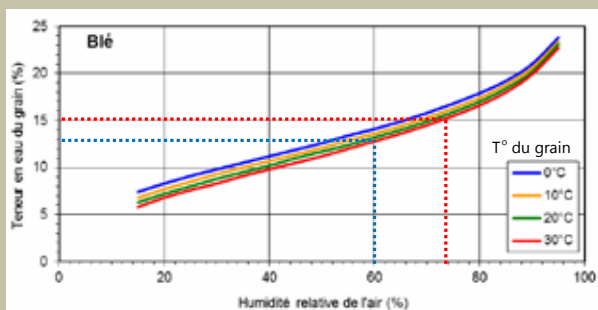


Figure 1.4 Courbe d'équilibre air-blé

Un calculateur excel (*Equilibrium Moisture Content Calculator*) a été développé par l'Université d'Arkansas (États-Unis). Il permet d'obtenir une lecture directe selon le type de grain, l'humidité relative de l'air, l'humidité actuelle du grain et l'humidité finale désirée. Ce calculateur peut remplacer les courbes d'équilibre air-grain et est disponible à l'adresse suivante : <http://extension.missouri.edu/search-results.html?cx=011326408287753474406:fpzxwyo07ji&cof=FORID%3A11&ie=UTF-8&q=know+humidity+emc&sa=Search>.

1.5 Caractérisation des grains

Les grains sont caractérisés le plus fréquemment par le **poids de mille grains** (PMG) et le **poids spécifique**. Ces deux caractéristiques sont différentes d'un type de grain à l'autre.

1.5.1 Poids de mille grains

Le poids de mille grains (PMG) est la **masse mesurée en grammes de 1 000 grains choisis au hasard dans un lot**. Cette mesure agronomique est un indice de la qualité de la formation des grains. Il constitue une des composantes du rendement de la culture tout en permettant de déterminer si les grains ont été conservés dans de bonnes conditions. Une baisse du PMG entre la mise en silo et la livraison indique une détérioration de la matière sèche pendant l'entreposage.

1.5.2 Poids spécifique

Le poids spécifique est le **poids d'un demi-litre de grains** mesuré avec un équipement spécialisé (Figure 1.5) et exprimé en kilogrammes par hectolitre (kg/hl). Cette mesure dépend de la forme et du poids des grains.



Figure 1.5 Entonnoir Cox et contenant de 0,5 litre pour mesurer le poids spécifique

Source : A. Brégard

Le PMG et le poids spécifique sont deux caractéristiques évaluées lors des essais de variétés effectués par les **Ateliers céréales, maïs et oléoprotéagineux des Réseaux grandes cultures du Québec** (RGCQ). Le RGCQ publie chaque année un guide contenant les évaluations des cultivars et des hybrides tout en indiquant le PMG et le poids spécifique de chacun d'eux. Le guide du RGCQ est disponible sur le site web du CÉROM (Centre de recherche sur les grains) : www.cerom.qc.ca

1.6 Facteurs d'altération des grains

À maturation dans le champ et en cours de conservation dans le silo, les grains peuvent subir différentes altérations provoquées par des agents de diverses origines et amplifiées par trois principaux facteurs : la **durée d'entreposage**, l'**humidité** et la **température**. Les altérations possibles sont de types **mécaniques** (détérioration de l'enveloppe des grains ou bris des grains), **biologiques** (infestation par des insectes, rongeurs), **biochimiques** (brunissement), **enzymatiques** (dégradation de l'amidon, rancissement des lipides), **microbiologiques** (moisissures, mycotoxines).

L'ensemble de ces altérations modifie la qualité des grains entreposés. Au moment de la commercialisation, différents critères de qualité peuvent être évalués tels que les caractéristiques physiques du grain (teneur en eau, température, poids spécifique, taux d'impuretés, grains étrangers, grains endommagés), l'infestation par les prédateurs (insectes) et les microorganismes, ainsi que différents paramètres qui varient selon l'utilisation du grain (qualités alimentaire, nutritionnelle, technologique, germinative). La qualité des grains est déterminée par des analyses, mesures et tests de laboratoire très diversifiés.

Chapitre 2 Récolte et mise en silo

Pour favoriser une conservation optimale des grains, il est souhaitable que ceux-ci soit **propres, entiers, secs**, à la **bonne température** et entreposés dans un **environnement propre et étanche**. Pour répondre à ces critères, différents éléments sont à considérer.

2.1 Ajustement de la moissonneuse-batteuse

À la sortie de la moissonneuse-batteuse, le grain doit contenir le moins possible d'impuretés. Un bon **ajustement** de la moissonneuse-batteuse peut permettre un bon nettoyage tout en préservant l'**intégrité** des grains. La plupart du temps, les impuretés présentes dans le grain sont des grains brisés, des grains germés ou des débris divers (pailles, rachis, gousses, etc.).

Pour bien ajuster la moissonneuse-batteuse, il est fortement recommandé de se référer, en premier lieu, au **manuel de l'opérateur** afin d'identifier les réglages initiaux suggérés pour la culture récoltée. De façon générale, voici les points importants à vérifier :

- ajuster l'**organe de battage** (vitesse de rotation du batteur ou rotor, écartement du batteur/contre-batteur ou du rotor/contre-rotor);
- ajuster les **organes de nettoyage** (puissance de la ventilation, ouverture de la grille supérieure dite « grille à otons » [à résidus], ouverture des grilles inférieures dites « grilles à grains »);
- vérifier la **vitesse d'avancement** de la moissonneuse-batteuse.

Après avoir effectué les réglages initiaux, il est impératif de les **valider** en début de récolte par l'observation de ce qui est rejeté par la moissonneuse-batteuse. Selon la quantité de rejets observée, de nouveaux réglages pourront être réalisés afin de réduire encore davantage les pertes.

Lors de la récolte, les réglages de la moissonneuse-batteuse doivent être effectués en tenant compte de divers facteurs tels que les **conditions climatiques**, l'**état de la culture**, les **conditions de récolte** et le **type de machinerie**.

Des réglages additionnels peuvent être nécessaires lorsque les grains présentent certains **symptômes de maladie**. Souvent, ces réglages permettent de récolter seulement les grains sains, ce qui rend la récolte commercialisable.

La moissonneuse-batteuse et la fusariose

Lorsque les grains sont affectés par la **fusariose**, l'augmentation de la puissance de ventilation peut permettre d'éliminer les grains fusariés (plus légers) et ainsi de **diminuer le niveau de toxines dans le lot de grains**. Comme cette méthode augmente considérablement le niveau d'inoculum au champ, une alternative consiste à récolter le grain normalement et à le cribler après la récolte pour éliminer les grains fusariés et les déchets de récolte.

2.2 Vérification du taux d'humidité à la récolte

Dans le but d'optimiser la qualité des grains récoltés, il est suggéré de les battre dès les **premiers signes de maturité**, c'est-à-dire le plus **hâtivement** possible. Toutefois, cette pratique exige plus d'attention lors de la mise en silo puisque le grain, ayant tendance à être plus **humide**, risque davantage de se dégrader. Une bonne gestion de la ventilation du silo est alors primordiale. À l'opposé, une récolte effectuée **tardivement** demande moins de gestion lors de l'entreposage, mais augmente les risques de **pertes au champ**, de germination sur épi et de diminution du pouvoir germinatif.

Les taux d'humidité recommandés à la récolte et durant l'entreposage pour différentes espèces sont présentés au tableau 2.1.

Tableau 2.1 Taux d'humidité (%) recommandés à la récolte et à l'entreposage

Type de grain	Récolte	Entreposage
Avoine		
Blé	14 - 18 %	13 - 14 %
Orge		
Canola	10 - 13 %	8 - 10 %
Maïs	20 - 28 %	12,5 - 15 %
Soya	Moins de 18 %	13 - 13,5 %

Source : N. St-Pierre

Comment savoir si les céréales sont prêtes à battre?

Élisabeth Vachon, agronome à la meunerie Les Moulins de Soulanges, a réalisé avec quelques collaborateurs une capsule vidéo pour aider à reconnaître la maturité physiologique du blé et à déterminer le bon moment pour le récolter. Par exemple, un **simple test avec du colorant alimentaire** permet de vérifier s'il y a encore de la translocation des tiges vers les épis. Ce test simple peut aider à décider de la date de récolte. La capsule vidéo, d'une durée de 5 minutes, est disponible à l'adresse suivante : www.moulinsdesoulanges.com/fr/accueil-2/52-videos/289-quand-doit-on-recolter-son-ble

2.3 Nettoyage du grain après le battage

Après le battage, il peut être nécessaire de **poursuivre le nettoyage** pour retirer le maximum d'impuretés du grain récolté (grains brisés, grains germés, grains non sains, pailles, rachis, gousses, etc.). Certains producteurs effectuent un nettoyage du grain à l'aide de **nettoyeurs-séparateurs** et de **tables à gravité**. Il est aussi possible de confier cette tâche aux exploitants des silos-élévateurs qui possèdent les équipements nécessaires. Ces techniques peuvent aussi permettre d'améliorer le classement d'un lot de grains en réduisant par exemple son niveau de toxines.

Le nettoyage du grain en production biologique

En production biologique, afin de rejeter le minimum de graines de mauvaises herbes au champ lors de la récolte, le nettoyage effectué par la moissonneuse-batteuse est réduit au minimum. Cela rend indispensable un nettoyage du grain avant la mise en silo.

Les impuretés sont souvent plus humides que le grain. Leur présence prolonge le temps nécessaire pour assécher la masse de grains. De plus, une proportion notable de ces impuretés tend à s'accumuler au centre du silo lors du remplissage. Le contenu de celui-ci se densifie, limitant ensuite le passage de l'air au centre du silo lors de la ventilation. En présence de ce phénomène, si l'équipement de manutention le

permet, il est possible de vidanger partiellement le silo pour extraire les grains situés au centre puisque cette zone est la première à être vidangée. Les grains retirés sont alors nettoyés et retournés dans le silo.

De l'information sur les différents nettoyeurs est disponible à l'adresse suivante : www.fao.org/wairdocs/x5163f/X5163f06.htm

2.4 Préparation du silo

Avant le remplissage d'un silo, **un bon nettoyage est impératif!** Voici les étapes à suivre :

- aspirer la **poussière** et les **impuretés** présentes sur le plancher et dans les fissures des cloisons du silo;
- obturer les **trous**, les **fissures** et les **lézardes** dans le plancher de béton pour éviter qu'ils ne deviennent des points d'entrée pour les ravageurs;
- nettoyer sous les **grilles de plancher**, si possible;
- pulvériser un **insecticide** de contact recommandé sur le sol et les cloisons du silo s'il y a déjà eu des infestations;
- nettoyer les **grilles du ventilateur** ainsi que celles des sorties d'air.



Figure 2.1 Exemple de plancher sale

Source : N. St-Pierre

2.5 Mise en silo des grains

Voici quelques trucs pratiques pour la mise en silo :

- faire fonctionner les **équipements de remplissage** (vis, élévateurs, etc.) à **pleine capacité** pour prévenir les grains cassés;
- mettre le **ventilateur en fonction** dès que possible (généralement dès qu'il y a **1 mètre de grains**) pour abaisser la température du grain;
- dès la mise en silo et fréquemment par la suite, vérifier la **température** et l'**humidité** de l'air et du grain avec les bons équipements (voir sections 2.6 et 2.7).

À la fin du remplissage du silo, pour maximiser la ventilation du grain, **la surface de la masse de grains doit être égalisée** avec un éparpilleur ou tout simplement à la main avec une pelle. Laissé intact, le cône qui se forme naturellement lors du remplissage nuirait au processus tout comme un silo rempli à pleine capacité. En présence d'un cône, le temps requis pour uniformiser la température et l'humidité de la masse de grains est 1,5 fois plus long et le temps peut pratiquement doubler (1,8 fois) lorsque le silo est rempli complètement (Figure 2.2). **Plus le cône est important, plus il est difficile de bien ventiler.**

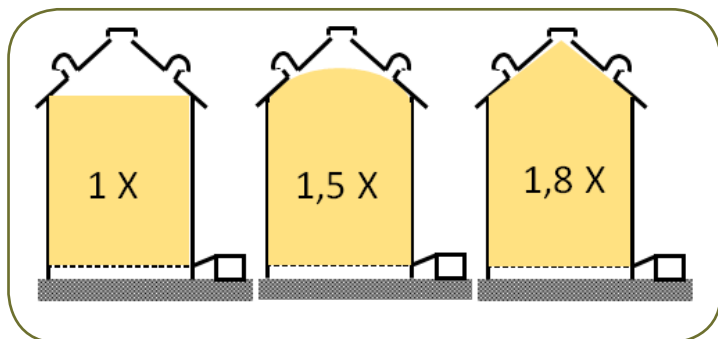


Figure 2.2 Effet de l'égalisation de la surface du grain sur le temps de ventilation et de séchage
Source : N. St-Pierre

Les éparpilleurs

Il existe plusieurs types d'éparpilleurs : des **éparpilleurs fixes** (de type cône inversé ou à disperseur) et des **éparpilleurs rotatifs** (actionnés par le grain par gravité ou électriques) (Figure 2.3).



Figure 2.3 Éparpilleur rotatif installé au haut du silo
Source : www.brockgrain.com

L'air prend toujours le chemin le plus court pour sortir. Lorsque la surface de la masse de grains n'est pas uniforme, il se forme une zone (en rouge, figure 2.4) où le grain peut chauffer.

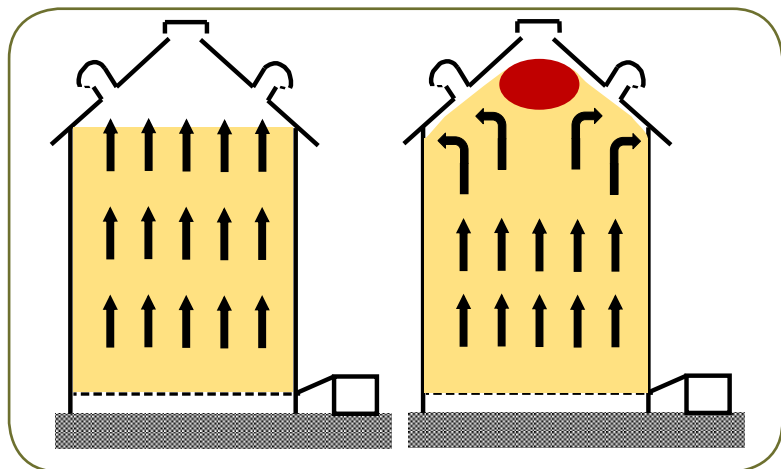


Figure 2.4 Circulation de l'air dans un silo sans ou avec zone d'échauffement du grain (en rouge)

Source : N. St-Pierre

2.6 Mesure de la température et de l'humidité de l'air extérieur

La **température** et l'**humidité** de l'**air extérieur** doivent être mesurées pour mener une bonne conduite de la ventilation. Avec une **station météo portable de base** (Figure 2.5), ces informations sont à la portée de tous. Un tel appareil s'achète à peu de frais dans les magasins à grande surface ou les quincailleries.



Figure 2.5 Exemples de stations météo portables de base

Sources : N. St-Pierre et V. Bélanger

Deux ennemis possibles de la conservation du grain : la température et l'humidité!

La température et l'humidité du grain doivent absolument être surveillées dès la mise en silo. Lorsque ces paramètres sont trop élevés, la respiration augmente et risque d'affecter la qualité du grain. Il est incontournable de posséder les outils de base pour mesurer la température et l'humidité.

2.7 Mesure de l'humidité et de la température du grain

Des **équipements plus spécialisés** sont nécessaires pour mesurer la **température** et l'**humidité du grain**.

2.7.1 Humidimètres

Les **humidimètres** sont les appareils désignés pour mesurer l'humidité du grain. Les deux modèles les plus précis sont les modèles **Labtronics 919** et **Shore 920**.

Le modèle **Labtronics 919** (Figure 2.6) est le modèle le plus couramment utilisé par les acheteurs de grain et les agences gouvernementales qui réglementent les grains. Avec ce modèle, la mesure du taux d'humidité s'effectue à partir d'une quantité de grains pesée (variable en fonction du type de grain) et d'une **charte** fournie avec l'appareil. La charte correspondant à chaque type de grain est aussi disponible sur le site de la Commission canadienne des grains (www.grainscanada.gc.ca/guides-guides/moisture-teneur/table-tableau/mctm-mtct-fra.htm#a). Pour déterminer le taux d'humidité, il est nécessaire de connaître la température du grain afin de se référer à la bonne charte.

Bien choisir son humidimètre

Un bon humidimètre indique le taux d'humidité du grain à **une décimale près**, par exemple 14,2 %. La mesure du taux d'humidité s'effectue à partir d'une quantité de grains pesée. L'humidité est déterminée à l'aide de **chartes** qui accompagnent chaque humidimètre.



Figure 2.6 Humidimètre à grain Labtronics 919

Source : V. Bélanger

L'humidimètre **Shore 920** mesure aussi l'humidité du grain à partir d'une quantité de grains pesée. Ce modèle portable comporte une balance pour la pesée (Figure 2.7) et **24 calibrations** correspondant aux types de grain les plus communs. Lors de l'achat, il faut s'assurer que l'appareil contient bien les calibrations en lien avec les chartes canadiennes, lesquelles sont différentes de celles des États-Unis.



Figure 2.7 Humidimètre à grain Shore 920

Source : www.moisturetesters.com

Il existe des humidimètres moins perfectionnés, mais ils ne sont utiles que pour évaluer un ordre de grandeur du taux d'humidité. Ils ne sont pas assez précis pour fournir une mesure exacte de l'humidité du grain à la récolte ou au moment de la livraison.

2.7.2 Sondes de température

Pour mesurer la température du grain, des **sondes de température** peuvent être enfoncées à différents endroits dans la masse de grains au moment souhaité. Des sondes de température fixes, qui transmettent automatiquement les données à un ordinateur, peuvent aussi être installées dans le silo (voir section 2.7.4).

Il est également possible de mesurer la température en prélevant des échantillons représentatifs de la masse de grains (voir section suivante) et en utilisant un thermomètre portatif électronique.

2.7.3 Échantillonnage des grains

La **représentativité des échantillons de grains** utilisés pour déterminer la température et l'humidité de la masse de grains est primordiale pour obtenir une mesure la plus juste possible de ces paramètres aux endroits désirés dans le silo.

Au minimum, il est conseillé de prélever un échantillon dans le **bas du silo** (à la porte, si possible) et un échantillon dans le **haut** de celui-ci, au centre de la masse de grains. L'idéal est de prélever un troisième échantillon (dans le haut au bord des parois) pour pouvoir comparer les résultats. **L'uniformité de la température et de l'humidité dans le silo est confirmée lorsque les mesures entre les échantillons (bas et haut du silo) sont similaires.** Le prélèvement d'un échantillon s'effectue de préférence à l'aide d'une **sonde à grain** (Figure 2.8).



Figure 2.8 Exemple de sonde à grain (vue d'ensemble et gros plan)

Source : N. St-Pierre

Il n'existe aucun moyen de prélever du grain en plein centre du silo. Toutefois, lors d'un déplacement de grain entre deux silos ou lors de la vidange à la livraison, il est possible de prélever des échantillons à différents moments et de reconstituer un **échantillon composite** très représentatif de la masse de grains. Plus de détails sur ce type d'échantillonnage sont disponibles sur le site de la Commission canadienne des grains (www.grainscanada.gc.ca/guides-guides/rs-er/trs-per-fra.htm#b).

Il peut être souhaitable de contacter l'acheteur pour connaître ses préférences en matière d'échantillonnage afin d'éviter les controverses.

2.7.4 Équipements automatisés

Certains **équipements automatisés** permettent des lectures préprogrammées de la température et de l'humidité à l'intérieur du silo. Ces informations sont directement transmises à un **ordinateur** ou à un téléphone intelligent. Il existe même des automates qui arrêtent le ventilateur à un taux d'humidité relative donné.

Par exemple, le dispositif de surveillance des températures est constitué de 4 câbles capteurs (A à D) suspendus à partir du toit (Figure 2.9). Les câbles A, B et D sont situés à mi-chemin entre la paroi et le centre du silo, tandis que le câble C est suspendu près du centre.

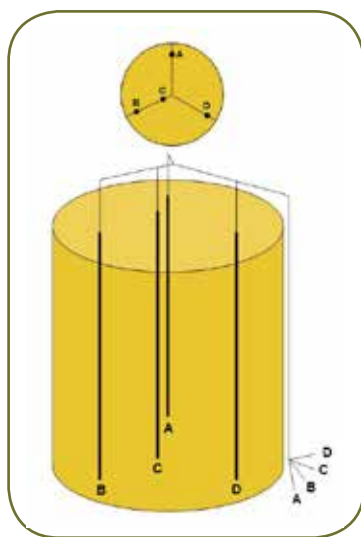


Figure 2.9 Dispositif de surveillance des températures par câbles dans un silo

Source : A. Brégard

Chapitre 3 Ventilation des grains

3.1 Objectifs de la ventilation

Des grains de blé entreposés dans un silo à 30 °C et à 18 % d'humidité ne se conserveront que quelques jours (environ 5 à 8 jours) en l'absence de ventilation.

Durant l'entreposage des grains à la ferme, l'objectif premier est de **préserver la qualité du grain**, et ce, jusqu'au moment de la commercialisation. Le moyen d'y parvenir consiste à gérer efficacement la ventilation afin de

contrôler la température et l'humidité des grains, car des grains chauds et humides se dégradent rapidement. **À la mise en silo, la ventilation permet de refroidir la masse de grains.** Par la suite, la ventilation est nécessaire pour atteindre et maintenir un bon conditionnement des grains (température et humidité contrôlées). Pour se conserver sur une période prolongée, les grains doivent être amenés à une température entre 0 et 5 °C et à un taux d'humidité approprié (voir tableau 2.1). Ces conditions limiteront l'activité biologique des grains, diminuant ainsi la production d'humidité et de chaleur.

L'erreur la plus fréquente commise à la suite de la mise en silo est de considérer le matériel entreposé comme un matériel statique qui ne réagit pas avec l'environnement.

À plus de 40 °C, les grains perdent leur capacité germinative et, à plus de 60 °C, il y a altération de l'amidon.

Souvent, dès la mise en silo, une ventilation est démarrée en continu et se poursuit pendant plusieurs semaines. Or il est probable qu'au cours de cette période, des jours ensoleillés alternent avec des jours pluvieux, créant des variations importantes de l'humidité de l'air. La propulsion de cet air à l'intérieur du silo y provoque une fluctuation de l'humidité de l'air. Cette

Une diminution de 5 °C réduit de moitié l'intensité de la respiration.

fluctuation engendre à son tour une variation du taux d'humidité du grain qui se traduit par le phénomène appelé l'**effet « yoyo »**. Cet effet n'est pas souhaitable! Pour l'éviter et réussir l'entreposage et la conservation des grains, une conduite avisée de la ventilation est la clé de la réussite!

3.2 Cycle de ventilation

Afin d'amener la masse de grains à des conditions d'entreposage, la ventilation doit se faire par **cycles** ou **paliers de ventilation**. Lors de la mise en marche du système de ventilation, une **zone de transition** (front de refroidissement) se forme et migre vers le haut du silo (Figure 3.1). **Un cycle est complété lorsque cette zone a terminé sa progression, les conditions étant alors uniformes dans la totalité de la masse de grains.**

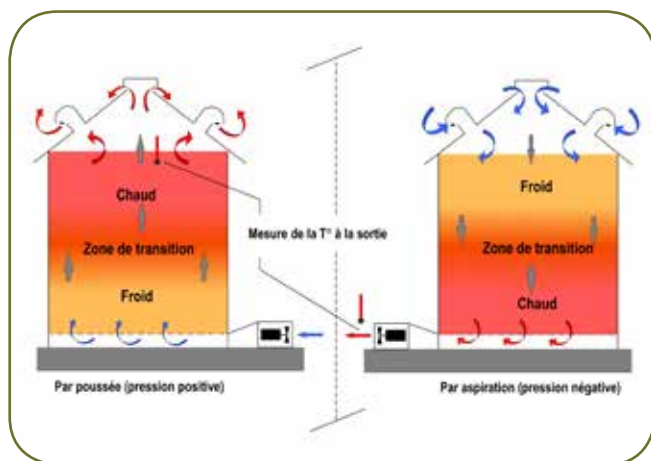


Figure 3.1 Progression du front de refroidissement selon que la ventilation se fait par le bas ou par le haut

Source : N. St-Pierre

Temps requis pour compléter un cycle de ventilation

Afin d'estimer le temps nécessaire pour qu'un front de refroidissement franchisse la masse de grains, donc pour réaliser un cycle de ventilation, on utilise la formule suivante :

Temps (heures) =

$15 / \text{débit du ventilateur (cfm/bu}^3)$
ou $195 / \text{débit du ventilateur (litres/seconde/m}^3)$

1. cfm/bu : pieds cubes par minute/boisseau

On arrête la ventilation lorsque la température et l'humidité sont uniformes dans la totalité de la masse de grains, c'est-à-dire lorsque les conditions qui prévalent dans la couche supérieure sont voisines de celles de la couche inférieure. Lorsque la ventilation est interrompue prématurément sans laisser le temps à la zone de transition de compléter sa traversée de la masse de grains, le grain localisé à l'extrémité de celle-ci

reste chaud et humide, et s'expose à une altération potentielle. Toutefois, il est possible d'interrompre la ventilation pendant de courtes périodes (plusieurs heures) et de la redémarrer lorsque les conditions climatiques sont plus profitables pour assécher la masse de grains (voir courbes d'équilibre air-grain en annexe).

Les bonnes conditions pour assécher le grain

Afin d'abaisser l'humidité du grain, il est conseillé de ventiler par temps sec, c'est-à-dire lorsque l'humidité relative est inférieure à 70 %. Lorsque l'air extérieur n'est pas assez sec, l'utilisation d'une source de chaleur peut être nécessaire pour en abaisser le taux d'humidité avant de l'introduire dans le silo.



Figure 3.2 Exemple de source de chaleur externe : radiateur à infra-rouge

Source : www.masterindustrialproducts.com

3.3 Choix d'un système de ventilation

En premier lieu il est important d'évaluer le **débit total d'air nécessaire** pour ventiler la masse de grains. Celui-ci est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Débit total d'air (cfm)} = \text{volume de grain entreposé (bu)} \times \text{débit unitaire de ventilation}^1 \text{ (cfm/bu)}$$

cfm : pieds cubes par minute

bu : boisseaux

¹ Voir Conversions utiles et figure 3.5

À titre d'exemple, pour ventiler un silo contenant 10 000 boisseaux (bu) de blé à un débit unitaire de 0,5 cfm/bu, le débit d'air théorique que devrait fournir le ventilateur serait de 5 000 cfm. Une fois le débit d'air total calculé, il faut considérer l'effet de la pression statique générée sous le plancher du silo. **La pression statique est la résistance du silo à l'écoulement de l'air.** Elle influence l'efficacité du ventilateur, réduisant ainsi le débit d'air

général. Plusieurs facteurs peuvent augmenter la pression statique. En voici quelques-uns.

- **Taille des grains** : des grains de petite taille (ex. : blé) occasionnent plus de friction que les gros grains (ex. : maïs-grain). À titre de comparaison, la pression statique générée lors de la ventilation d'une masse de grains de blé est deux fois plus élevée que dans le cas du maïs-grain pour un même volume entreposé.
- **Débit unitaire** : en augmentant le débit unitaire de ventilation (cfm/bu), on augmente automatiquement la pression statique dans le système. Cette relation n'est pas linéaire, mais exponentielle. Doubler le débit unitaire de ventilation peut générer de deux à trois fois plus de pression sous le plancher.
- **Épaisseur de la masse de grains** : l'ajout de grains dans un silo génère de la pression. Plus le silo est haut, plus la pression statique augmente. Comme pour le débit unitaire, cette augmentation est exponentielle. Ainsi, doubler l'épaisseur de la masse de grains peut quadrupler la pression (Figure 3.6).

Il est crucial de mesurer la pression statique afin de maximiser l'efficacité de la ventilation. Par exemple, un ventilateur axial d'une force de 5 HP (selon la charte du fabricant) utilisé pour un silo contenant 10 000 bu de blé génèrera un débit à vide d'environ 12 500 cfm (variable selon le fournisseur). Sous l'effet cumulé des facteurs affectant la pression statique, l'efficacité de ce ventilateur diminuera. Ainsi, si une pression de 4 pouces de colonne d'eau s'exerce sous le plancher (voir encart), le ventilateur réduira son débit d'air total de plus de la moitié, ce qui le ramènera à près de 5 300 cfm, soit tout juste au débit unitaire de 0,5 cfm/bu nécessaire pour ventiler la masse de grains. Si la pression monte à plus de 4 pouces de colonne d'eau, le ventilateur ne sera plus en mesure de fournir ce débit. Le temps alors requis pour ventiler la totalité de la masse de grains devra alors être augmenté, sans quoi les derniers pieds de grains entreposés dans le silo risquent de se dégrader.

Mesurer la pression statique en pouces de colonne d'eau

La pression statique dans les installations d'entreposage est souvent exprimée en pouces de colonne d'eau (« pouces CE » ou « inH₂O »). Cette mesure est obtenue en calculant la distance que parcourt une colonne d'eau dans un tube replié (Figure 3.3). Sur le marché, il existe des manomètres déjà calibrés en pouces de colonne d'eau. On les installe sous le plancher perforé du silo (Figure 3.4).

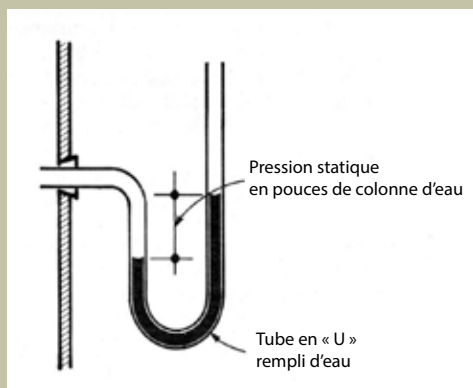


Figure 3.3 Exemple de manomètre calibré en pouces de colonne d'eau de fabrication maison
Adapté de Friesen



Figure 3.4 Exemple de manomètre calibré en pouces de colonne d'eau pour mesurer la pression statique sous le plancher

Source : N. St-Pierre

3.3.1 Débits d'air recommandés

La vitesse à laquelle l'air traverse la masse de grains dépend du débit d'air unitaire généré par le ventilateur. **Plus le débit est faible, plus il faudra de temps pour ventiler adéquatement la masse de grains.** Pour chaque mode de ventilation, il existe une fourchette de débits unitaires suggérés (Figure 3.5). Lors d'un séchage à l'air ambiant ([voir section 3.6](#)), il est recommandé de ventiler avec des débits unitaires supérieurs à 1 cfm/bu afin d'offrir les conditions nécessaires pour assécher le grain.

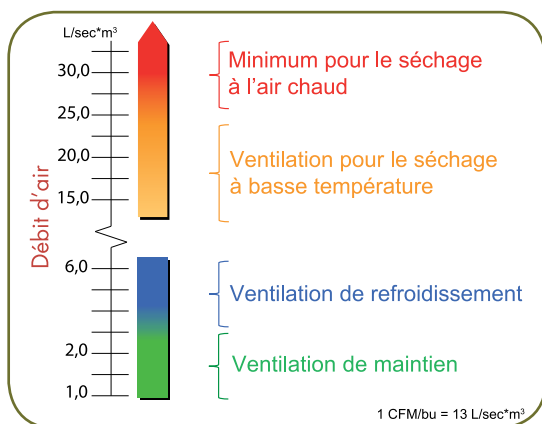


Figure 3.5 Débits d'air recommandés pour la ventilation

Source : N. St-Pierre

Le système de ventilation et les besoins en équipement qui y sont associés dépendent du choix du débit unitaire. **En influençant la pression statique générée sous le plancher du silo, le débit unitaire influence inévitablement l'efficacité de la ventilation.** Par exemple, une erreur souvent commise est de modifier le silo sans modifier le système de ventilation. En effet, si on ajoute une section supplémentaire à un silo, la quantité de grains ajoutée fait augmenter la pression statique, ce qui peut affecter le débit unitaire désiré (Figures 3.6 et 3.7). La force du ventilateur doit alors être augmentée pour générer le débit requis (Figure 3.8).

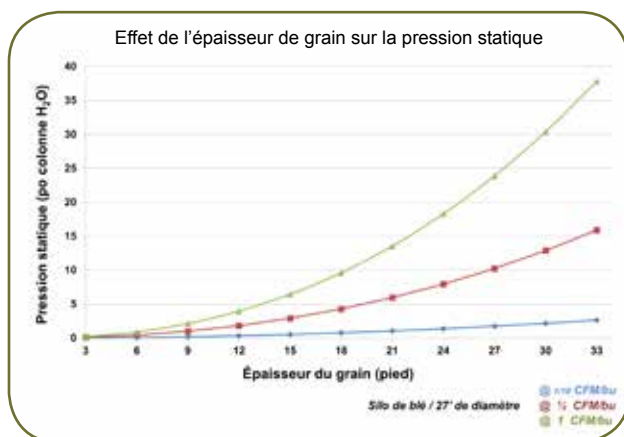


Figure 3.6 Relation entre l'épaisseur de grain et la pression statique

Source : N. St-Pierre

Effet de l'épaisseur de grain sur les HP nécessaire

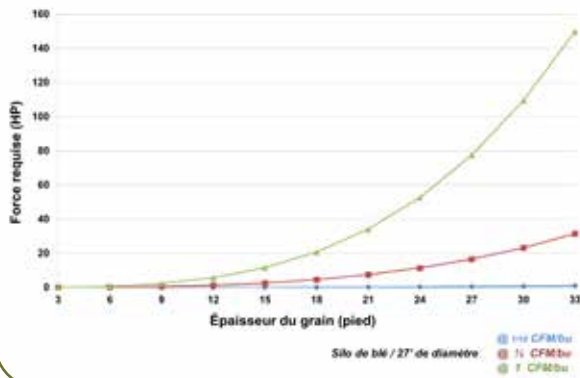


Figure 3.7 Relation entre l'épaisseur de grain et la force requise pour les ventilateurs

Source : N. St-Pierre

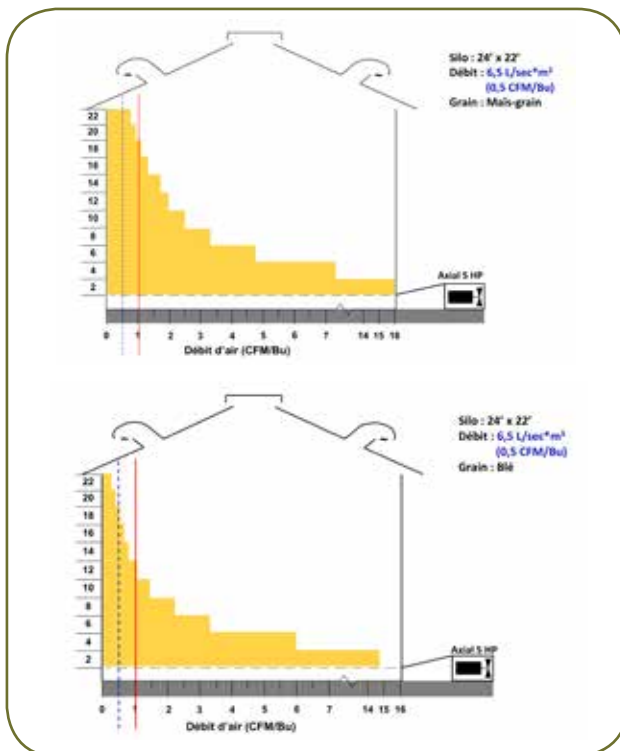


Figure 3.8 Relations entre l'épaisseur de grain et le débit d'air du ventilateur

Source : N. St-Pierre

3.3.2 Autres éléments importants

Deux autres éléments importants à considérer dans une structure d'entreposage sont les sorties d'air et le type de plancher. Il est très important d'évaluer le besoin en surface de sortie en considérant la situation la plus restrictive, c'est-à-dire celle où le débit sera le plus élevé. Par ailleurs, les sorties d'air doivent toujours correspondre au débit généré par la ventilation afin d'éviter tout refoulement d'air et, du même coup, la production de condensation sur les parois internes du toit. **La norme concernant les sorties d'air est de 1 pi^2 par 1 000 à 1 500 cfm** (situation d'une ventilation en **pression positive**, voir section 3.4) **ou 1 pi^2 par 800 à 1 000 cfm** (situation d'une ventilation en **pression négative**). En ce qui concerne l'élément de transition entre le ventilateur et le silo, il faut s'assurer d'avoir un angle de 30° ou moins. Par ailleurs, un plancher perforé sur sa totalité et adapté aux grains entreposés est préférable. Il existe diverses gammes de plancher offrant des ouvertures totalisant jusqu'à 20 % de leur surface. Toute restriction additionnelle risque d'influencer à la hausse la pression statique exercée sous le plancher.



Figure 3.9 Exemple de sortie d'air sur le toit du silo et exemple de plancher perforé

Source : N. St-Pierre

3.4 Types de ventilation

Le principe de la ventilation est de propulser de l'air dans la masse de grains. Généré par le ventilateur, cet air se déplace soit de bas en haut (**pression positive**), soit de haut en bas (**pression négative**) (Figure 3.10).

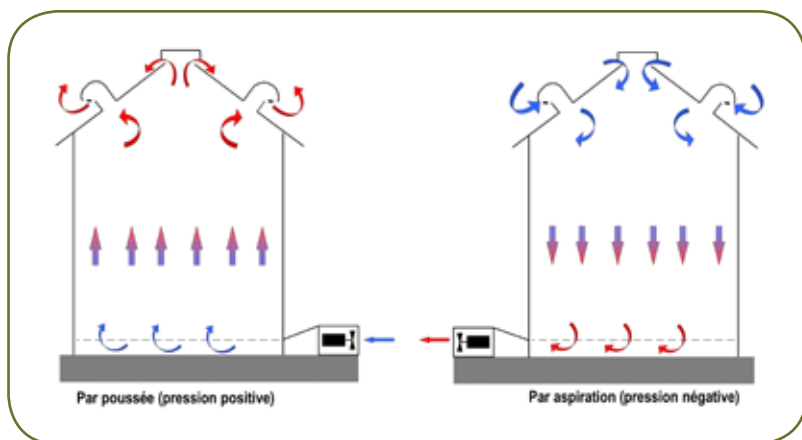


Figure 3.10 Les deux types de ventilation (pression positive ou négative)

Source : N. St-Pierre

3.4.1 Ventilation par poussée (pression positive)

Avantages :

- l'air se réchauffe en passant sur le moteur du ventilateur et son pouvoir asséchant est augmenté;
- on peut ajouter du grain;
- il est facile de contrôler la température dans la partie supérieure du silo;
- l'air chaud sous le toit est chassé vers l'extérieur.

Inconvénients :

- l'air au contact du grain s'humidifie et cette humidité se condense sur l'intérieur du toit;
- à moins d'installer un système de mesure de température électronique, il faut monter dans le silo pour mesurer la température.

3.4.2 Ventilation par aspiration (pression négative)

Avantages :

- permet de ventiler des silos très hauts;
- pas de condensation sous le toit;
- l'air qui entre est plus froid car il n'est pas réchauffé par le moteur;
- meilleur contrôle des insectes en période estivale.

Inconvénients :

- l'air ne peut pas être asséché avant d'entrer dans le silo;
- on ne peut pas ajouter de grain tant que le cycle de ventilation est en cours;
- la poussière s'accumule en bas du silo et peut boucher les perforations des gaines de ventilation.

Il n'existe pas de mauvais choix quant au type de ventilation (par aspiration ou par poussée). Si ça ne marche pas, cela veut dire que le type de ventilation choisi est mal adapté au silo ou au type de grain.

3.5 Types de ventilateurs

Pour satisfaire le besoin en ventilation d'une installation d'entreposage, il existe une large gamme de ventilateurs sur le marché. Ils peuvent être regroupés en trois catégories : les **ventilateurs axiaux ou hélicoïdaux**, les **ventilateurs centrifuges-axiaux** et les **ventilateurs centrifuges ou radiaux** (à haute et à basse vitesses) (Figure 3.11).

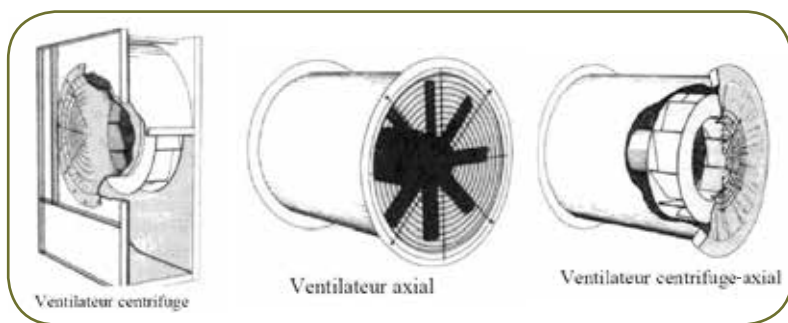


Figure 3.11 Différents types de ventilateurs

Source : S. Fortin, CÉROM, bulletin technique 5.05

3.5.1 Ventilateur axial ou hélicoïdal

Le ventilateur axial est considéré comme étant le plus simple. Il aspire de l'air et le propulse parallèlement à l'axe de rotation. Ce type de ventilateur fournit des débits importants, mais ne tolère pas la pression.

Il y a peu de limite en ce qui concerne les débits pouvant être atteints par ce type de ventilateur. La vitesse de rotation est souvent de 3 450 rpm (rotations par minute).



Figure 3.12 Ventilateur axial ou hélicoïdal

Source : N. St-Pierre

En résumé, ce type de ventilateur :

- est d'un fonctionnement simple et peu coûteux;
- est souvent retenu pour la ventilation de grains secs;
- offre de bons débits;
- est généralement utilisé à des pressions inférieures à 4 ou 5 pouces de colonne d'eau;
- est par contre très bruyant.

3.5.2 Ventilateur centrifuge-axial (« in-line »)

Le ventilateur centrifuge-axial est considéré comme faisant partie d'une gamme intermédiaire ou hybride. Il aspire son air parallèlement à l'axe de rotation et le propulse par force centrifuge, toujours dans ce même axe de rotation. Ce type de ventilateur fournit des débits intermédiaires et tolère davantage la pression qu'un ventilateur axial.

En résumé, ce type de ventilateur :

- a une efficacité intéressante (pression intermédiaire jusqu'à 7 ou 8 pouces de colonne d'eau);
- est plus silencieux que le ventilateur axial;
- est par contre plus coûteux qu'un ventilateur axial, mais plus abordable qu'un ventilateur centrifuge.



Figure 3.13 Ventilateur centrifuge-axial (« in-line »)

Source : N. St-Pierre

3.5.3 Ventilateur centrifuge ou radial

Le ventilateur centrifuge aspire l'air parallèlement à l'axe de rotation et le propulse par force centrifuge perpendiculairement à ce même axe. À diamètre égal, un ventilateur centrifuge a une capacité de débit inférieure à celle d'un ventilateur axial, mais tolère des pressions nettement plus élevées. Si on veut augmenter le débit, il faut utiliser une roue double munie de deux ouïes d'aspiration.

Il existe différents types de ventilateurs centrifuges :

- « **à aubes inclinées vers l'avant** », appelés aussi « **à action** » ou « **en cage d'écureuil** ». La roue de ces ventilateurs comprend un nombre important d'aubes de faible hauteur. Elles sont inclinées dans le sens de rotation de la roue;
- « **à aubes inclinées vers l'arrière** », appelés aussi « **à réaction** ». La roue de ces ventilateurs comprend un nombre réduit d'aubes de plus grande hauteur. Elles sont inclinées dans le sens inverse de la rotation de la roue;
- « **à aubes radiales** ». La roue de ces ventilateurs est composée d'aubes droites. Ce dernier type de ventilateur donne un très mauvais rendement et est peu utilisé dans les installations de ventilation.

La vitesse de rotation varie en fonction de l'aube. Les ventilateurs à grandes aubes fonctionnent à 1 750 rpm, comparativement à 3 500 rpm pour les ventilateurs à plus petites aubes. La vitesse de rotation peut varier entre ces deux extrêmes.

En résumé, ce type de ventilateur :

- est plus efficace que les autres ventilateurs en situation de pression positive (supérieure à 8 pouces de colonne d'eau);
- génère moins de débits;
- est le plus silencieux;
- mais est le plus coûteux.



Figure 3.14 Ventilateurs centrifuges

Source : N. St-Pierre

3.6 Modes de ventilation

La ventilation des grains peut se définir selon trois modes (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 Modes de ventilation des grains

Ventilation de refroidissement	<ul style="list-style-type: none"> Sert à refroidir et uniformiser la température de la masse de grains. Permet également le contrôle de l'humidité de la masse de grains. Débuté immédiatement au remplissage du silo (lorsqu'il y a environ 1 mètre de grains) et se poursuit pendant chaque cycle de ventilation. S'effectue dans un premier temps sans interruption pour uniformiser la température de la masse de grains et se poursuit en alternance en tenant compte des conditions climatiques (voir les courbes d'équilibre air-grain en annexe). S'assurer de bien compléter chaque cycle, soit jusqu'à ce que la température de la couche supérieure soit voisine de la température de la couche inférieure. Pour la refroidir, il faut faire circuler de l'air plus froid que la masse de grains elle-même (la nuit offre cette possibilité). Attention! Un écart de température trop grand (supérieur de 5 à 8 °C) entre l'intérieur et l'extérieur entraînera de la condensation.
Ventilation de correction	<ul style="list-style-type: none"> Sert à corriger une anomalie de température ou d'humidité dans la masse de grains. Sert à stabiliser la masse de grains si un point chaud se développe dans celle-ci (odeur de moisissure). Vider au besoin. S'assurer de bien compléter le cycle entamé.
Ventilation de maintien	<ul style="list-style-type: none"> Ne vise qu'à maintenir la température de la masse de grains. Fonctionne pendant quelques heures avec de l'air sec (humidité relative inférieure à 70 %). Permet de contrer l'effet de la convection créée par l'écart entre la température intérieure et la température extérieure selon la saison (voir figure 3.15). Utilisée par périodes de 2 à 4 semaines ou selon le jugement.

3.7 Conduite de la ventilation : quand et comment ventiler?

La décision de démarrer ou d'arrêter la ventilation est une décision souvent difficile et complexe à prendre. Il faut savoir que lorsque la ventilation fonctionne en continu, le contenu en humidité de la masse de grains s'équilibre au gré de l'humidité de l'air propulsé dans le silo. Par exemple, lors d'un automne peu pluvieux et chaud, l'humidité extérieure est assez constante et permet un séchage assez régulier du grain. Par contre, un automne frais et humide, qui s'accompagne de variations importantes de l'humidité ambiante, engendre l'effet « yoyo » sur l'humidité du grain. Dans ce cas, la ventilation des grains peut devenir tout un casse-tête!

3.7.1 En automne

Dès le début de la mise en silo :

- uniformiser la température en ventilant en continu (24 heures sur 24);
- dès que le silo contient 1 mètre de grains, la ventilation peut commencer. Même si la température de l'air pendant le jour ne permet pas d'abaisser celle du grain, au moins l'uniformisation de l'humidité réduira le risque d'échauffement de certaines zones du silo;
- ventiler jusqu'à ce que la température soit uniforme dans la totalité de la masse de grains. Les grains situés sur le dessus (si l'air est poussé par le bas) doivent être à la même température que les grains à la base du silo;
- **s'assurer de laisser progresser le front de refroidissement suffisamment longtemps afin d'assurer cette uniformisation et de compléter le cycle de ventilation;**
- une ventilation de nuit permet souvent d'abaisser la température dès la récolte.

Une fois la masse de grains refroidie, d'autres paliers ou cycles de ventilation doivent se succéder afin de suivre l'évolution de la température de l'air qui, à l'automne, chute rapidement. Ces étapes vont permettre le **conditionnement du grain** jusqu'à un état le plus stable possible, propice à la conservation.

- En attendant la nécessité d'un nouveau cycle de ventilation, ventiler de temps en temps lorsque les conditions météorologiques permettent d'assécher le grain (sur une période de plus ou moins 2 semaines).
- Démarrer un nouveau cycle de ventilation dès que la température moyenne extérieure (dans des conditions météorologiques stables pendant quelques jours) est **inférieure de 5 à 8 degrés** à celle de la masse de grains $[(\min + \max) / 2]$, et quand l'air est sec (humidité relative inférieure à 70 %). Noter qu'un écart supérieur à 8 degrés favoriserait la convection naturelle que l'on veut éviter;
- Répéter le cycle à quelques reprises, à mesure que la température de l'air descend. En 3 à 4 cycles, la température du grain est amenée autour de 0 °C pour l'hiver (pas plus froid).

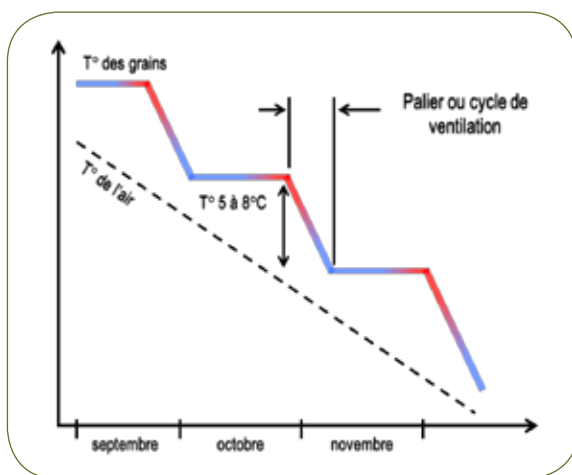


Figure 3.15 Exemple d'une succession de paliers de ventilation

Source : N. St-Pierre (adapté du MAPAQ)

Dans le cas où le grain commencerait à chauffer lentement :

- ventiler dès que la température de l'air est plus faible que celle du grain;
- si le réchauffement est important ou si on détecte des points chauds : ventiler immédiatement pour stabiliser la température et essayer de sauver le grain. Il peut devenir nécessaire de vider le silo si la température ne se stabilise pas.

3.7.2 En hiver

En hiver, le grain entreposé a normalement déjà atteint les conditions nécessaires pour se conserver. Il suffit donc seulement de maintenir la masse de grains en attente d'une commercialisation.

Vérifier la température du grain régulièrement.

Durant cette période :

- inspecter le silo une à deux fois par mois, plus souvent si la température de l'air extérieur s'élève;
- démarrer le ventilateur et « sentir » l'odeur de l'air à la sortie du silo;
- mesurer la température de la masse de grains; si elle dépasse 5 °C, ventiler (dans la mesure où le grain avait déjà atteint 0 °C);
- si la température moyenne du grain s'élève régulièrement ou s'il y a des écarts de température, ventiler :
 - pendant quelques heures toutes les 3 à 4 semaines pour changer l'air (durée variable selon le débit du ventilateur);
 - par temps sec (humidité relative inférieure à 70 %).

3.7.3 Au printemps

Le printemps représente une période névralgique pour la masse de grains. En effet, cette période correspond au réchauffement de la température extérieure et la masse de grains va se réchauffer progressivement. Il faut là encore démarrer des cycles de ventilation.

Durant cette période, on doit :

- ventiler pour maintenir la masse de grains à une température inférieure d'environ 5 à 8 °C à celle de l'air extérieur sans dépasser un écart de 10 °C;
- inspecter le grain et en vérifier la température régulièrement (chaque semaine lorsque les conditions sont changeantes);
- ventiler dès qu'il y a une élévation anormale de la température du grain ou une odeur de moisissure (vider le silo si nécessaire);
- ventiler toujours par temps sec (humidité relative inférieure à 70 %);
- ventiler par cycles complets.

3.7.4 En été

L'été est une période propice au développement des insectes dans la masse de grains. Les températures chaudes dans le haut du silo (à la surface de la masse de grains) offrent des conditions particulièrement optimales pour leur croissance.

Durant cette période :

- ventiler de nuit et par temps sec (possibilité de chauffer l'air si l'humidité relative est supérieure à 70 %);
- ne pas dépasser un écart de 15 °C entre la température extérieure de l'air et la température du grain;
- vider le silo si un point chaud est détecté;
- si la température moyenne du grain s'élève régulièrement ou s'il y a des écarts de température :
 - ventiler toutes les 2 ou 3 semaines pendant quelques heures;
 - inspecter le grain régulièrement et mesurer la température chaque semaine.

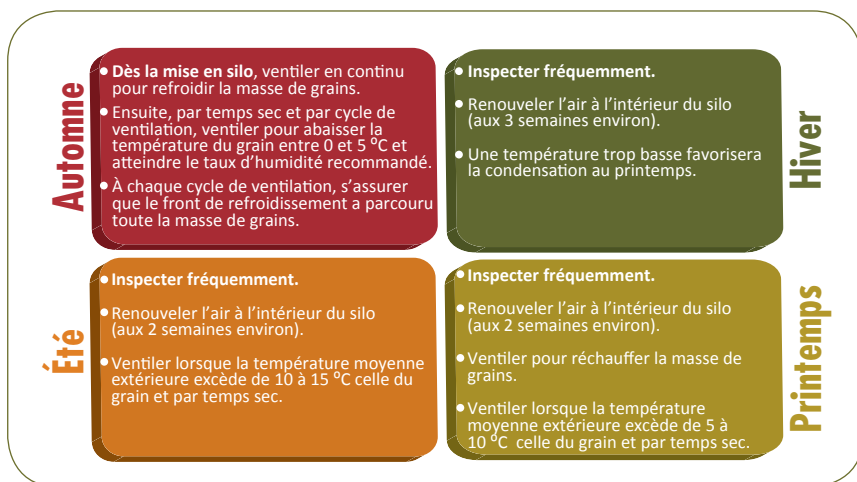


Figure 3.16 La ventilation au fil des saisons

3.8 Convection versus condensation

Les grains entreposés dans un silo sont en contact avec les parois qui, elles-mêmes, interagissent avec la température extérieure. Cette température se transfère alors à la masse de grains, ce qui crée un mouvement d'air

à l'intérieur du silo. Ainsi, l'air froid crée un mouvement descendant contrairement à l'air chaud qui, lui, crée un mouvement ascendant. Le contact entre les courants d'air chaud et froid occasionne une **zone de condensation**. Celle-ci se déplace ensuite dans le grain à différents endroits selon la saison. En présence d'une température froide à l'extérieur et d'une masse de grains encore chaude, la zone gorgée d'humidité migre vers le haut du silo. Cette réaction a cependant peu d'impact sur la conservation, car la période durant laquelle elle survient (automne) correspond à la période de refroidissement et de conditionnement de la masse de grains. Lorsque la situation est inversée, soit une température extérieure chaude et une masse de grains froide (au printemps), la zone humidifiée migre vers la base du silo. Cette situation doit alors être corrigée, sans quoi une dégradation du grain peut survenir à cet endroit (Figure 3.17).

Pour limiter la formation d'une zone humide dans le silo, l'écart de température entre la masse de grains et l'extérieur (moyenne journalière observée sur quelques jours) doit être limité et ne devrait pas dépasser 5 à 8 °C. Par contre, en périodes printanière et estivale, au cours desquelles les changements de température sont plus radicaux, cet écart peut être plus grand, sans toutefois dépasser 15 °C.

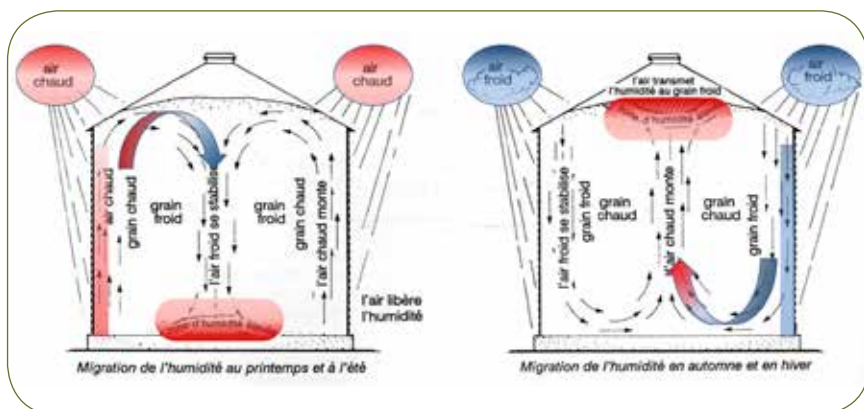


Figure 3.17 Migration de l'humidité dans les silos en fonction de la saison

Adapté du MAAARO

En conclusion, il faut retenir que l'**inspection** du silo et l'**observation** de la température du grain demeurent d'excellents outils pour réussir la ventilation lors des étapes clés que sont la **mise en silo**, le **refroidissement**, le **conditionnement** et le **maintien** d'une température et d'une humidité adéquates dans la masse de grains.

Chapitre 4 Lutte contre les ravageurs et les moisissures des grains

Les grains entreposés peuvent être attaqués par divers organismes vivants. Les plus couramment rencontrés au Québec sont les **insectes**, les **acariens**, les **moisissures** et, dans une moindre mesure, les **rongeurs** et les **oiseaux**. La lutte contre les ravageurs débute par la prévention, passe ensuite par la détection et se termine par l'application de traitements insecticides, si nécessaire, ou l'utilisation de méthodes de lutte physique.

4.1 Prévention

La **lutte préventive** implique le **nettoyage méticuleux** des infrastructures d'entreposage vides (silos, gaines de ventilation) et de la machinerie utilisée pour la récolte et le déplacement du grain (batteuses, remorques, vis) avant son utilisation. Le but est d'éliminer toute trace d'insectes ou d'acariens. Il s'agit aussi d'éliminer toute source de nourriture propice au développement des insectes et de disposer adéquatement des débris ramassés afin que les insectes éventuellement présents ne recontaminent pas le milieu.

Après le nettoyage ou une infestation, un **insecticide de contact homologué** peut être pulvérisé sur les murs et le sol des silos vides.

4.2 Détection

À défaut d'avoir pu éviter l'apparition d'insectes, d'acariens et de moisissures, il faut savoir les détecter visuellement ou par l'odeur. **Une inspection est souhaitable toutes les deux semaines à partir de la mise en silo jusqu'à la stabilisation de la température du grain.** Par la suite, une inspection mensuelle peut être suffisante.

Pour détecter la présence de moisissures, il est suggéré de sentir le contenu du silo à plusieurs reprises durant l'entreposage en ouvrant la porte au sommet du silo. Pour détecter la présence d'insectes ou d'acariens, la méthode la plus facile est de tamiser des échantillons prélevés en surface et à la base du silo. Les acariens, plus difficiles à percevoir, ressemblent à de petits fragments ou amas de poussière en mouvement.

Pour ce qui est des rongeurs et des oiseaux, il suffit surtout de vérifier la présence d'excréments ou de fientes à l'intérieur du silo.

4.3 Identification des ravageurs

Les insectes sont des ravageurs faciles à identifier contrairement aux acariens et aux moisissures. Les insectes peuvent causer des dommages internes ou externes aux grains selon l'espèce.

4.3.1 Insectes les plus communs dans les silos à grain

Les **coléoptères** et les **lépidoptères** sont reconnus comme ravageurs du grain. Leur **cycle vital** compte **quatre stades de développement** : **œuf**, **larve**, **nymphe ou chrysalide** et **adulte** (Figure 4.1). Le stade nymphe ou chrysalide peut durer plusieurs mois et permet aux insectes de passer l'hiver sous certaines conditions.

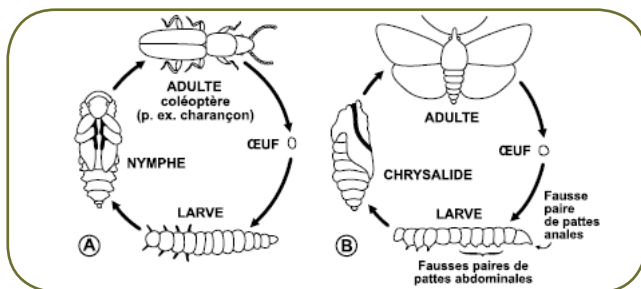


Figure 4.1 Cycle vital des coléoptères (A) et des lépidoptères (B)

Source : Courtoisie d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, reproduite avec la permission de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 2014

Description sommaire des coléoptères et lépidoptères que l'on peut retrouver au Québec dans le grain entreposé

Cadelle *Tenebroides mauritanicus* (L.)

Coléoptères



Adulte noir à brun foncé luisant de 6 à 19 mm.

Larve blanchâtre jusqu'à 19 mm; se déplace dans le grain.

Signes d'infestation et dommages

Des trous attestant la présence de larves sont décelés dans les structures avoisinantes (plâtre, bois). La cadelle attaque uniquement le germe et laisse les autres parties du grain intactes.

Calandre des grains *Sitophilus granarius* (L.)



Adulte uniformément brun foncé ou noir de 3 à 4 mm.

Larve blanche, dépourvue de pattes.

Signes d'infestation et dommages

Les larves se développent à l'intérieur des grains. Elles ne sont donc pas décelables. L'augmentation de l'humidité et l'échauffement à la surface du grain peuvent être des signes d'infestation. On peut voir des trous oblongs forés par les adultes émergeant des grains.

Charançon du riz *Sitophilus oryzae* (L.)



Adulte brun foncé ou noir de 2,5 à 4 mm.

Larve blanche, dépourvue de pattes.

Signes d'infestation et dommages

Les larves se développent à l'intérieur des grains et ne sont donc pas décelées dans les pièges. L'augmentation de l'humidité et l'échauffement des couches superficielles du grain peuvent être des signes d'infestation. On peut voir de petits trous ronds forés par les adultes émergeant des grains.

Cucujide dentelé des grains *Oryzaephilus surinamensis* (L.)



Adulte brun d'environ 3 mm.

Larve blanche à jaune pâle, de forme aplatie.

Signes d'infestation et dommages

Les infestations graves peuvent entraîner l'échauffement du grain. L'insecte n'attaque pas le grain sain, mais il peut infester le grain légèrement dégradé.

Cucujide des grains *Ahasverus advena* (Walt)



Adulte brun de petite taille (2 mm).

Larve très petite, blanche à jaune.

Signes d'infestation et dommages

Le grain échauffé et humide et la présence de champignons sont des signes d'infestation. Habituellement, les dommages causés au grain ne sont pas suffisants pour entraîner des pertes économiques.

Cucujide plat *Cryptolestes pusillus* (Schönherr)



Adulte de petite taille (1,5 à 2,0 mm), brun rougeâtre, de forme aplatie.

Larve allongée, blanche à jaune pâle, pourvue de pattes.

Signes d'infestation et dommages

Il y a échauffement et dégradation du grain lors d'infestations graves. L'insecte endommage le grain humide et surtout le blé. Il se nourrit du germe et de l'endosperme des grains.

Cucujide roux *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens)



Adulte brun rougeâtre luisant d'environ 2 mm.

Larve blanche à blanc jaunâtre, tête brune, 1 à 4 mm de longueur.

Signes d'infestation et dommages

Ennemi numéro 1 des entrepôts de grains à la ferme! Des infestations graves peuvent entraîner l'échauffement du grain. L'insecte peut favoriser la propagation de spores de champignons dans le grain.

Petit perceur des céréales *Rhyzopertha dominica* (F.)



Adulte jaunâtre à brun foncé de 3 mm, corps étroit et aplati, antennes en massue, capable de voler et incapable d'escalader une paroi en verre.

Larve jaune à crème.

Signes d'infestation et dommages

Cet insecte dégage une odeur de moisi.

Ptine velu *Ptinus villiger* (Reitter)



Adulte brun de 2 à 4 mm.

Larve vermiforme et blanche.

Signes d'infestation et dommages

L'insecte se nourrit à la surface des grains. Sa présence se manifeste par des matières granuleuses agglutinées par des fils de soie. Il peut y avoir des dommages irréguliers (trous forés) dans l'endosperme.

Ténébrion meunier *Tenebrio molitor* (L.)



Adulte brun foncé ou noir luisant de grande taille (12 à 18 mm).

Larve blanche à l'éclosion, puis coloration jaune lors du développement; 30 mm de longueur à maturité.

Signes d'infestation et dommages

Des larves se retrouvent dans le vieux grain humide et détérioré. Cet insecte aime les endroits sombres et humides.

Tribolium brun de la farine *Tribolium confusum* (Jaquelin du Val)

Adulte brun rougeâtre d'environ 4 mm.

Larve blanchâtre de 8 mm, ornée de bandes brunes.

Signes d'infestation et dommages

L'insecte se nourrit uniquement de poussières et de grains brisés. Il émet une sécrétion malodorante lorsque qu'il est dérangé. À forte densité, il peut conférer une coloration rosée aux grains.

Tribolium noir d'Amérique *Tribolium audax* (Halstead)

Adulte de 2,8 à 4,5 mm.

Larve brun foncé et cylindrique.

Signes d'infestation et dommages

Les denrées infestées dégagent une odeur désagréable.

Tribolium rouge de la farine *Tribolium castaneum* (Herbst)

Adulte brun rougeâtre de 2 à 4 mm.

Larve de 8 mm, blanche avec des bandes brunes.

Signes d'infestation et dommages

À très forte densité, il peut conférer une coloration rosée aux grains.

Pyrale indienne de la farine *Plodia interpunctella* (Hübner)



Adulte de 6 à 7 mm de longueur et de 14 à 20 mm d'envergure. Les ailes antérieures sont bicolores : portion basale (la plus rapprochée du corps) crème à jaune et portion apicale rouge cuivré à gris foncé.

L'adulte ne se nourrit pas de grain.

Chenille blanchâtre, voire verdâtre ou rosée selon son alimentation; de 8 à 10 mm de longueur à maturité.

Signes d'infestation et dommages

Présence de fils de soie sur les grains et de déjections larvaires. Les dommages sont directement liés à l'alimentation des chenilles.

Pyrale de la farine *Pyalis farinalis* (L.)



Adulte de 7,5 à 15 mm de longueur et 22 à 30 mm d'envergure. Les ailes antérieures sont pâles ou havane au centre et rougeâtres en bordure dans leurs portions basale et apicale. La plage centrale est lisérée de chaque côté par une ligne sinueuse blanche. Les ailes postérieures sont également ornées de motifs.

L'adulte ne se nourrit pas de grain.

Chenille blanchâtre.

Signes d'infestation et dommages

Présence de fils de soie sur les grains et de déjections larvaires. Les chenilles forent des trous de forme irrégulière dans les denrées infestées. Les dommages sont directement liés à l'alimentation des chenilles.

Photos : Commission canadienne des grains

Complément d'information

Le site de la Commission canadienne des grains propose une clé d'identification des insectes à l'adresse suivante : www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepore/keys-cles/sgp-irg/sgp-irg-fra.htm

4.3.2 Acariens

Dépassant rarement le millimètre de longueur, les acariens sont **les plus petits des ravageurs des denrées entreposées**. Ils peuvent passer inaperçus en raison de leur taille microscopique. Il ne s'agit donc pas de les identifier, mais de savoir les détecter. Leur mauvaise adaptation au grain sec les empêche de coloniser les grains entreposés dans de bonnes conditions. Le contrôle de l'humidité des grains est un moyen de lutte efficace contre les acariens.

4.3.3 Moisissures (champignons)

Certaines moisissures présentes à la récolte ou qui se développent au cours de l'entreposage lorsque l'humidité n'est pas contrôlée produisent des **mycotoxines**. Ces substances sont toxiques à des seuils très bas pour les humains et la plupart des animaux de ferme. Les mycotoxines les plus contrôlées sont l'**aflatoxine**, le **déoxynivalénol/nivalénol (vomitoxine)**, la **fumonisine**, l'**ochratoxine A** et la **zéaralénone**. Contrairement aux autres toxines qui peuvent se développer pendant la croissance des plantes, l'ochratoxine A se développe après la récolte, lors de l'entreposage des grains si la température et l'humidité sont adéquates pour le champignon. Contrairement à la fusariose, qui produit du déoxynivalénol, l'ochratoxine A et le champignon qui la produit ne causent aucun dommage apparent aux grains et ne peuvent pas être détectés lors de l'inspection visuelle et du classement.

Les **trousses de détection** utilisant le principe du dosage immunoenzymatique permettent de détecter facilement la présence et la nature des mycotoxines, même lorsque celles-ci sont présentes en faibles concentrations, habituellement de l'ordre de quelques parties par million (ppm). Ces tests sont souvent effectués par les acheteurs de grains.

4.4 Méthodes de lutte

Différentes stratégies de lutte sont disponibles pour éliminer les ravageurs lorsque ceux-ci infestent un silo. La **lutte chimique** propose l'utilisation d'insecticides sur les structures d'entreposage ou sur le grain lors du remplissage alors que la **lutte physique** permet notamment de contrôler les plus gros ravageurs.

4.4.1 Lutte chimique

L'insecticide le plus répandu et le plus utilisé au Québec pour lutter contre les insectes dans les silos est le **malathion**. La formulation MALATHION 85E

(ou MALATHION 500 : **concentré émulsifiable**) est celle que l'on applique généralement dans les silos et sur les parois des structures et équipements avant le remplissage. Le malathion est aussi disponible sous la forme de **poudre** (MALATHION Grain dust 2 %) que l'on peut appliquer sur le grain lors du remplissage du silo. Ce sont des formulations différentes. Il faut se référer à son fournisseur d'intrants pour connaître la formulation disponible et **bien lire l'étiquette du produit pour connaître les quantités à utiliser et les directives d'application**. Les insectes ciblés par le malathion sont le tribolium brun de la farine, le tribolium rouge de la farine, le cucujide plat, le cucujide roux, le cucujide dentelé des grains, le calandre des grains, le petit perceur des céréales, le charançon du riz et la pyrale indienne de la farine.

Il est également possible d'appliquer de la **terre de diatomées** dans les silos vides. Cet insecticide naturel provoquera la déshydratation puis la mort de la plupart des insectes.

Il est recommandé de varier les types d'insecticides afin de réduire le risque d'apparition de **résistance**.

4.4.2 Lutte physique

Rongeurs et oiseaux

Afin d'éviter les infestations par des rongeurs (rats, souris) ou des oiseaux, il faut tout d'abord **éliminer tout point d'entrée** de ces animaux dans les silos (une souris peut passer par une ouverture de 0,6 cm ou 1/4 po et un rat, par une ouverture de 1 cm ou 1/2 po). L'installation de divers **pièges** ou **rodenticides** (appâts empoisonnés) à des emplacements judicieux et en nombre suffisant est possible si des rongeurs ou des oiseaux se sont introduits dans le silo malgré l'adoption de mesures préventives.

Transvasage du grain

Pour éliminer les insectes sans recourir aux insecticides, le **transvasage** du grain peut être effectué. Le brassage ainsi occasionné dérange les insectes tout en refroidissant le grain à une température qui empêche leur développement. Cela permet aussi de limiter le développement des moisissures.

Chapitre 5 Santé et sécurité du travail dans les silos

Au Québec, en moyenne, un travailleur par année meurt enseveli ou intoxiqué dans un silo (CSST, 2006).

Des mesures de sécurité de base doivent être appliquées en tout temps pour prévenir les accidents dans les silos à grain.

Attention à la machinerie motorisée!

- **Ne jamais entrer dans un silo pendant que les vis de chargement sont en fonction.**
- Avant d'entrer dans un silo, **couper l'alimentation électrique** de tous les systèmes de mise en route des pièces (vis, ventilateur).
- Porter des **vêtements ajustés** afin d'éviter qu'ils ne restent pris dans les courroies de transmission.

Du grain en mouvement est comme des sables mouvants!

Cinq secondes. C'est la rapidité avec laquelle un travailleur peut être happé par du grain en mouvement et être incapable d'en sortir.

Trente secondes. C'est la rapidité avec laquelle un travailleur peut être complètement enseveli dans le grain en mouvement (plus de la moitié de tous les ensevelissements dans des céréales entraînent la mort par asphyxie).

Attention aux chutes!

- Si on doit monter à l'extérieur d'un silo, porter un **harnais** et s'attacher solidement à des points pouvant résister à la force provoquée par une chute.
- Si on doit marcher sur le grain, porter un harnais attaché de façon à ne pas s'y enfoncer plus bas que la taille en cas de chute.

Attention aux effondrements de grains!

- À partir de la plateforme d'accès, utiliser un long bâton pour **sonder la surface du grain** au cas où il y ait des cavités invisibles sous des **ponts de grains** (grains agglomérés en raison de moisissures ou d'humidité).
- À partir de la plateforme d'accès, utiliser un long bâton pour démanteler les **colonnes de grains** verticales qui adhèrent aux parois sur le tour du silo, laissant une cavité en forme de V au centre.

Attention à l'atmosphère toxique!

- **Avant d'entrer dans un silo, vérifier que l'atmosphère est sans danger pour l'humain.** Le dioxyde de carbone au-delà d'une certaine teneur, les spores de moisissures, les poussières et autres allergènes présentent tous des risques.



Figure 5.1 Personne aspirée par la masse de grains en mouvement

Source : web.extension.illinois.edu/agsafety/equipment/grainbinsafety.cfm

Références

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2001. Protection des céréales, des oléagineux et des légumineuses à grain entreposés à la ferme contre les insectes, les acariens et les moisissures. Publication 1851/F (éd. rev.), Centre de recherche sur les céréales, Winnipeg (Manitoba). 60 p. www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepouse/aafc-aac/pfsg-pgef-fra.pdf

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1990. Manutention de produits agricoles - Entreposage et conditionnement des grains et fourrages. Publication 1855/F (éd. rev.), Centre de recherche sur les céréales, Winnipeg (Manitoba). 55 p. http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/aac-aafc/agrhist/A15-1855-1990-fra.pdf

ARVALIS-Institut du végétal, Coop de France Métiers du Grain et Fédération du Négocio Agricole. 2008. Ventilation des grains - Guide pratique. ARVALIS-Institut du végétal, Paris (France). 56 p.

ASAE. Moisture Relationships of Plant-based Agricultural Products. ASAE Standards 1999. www.bime.ntu.edu.tw/~dsfon/graindrying/ASAE/503.pdf (consulté le 23 octobre 2014)

Berhaut, P., A. Le Bras, G. Niquet et J.-P. Criaud. 2003. Stockage et conservation des grains à la ferme. ARVALIS-Institut du végétal, Paris (France). 100 p.

CSST. 2006. La prévention dans les silos. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec. 20 p.

Cruz J.F., F. Troude, D. Griffon et J.P. Hébert. 1988. Conservation des grains en régions chaudes. 2^e édition, collection Techniques rurales en Afrique, Ministère de la Coopération et du Développement, Paris (France). 545 p.

Fortin. S. 2003. La ventilation : un outil pour la conservation des grains. Note 03.01, CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil. 2 p. www.cerom.qc.ca/documentations/N03_01.pdf

Fortin. S. 2002. Automatiser la ventilation pour mieux conserver les grains. Note 98.01, CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil. 4 p. www.cerom.qc.ca/documentations/N98_01.pdf

Fortin. S. 2002. La ventilation, toujours de mise pour la conservation des grains. Note 99.04, CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil. 2 p. www.cerom.qc.ca/documentations/N99_04.pdf

Fortin. S. 2002. Le séchage du soya et du canola. Bulletin technique 5.03, CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil. 4 p. www.cerom.qc.ca/documentations/B503.pdf

Fortin. S. et J. Quenneville. 2002. La conservation des silos de grains sans ventilation de réchauffement printanier. Bulletin technique 5.04, CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil. 2 p. www.cerom.qc.ca/documentations/B504.pdf

Fortin. S. et J. Quenneville. 2002. Ventilateurs et systèmes de ventilation pour les grains. Bulletin technique 5.05, CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil. 6 p. www.cerom.qc.ca/documentations/B505.pdf

Friesen, O.H. 1980. Heated-air grain dryers. Publication 1700, ministère de l'Agriculture du Manitoba, Winnipeg. 27 p.

Gebhardt, P.D. 1982. Manutention du grain à la ferme. Publication 1713/F (éd. rev.), Agriculture Canada, Ottawa, et ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan, Regina (Saskatchewan). 24 p. http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/agr/A53-1713-1982-fra.pdf

Hellevang, K.J. 1993. Natural air and low temperature crop drying. Extension Bulletin 35, Extension Service, North Dakota State University. 28 p.

Hilborn, D. 1987. L'aération des grains. Fiche technique (Agdex 110/717), ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, Toronto. www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/87-053.htm

LaPrade, J. 2008. Grain Bin Hazards and Safety Considerations. Alabama Cooperative Extension System. 2 p. www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-1332/ANR-1332.pdf

MAAARO. 2009. Guide agronomique des grandes cultures. Publication 811F, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, Toronto. 306 p.

McKenzie, B.A. et G.H. Foster. 1980. Fan sizing and application for bin drying-cooling of grain. Bulletin AE-106, Extension Agricultural Engineers, Purdue University. www.extension.purdue.edu/extmedia/ae/ae-106.html

OSHA. 2010. Worker Entry into Grain Storage Bins. OSHA® FactSheet. Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor. 2 p. www.osha.gov/Publications/grainstorageFACTSHEET.pdf

Semican. 2009. Dossier technique : Entreposage du grain. 4 p.

Shivvers Manufacturing. 2007. Managing Stored Grain - Basic principles. www.shivvers.com/files/files/Managing%20Stored%20Grain.pdf

St-Pierre, N. 2014. Formation : La ventilation des grains. Saint-Urbain-Premier, 11 septembre.

St-Pierre, N. 2013. Formation : Séchage et ventilation des grains. Trois-Rivières, 19-20 mars.

University of Illinois Extension. Grain Bin Safety - Safety Precautions. <http://web.extension.illinois.edu/agsafety/equipment/grainbinsafety.cfm> (consulté le 23 octobre 2014)

Vanasse, A. (éd. sc.). 2012. Les céréales à paille - Guide de production. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec. 148 p.

Wilcke, W. et G. Wyatt. 2002. Grain Storage Tips - Factors and Formulas for Crop Drying, Storage and Handling. University of Minnesota Extension. www.extension.umn.edu/agriculture/corn/harvest/docs/umn-extension-grain-storage-tips.pdf

Sites Internet

Commission canadienne des grains : www.grainscanada.gc.ca

Kentucky State University Research and Extension : <http://kysu.edu/academics/cafsss/cafsss-research-areas>

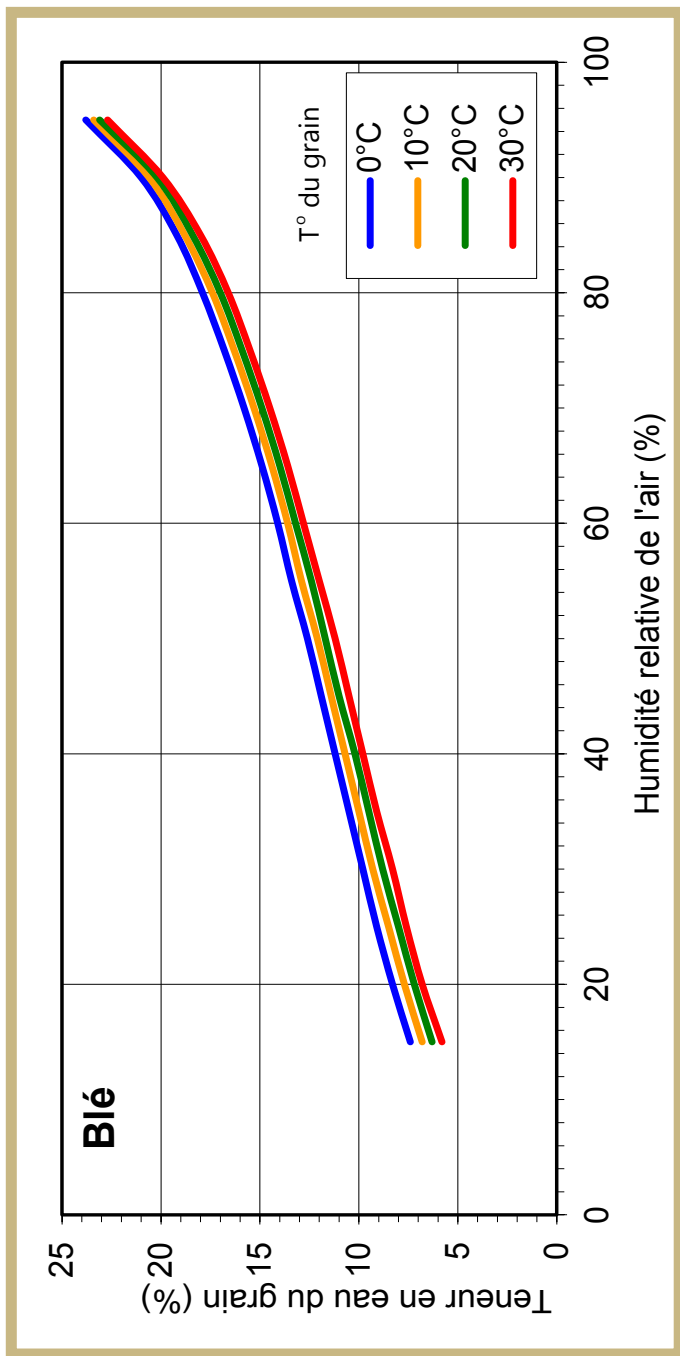
North Dakota State University Extension Service : www.ag.ndsu.edu/extension

Purdue University Extension Service : <http://extension.entm.purdue.edu/grainlab/index.php?page=home.php>

University of Minnesota Extension : www.extension.umn.edu/agriculture

Courbe d'équilibre air-grain de blé

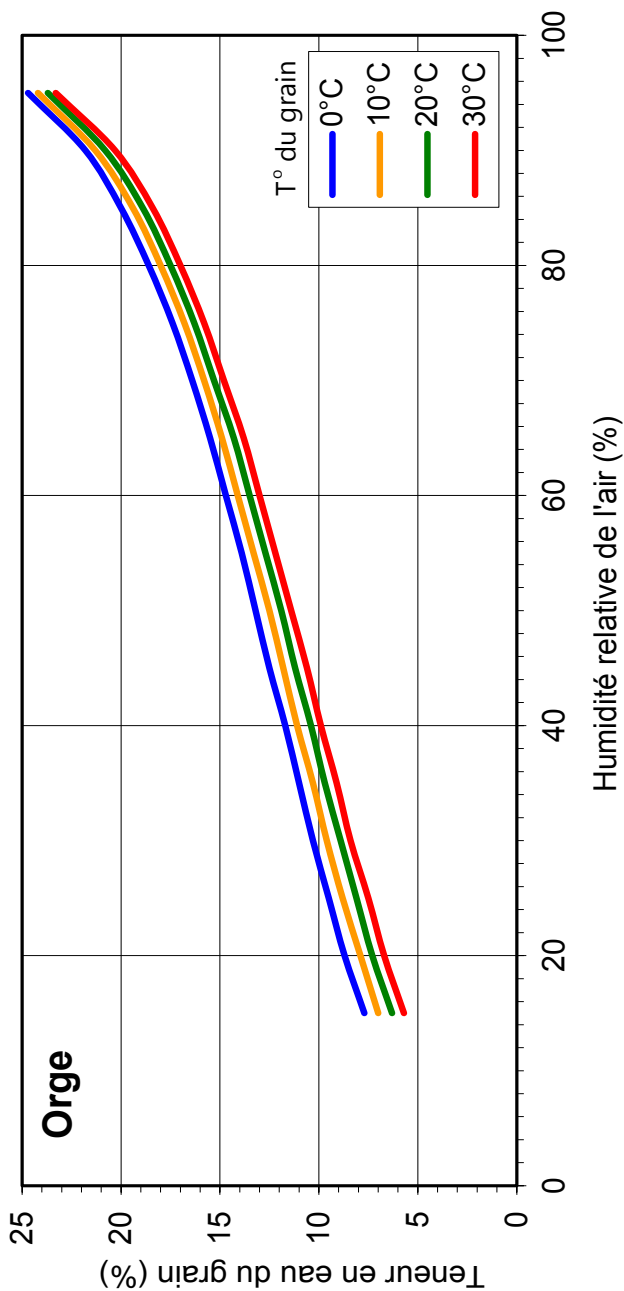
Annexe - Blé



Pour explication de la courbe, voir la page 7 du chapitre 1

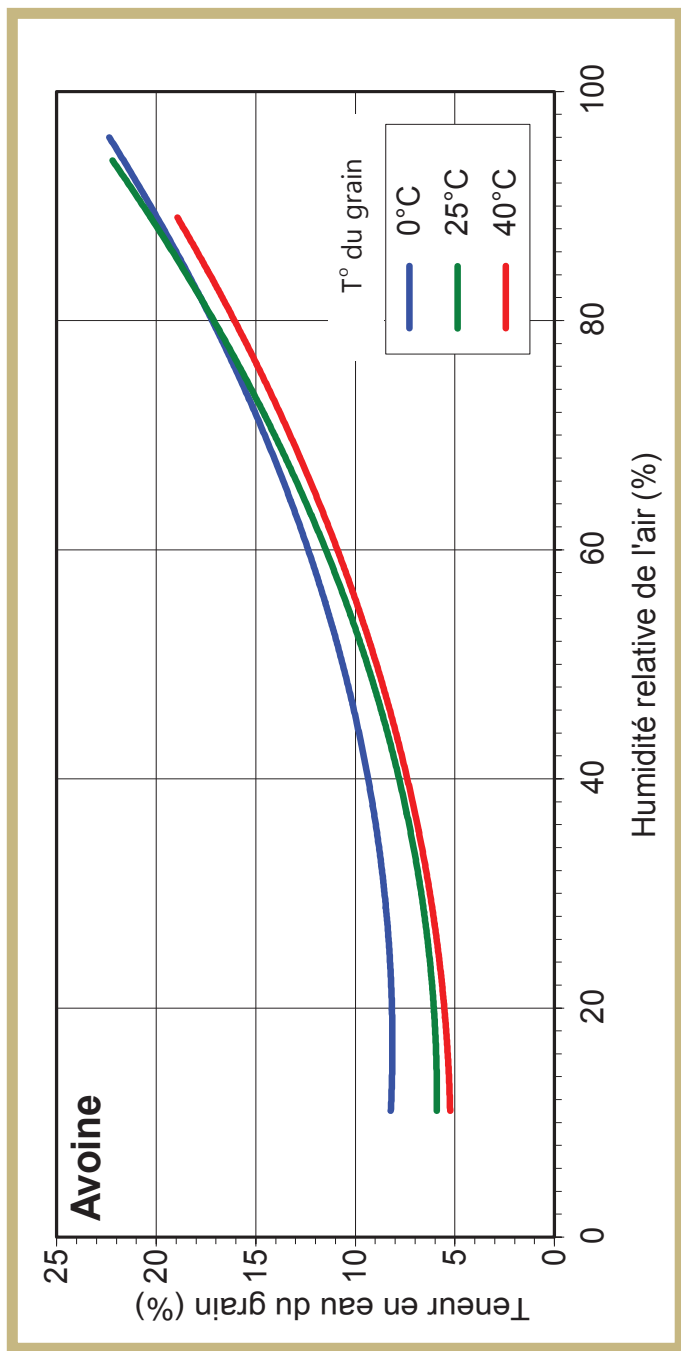


Courbe d'équilibre air-grain d'orge



Courbe d'équilibre air-grain d'avoine

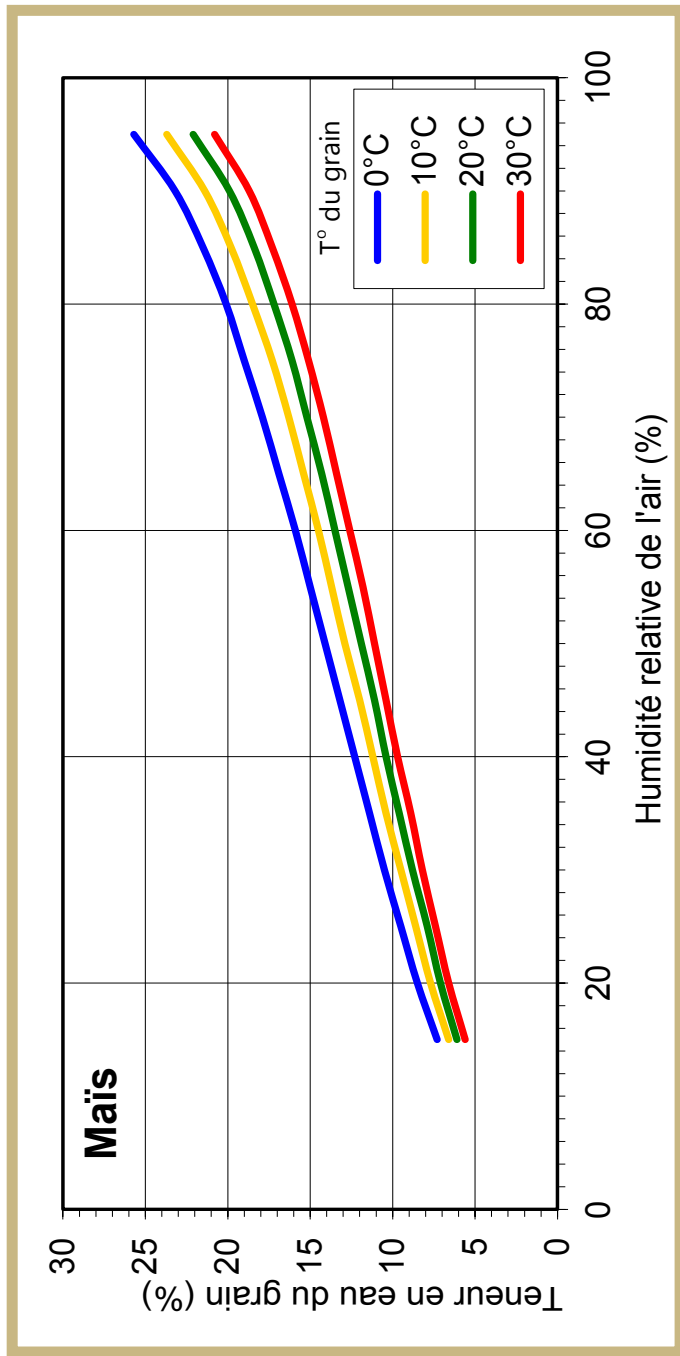
Annexe - Avoine





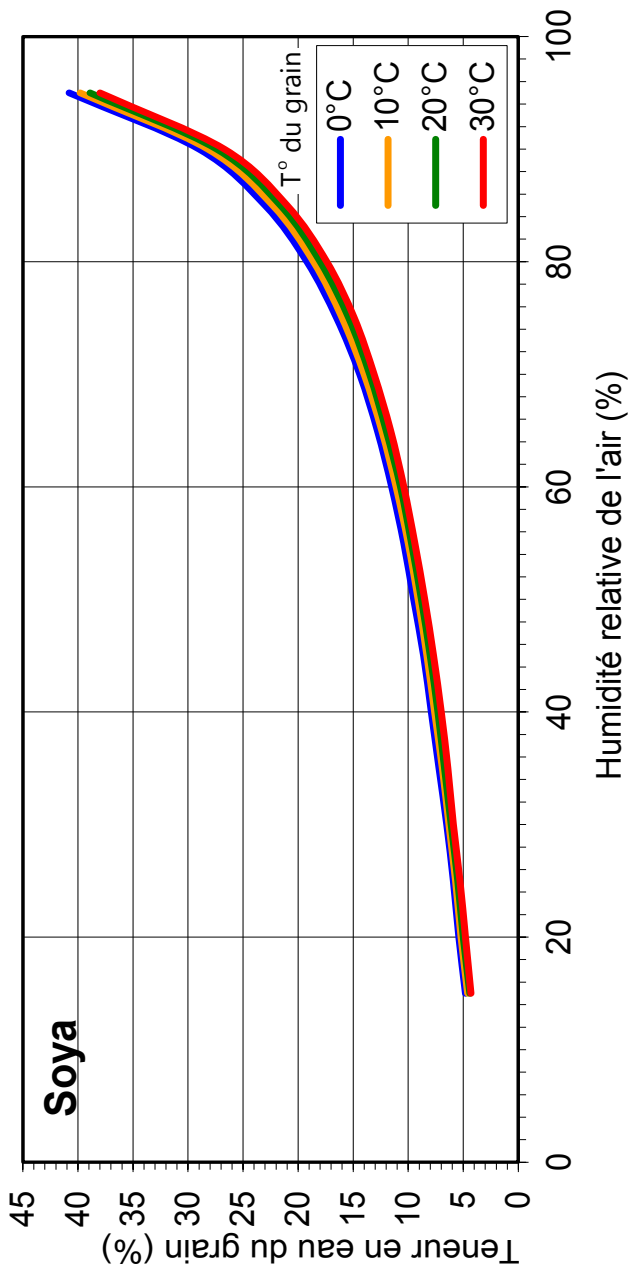
Courbe d'équilibre air-grain de maïs

Annexe - Maïs

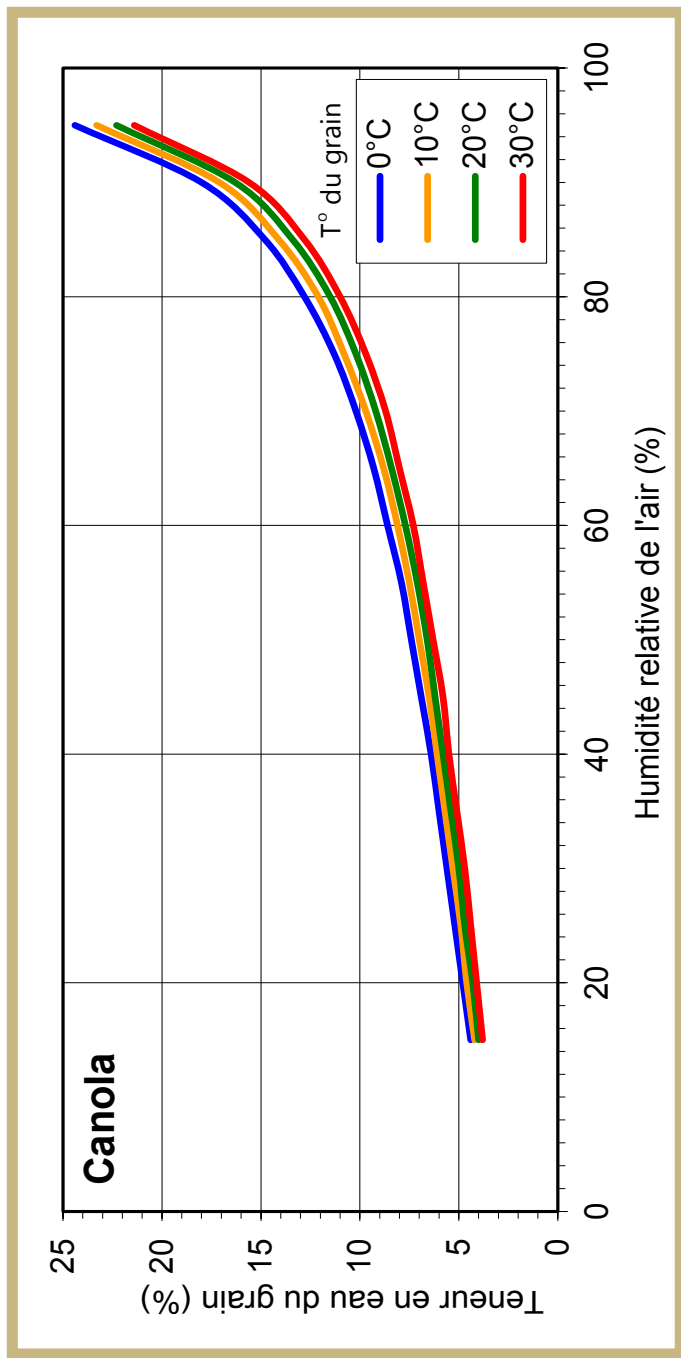


Courbe d'équilibre air-grain de soya

Annexe - Soya



Courbe d'équilibre air-grain de canola



Conversions utiles

Tonnage :

bu = *bushel* = boisseau

1 tonne métrique (TM) = 0,984 tonne longue (UK) =

1,102 tonne courte (US) = 2 205 livres (lb) = 1 000 kg

Tonne métrique (TM) en boisseaux (bu) pour différents grains

1 tonne de maïs = 39,368 boisseaux

1 tonne de soya = 36,744 boisseaux

1 tonne de blé = 36,744 boisseaux

1 tonne d'orge = 45,930 boisseaux

1 tonne d'avoine = 68,894 boisseaux

1 tonne de canola = 44,092 boisseaux

Poids spécifique :

Kilogramme par hectolitre (kg/hl) en livres/boisseau impérial

1 kg/hl = 1,247 lb/boiss. imp.

Ventilation :

cfm = *cubic feet per minute* = pieds cubes par minute

1 cfm/bu = 13 litres/sec*m³

Mesure du débit de ventilation ou débit spécifique : cfm/bu

HP = horse-power = force ou puissance du ventilateur

1 kW (kilowatt) = 1,34 HP

Mesure de débit d'air (*air flow rating*) ou débit du ventilateur : cfm

RPM = rotations par minute

Pression :

Mesure de la pression statique : pouces de colonne d'eau = po d'H₂O ou

pouces CE = *inH₂O*

1 kPa = 4,01 po d'H₂O

kPa = kilopascal

1 po d'H₂O = 0,0361 PSI

PSI = *pounds per square inch* = livres par pouce carré

Volume :

1 boisseau impérial (bu) = 1,2843 pi³ = 0,0364 m³ = 36,3687 litres

1 boisseau US (ou Winchester) = 1,244 pi³ = 0,0353 m³ = 35,2275 litres

1 m³ = 1 000 litres

