

(remplace la fiche technique 96-124 du MAAARO intitulée *Séchage du maïs à l'air ambiant*)

## Séchage des grains à l'air ambiant

J. Dyck, ing.

### INTRODUCTION

Les agriculteurs de l'Ontario récoltent des millions de tonnes de maïs, de soya et de blé chaque année. Selon les conditions climatiques au moment de la récolte, ils obtiennent souvent des grains « coriaces » ou humides qui doivent être séchés afin d'éviter des pertes durant l'entreposage. La plupart des grains sont séchés à haute température, ce qui peut occasionner des craquelures liées au stress, des dommages dus à la chaleur et une diminution de la qualité des grains. Le séchage des grains représente aussi plus de 30 % de l'énergie totale utilisée pour leur culture et leur récolte.

Le séchage à l'air ambiant permet de réduire les coûts de séchage, de préserver la qualité des grains et de prévenir les dommages associés à la chaleur. Les cultures spéciales (p. ex. le soya à identité préservée et d'autres cultures destinées à l'alimentation humaine) conviennent particulièrement à cette méthode de séchage. Le séchage à l'air ambiant est efficace d'un point de vue énergétique et ne demande pas de matériel spécialisé. Les économies sur les coûts de séchage combinés à la qualité supérieure des grains obtenus peuvent contribuer à augmenter les revenus du producteur et la rentabilité de la culture.

La présente fiche technique a pour objet d'expliquer le séchage des grains à l'air ambiant, de décrire les principales pratiques de gestion permettant

sa réussite, d'évaluer sa durée sous les conditions propres à l'Ontario et d'aborder les problèmes de séchage courants.

### UNITÉS DE MESURE IMPÉRIALES ET MÉTRIQUES DANS CETTE FICHE

Le matériel utilisé pour l'entreposage des grains est surtout fabriqué aux États-Unis et la majorité de l'information à ce sujet est donnée en unités impériales seulement. Bien que les unités de mesure métriques soient fournies pour la majorité des valeurs mentionnées dans cette fiche, certaines mesures sont en unités impériales uniquement. Utiliser les facteurs de conversion ci-dessous pour convertir les unités impériales en unités métriques :

#### Débit d'air

1 000 pieds cubes par minute (PCM)  
= 470 litres à la seconde (L/s)

#### Volume des grains

1 000 boisseaux (boiss.)  
= 35 mètres cubes (m<sup>3</sup>)

#### Débit d'air par volume

1 pied cube par minute par boisseau (PCM/boiss.)  
= 13 litres par seconde par mètre cube (L/s/m<sup>3</sup>)

#### Pression d'air

1 po de colonne d'eau  
= 250 Pascals (Pa)

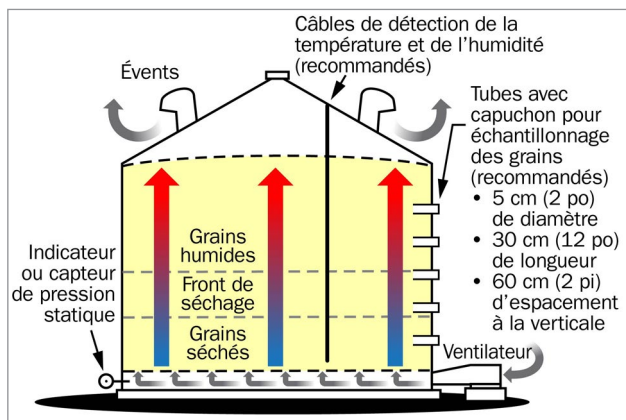
## CONTEXTE D'UTILISATION DU SÉCHAGE À L'AIR AMBIANT

Le séchage à l'air ambiant est possible et réaliste en Ontario, mais il demande une certaine patience. En effet, les grains prennent souvent plusieurs semaines à sécher entièrement. Dans les fermes où la seule préoccupation est le débit du séchoir, le séchage à l'air ambiant n'est peut-être pas la bonne solution.

Les producteurs qui cultivent des cultures spéciales, ou possèdent suffisamment de silos ou de cellules de stockages pour faire sécher toutes les cultures humides simultanément, ou encore ceux qui souhaitent améliorer la qualité de leurs grains et l'efficacité énergétique de leur exploitation peuvent tirer avantage de ce processus simple. Même si la majorité des grains seront séchés par les méthodes courantes, le fait de disposer d'un silo pour le séchage à l'air ambiant procure une flexibilité additionnelle.

## FONCTIONNEMENT DU SÉCHAGE À L'AIR AMBIANT

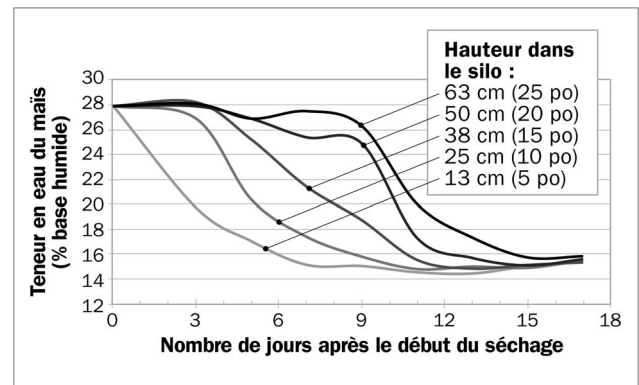
Le séchage des grains dans le silo se fait selon un front de séchage d'environ 30 à 60 cm (1 à 2 pi) d'épaisseur, à partir du fond du silo et en remontant lentement. Le débit d'air produit par le ventilateur du silo déplace lentement le front de séchage vers le haut. Tous les grains sous le front de séchage seront secs, alors que tous les grains au-dessus de celui-ci demeurent humides. Les grains dans le haut du silo ne sécheront pas avant que tous les grains du dessous soient secs (figure 1).



**Figure 1.** Schéma d'un silo de séchage à l'air ambiant qui montre le front de séchage progressant vers le haut. Installer des points d'échantillonnage ou des câbles de détection de la température et de la teneur en eau pour suivre la progression du séchage.

Suivre la progression du séchage à l'aide de câbles de détection de la température et de l'humidité, ou en plaçant des points d'échantillonnage à intervalles réguliers le long de la paroi verticale du silo (figure 1). Installer des tubes d'acier avec capuchon d'environ 5 cm (2 po) de diamètre, qui pénètrent 30 cm (12 po) dans le silo à espacements verticaux de 60 cm (2 pi). Utiliser ces tubes pour retirer des échantillons de grains et en évaluer la teneur en eau au cours du processus de séchage.

La figure 2 montre les teneurs en eau observées au cours du processus de séchage à l'air ambiant d'une épaisseur totale de maïs de 76 cm (30 po) de maïs. Les mesures de teneurs en eau ont été prises dans la masse de grains à différentes hauteurs au-dessus du plancher du silo. Les grains le plus près du plancher ont séché en premier, et ceux qui étaient près de la partie supérieure du silo n'ont pas commencé à sécher avant plusieurs jours, soit jusqu'à ce que tous les grains en dessous aient été suffisamment secs.



**Figure 2.** Évolution en fonction du temps des données réelles sur la teneur en eau des grains de maïs au cours d'un processus de séchage à l'air ambiant. Le débit d'air durant l'essai était d'environ 6 PCM/boisseau.

## COMMENT RÉUSSIR À BIEN SÉCHER LES GRAINS À L'AIR AMBIANT

Trois conditions doivent être remplies pour réussir le séchage à l'air ambiant :

- un bon débit d'air;
- des grains en bon état;
- une gestion attentive.

### Un bon débit d'air

*Utiliser un ventilateur procurant un débit d'air de 26 L/s par mètre cube de grains (2 PCM par boisseau) dans le silo.*

Un débit d'air plus élevé accélère le séchage. En Ontario, on recommande 26 litres d'air par seconde par mètre cube de grains (L/s/m<sup>3</sup>) ou 2 pieds cubes d'air par minute (PCM) par boisseau de grains. Avec un débit d'air moins élevé, les grains vont quand même sécher, mais il faudra plus de temps. Trois facteurs influent sur le débit d'air du ventilateur : le type de ventilateur, les dimensions du moteur et la pression statique.

Par type de ventilateur, on entend le style de ce dernier. Les ventilateurs axiaux sont répandus et peu coûteux. Les ventilateurs centrifuges (à aubes inclinées vers l'avant) conviennent mieux aux silos plus hauts. Les ventilateurs centrifuges à basse vitesse procurent normalement le débit d'air le plus élevé par puissance HP du moteur.

La grosseur du moteur est exprimée en kilowatts (kW) ou en puissance cheval-vapeur (HP). Normalement, un plus gros moteur produit un débit d'air plus élevé.

La pression statique mesure l'intensité du travail fourni par le ventilateur pour pousser l'air à travers les grains (elle est mesurée en Pascals, ou en pouces de colonne d'eau). À mesure que la pression statique augmente, le débit d'air diminue.

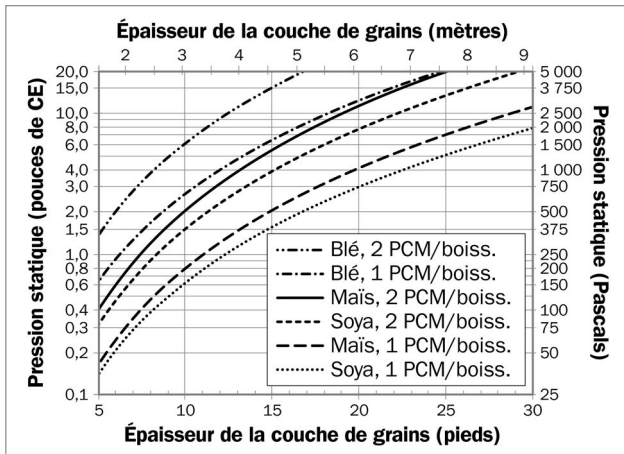
Si le silo est déjà pourvu d'un ventilateur, vérifier la fiche de spécifications de rendement de ce dernier (offerte par le fabricant) pour trouver son débit. Dans le cas d'un nouveau silo, choisir un ventilateur qui va procurer le débit d'air requis. Il est possible que les silos de grandes dimensions aient besoin de plusieurs ventilateurs. Afin de calculer le débit d'air total requis, multiplier le nombre de boisseaux dans le silo par 2 PCM/boisseau (p. ex. 5 000 boisseaux x 2 PCM/boisseau = 10 000 PCM de débit d'air total).

Le tableau 1 montre des exemples de fiches de rendement de ventilateurs. À remarquer que les dimensions du moteur sont les mêmes pour ces ventilateurs, mais que le débit d'air varie en fonction du type de ventilateur et de la pression statique.

**Tableau 1.** Exemples de fiche de rendement de différents ventilateurs d'un fabricant

Cette fiche est donnée à titre d'information seulement. Communiquer avec le fabricant pour obtenir les fiches respectives des ventilateurs offerts.

Type de ventilateur	Débits d'air (PCM) du ventilateur à différentes pressions statiques (pouces de colonne d'eau [CE])									
	0 po de CE	1 po de CE	2 po de CE	3 po de CE	4 po de CE	5 po de CE	6 po de CE	8 po de CE	10 po de CE	12 po de CE
Ventilateur axial, 10 HP	15 300	13 800	12 200	10 500	7 600	4 000				
Ventilateur centrifuge en ligne, 10 HP	6 200	6 000	5 800	5 600	5 500	5 300	5 100	4 700	4 200	
Ventilateur centrifuge, basse vitesse, 10 HP	16 100	15 000	14 200	13 300	12 400	11 400	10 000	3 400		
Ventilateur centrifuge, haute vitesse, 10 HP	7 300	7 100	6 900	6 600	6 300	6 100	5 800	5 500	4 900	4 300



**Figure 3.** Variation de la pression statique en fonction de l'épaisseur de la couche de grains pour du maïs, du soya et du blé à des débits d'air de 1 PCM/boisseau et 2 PCM/boisseau. Certains grains sont associés à des pressions statiques plus élevées pour le même débit d'air et la même épaisseur de la couche de grains.

**Ne pas remplir les silos avec plus de 3 à 4 m (10 à 13 pi) d'épaisseur de grains.**

Une épaisse couche de grains engendre une plus forte pression statique, ce qui réduit le débit d'air. Afin de maintenir la pression statique peu élevée, ne pas remplir les cellules avec plus de 3 à 4 m (10 à 13 pi) de grains.

Pour mesurer la pression statique à une certaine profondeur de la couche de grains, communiquer avec le fabricant du ventilateur afin d'obtenir un exemplaire de la fiche de rendement du ventilateur (exemple au tableau 1). Trouver le débit d'air souhaité et prendre note de la pression statique correspondante sur la fiche des spécifications de rendement. Utiliser la figure 3 pour trouver la profondeur de grains correspondant à la pression statique trouvée. Prendre note que les pressions statiques varient aussi selon le type de grains pour la même épaisseur de grains et le même débit d'air.

Prenons l'exemple d'un silo pourvu d'un ventilateur axial de 10 HP rempli avec 5 000 boisseaux de maïs. À un débit d'air de 2 PCM/boisseau, ce silo exige 10 000 PCM de débit d'air total pour un séchage efficace. D'après la fiche de rendement (tableau 1), ce ventilateur axial de 10 HP procure environ 10 000 PCM à 750 Pa (3 pouces de colonne d'eau) de pression statique. D'après la figure 3, le maïs à

environ 3,5 m (12 pi) de profondeur va générer une pression statique de 750 Pa (3 pouces de colonne d'eau) à un débit de 2 PCM/boisseau.

**Installer au minimum 0,1 m<sup>2</sup> (1 pi<sup>2</sup>) d'évents de toit par 470 L/s (1 000 PCM) de débit d'air.**

L'air doit pouvoir s'échapper facilement de la cellule de stockage afin que l'humidité ne soit pas retenue à l'intérieur. Installer au minimum 0,1 à 0,15 m<sup>2</sup> (1 à 1,5 pi<sup>2</sup>) de superficie d'évents de toit pour 470 L/s (1 000 PCM) de débit d'air. Espacer les événements de manière uniforme sur le toit de la cellule, et les placer le plus haut possible. Installer les événements derrière les gouttières de la cellule afin que le vent ne pousse pas la neige à l'intérieur. Placer les événements en plusieurs rangées dans le cas des silos de grandes dimensions (d'un diamètre supérieur à 11 m [36 pi]).

Ainsi, un silo pourvu d'un ventilateur d'une capacité de 4 700 L/s (10 000 PCM) aura besoin d'au moins 1 à 1,5 m<sup>2</sup> (10 à 15 pi<sup>2</sup>) de surface totale d'évents.

**Des grains en bon état**

**Utiliser des grains dont la teneur en eau est modérée, c'est-à-dire pas trop humides.**

Utiliser le séchage à l'air ambiant uniquement pour les grains qui peuvent être entièrement séchés sans se détériorer. Les grains très humides peuvent se détériorer avant que le séchage soit complété. La détérioration des grains commence dans le haut du silo, où les grains demeurent humides le plus longtemps (figure 1). Normalement, uniquement le maïs, le soya et le blé dont les teneurs en eau sont respectivement inférieures à 20 à 22 %, 16 à 18 % et 18 à 20 % peuvent sécher suffisamment rapidement à l'air ambiant sans qu'il y ait de détérioration.

La durée d'entreposage permise donne une estimation de la période durant laquelle les grains peuvent être entreposés avant de se détériorer de manière significative. Les tableaux de l'annexe A mentionnent ces durées en jours pour le maïs, le soya et le blé à différentes températures et teneurs en eau des grains. La durée d'entreposage permise est basée sur des grains propres de bonne qualité. La présence de dommages significatifs ou de particules fines peut réduire cette durée de moitié. Cette durée est également cumulative, c'est-à-dire

qu'on ne repart pas le compteur à zéro une fois les grains secs. Si les grains sont entreposés humides durant 75 % de la durée d'entreposage permise, il ne reste que 25 % de la durée pour entreposer les grains secs en toute sécurité.

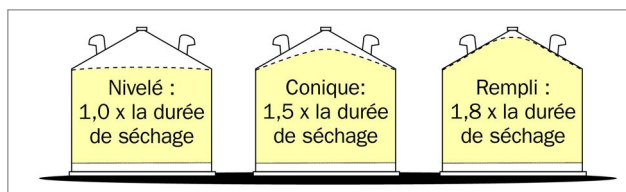
**Retirer quelques chargements du centre du silo après le remplissage afin d'éliminer les particules fines.**

Un silo rempli présente encore de 30 à 40 % d'espace d'air entre les grains. Un excès de particules fines remplit cet espace d'air, ce qui fait augmenter la pression statique, réduit le débit d'air et prolonge la durée du séchage. Si possible, on doit retirer les particules fines à l'aide d'un nettoyeur à grains avant le remplissage du silo.

Les particules fines se ramassent souvent dans le centre du silo à mesure qu'il se remplit. Retirer quelques chargements du centre du silo dans les jours qui suivent le remplissage afin d'éliminer une bonne partie des particules fines. Pour cela, retirer les grains à l'aide d'une vis de déchargement jusqu'à la formation d'un cône « inversé » dans la partie supérieure, d'un diamètre correspondant à environ le quart de celui du silo. Nettoyer les grains ainsi retirés et les remettre dans le silo ou les vendre comme aliments pour animaux.

**Niveler le silo après le retrait des particules fines.**

Une fois le silo ainsi nettoyé d'une partie des particules fines, niveler la couche de grains. Lorsque l'épaisseur de la couche de grains n'est pas uniforme, une plus grande quantité d'air traverse les zones plus près du plancher du silo et moins d'air traverse les zones plus hautes dans le silo. Si la masse de grains conserve une forme conique, les grains situés dans le centre demeurent humides beaucoup plus longtemps (figure 4).



**Figure 4.** Effet du nivelage sur la durée de séchage de tous les grains du silo (pour un silo d'un diamètre de 11 m (36 pi) contenant une épaisseur de maïs de 3,6 m (12 pi), avec un débit d'air moyen de 2 PCM par boisseau).

**Une gestion attentive**

**Faire fonctionner le ventilateur servant au séchage quand le taux d'humidité à l'extérieur se situe entre 60 et 65 %.**

La teneur en eau finale des grains dépend de la température et de l'humidité de l'air extérieur. Ce phénomène s'appelle la teneur en eau à l'équilibre. Cette teneur varie selon les types de grain et fluctue aussi en fonction de la température et de l'humidité ambiantes. Si les ventilateurs fonctionnent quand la teneur en eau à l'équilibre prévue est très élevée, la teneur en eau des grains peut en réalité augmenter. Dans la plupart des cas, l'air dont l'humidité relative se situe entre 60 et 65 % va permettre de sécher la plupart des cultures à un degré de teneur en eau acceptable pour l'entreposage.

L'annexe B présente les tableaux de teneurs en eau à l'équilibre pour le maïs, le soya, le blé tendre et le blé dur. Des outils en ligne sont également offerts en vue d'estimer ces teneurs d'après les prévisions météo (p. ex. BinCast à [www.weathercentral.ca](http://www.weathercentral.ca)).

**NE PAS fermer le ventilateur durant le séchage du maïs.**

On doit continuellement faire fonctionner le ventilateur durant le séchage du maïs, même par temps très humide ou pluvieux ou quand la teneur en eau à l'équilibre est très élevée, jusqu'à ce que le maïs dans le haut du silo soit sec. Si l'on ferme le ventilateur trop tôt, le front de séchage peut arrêter sa progression et le séchage risque de ne pas reprendre lorsque le ventilateur est remis en marche. Le risque que le front de séchage s'arrête est beaucoup plus important que le risque d'humidifier de nouveau le maïs par mauvais temps.

Une fois que le maïs dans le haut du silo a commencé à sécher, on doit vérifier la teneur en eau des grains. Est-elle encore trop élevée? Si oui, faire fonctionner le ventilateur de manière intermittente, en le mettant en marche seulement lorsque l'humidité relative permet un séchage efficace (c.-à-d. quand l'humidité relative est inférieure à 65 %).

Envisager d'installer un humidistat pour mettre automatiquement le ventilateur en marche en fonction des conditions de température. Un système de câbles de détection de la température et de la



---

teneur en eau peut aussi être programmé pour commander la ventilation, ce qui peut réduire les durées de fonctionnement du ventilateur et permettre d'économiser des coûts d'énergie durant l'aération et le séchage.

***Faire fonctionner le ventilateur de manière intermittente au cours du séchage du soya et du blé.***

Le soya et le blé sèchent plus facilement que le maïs et ne présentent donc pas le même risque en cas d'interruption de la progression du front de séchage. Le soya et le blé absorbent également plus facilement l'humidité que le maïs. La mise en marche du ventilateur par temps humide peut rapidement annuler la progression du front de séchage. On doit donc surveiller les conditions de température et mettre le ventilateur en marche uniquement lorsque les tableaux de teneurs en eau à l'équilibre montrent que le séchage peut être efficace (p. ex. quand l'humidité relative est inférieure à 65 %). Tout comme dans le cas du maïs, utiliser un humidistat ou un système de câbles de détection pour une mise en marche automatique du ventilateur.

**Accélérer le séchage par l'apport d'une source de chaleur additionnelle.**

Un réchauffement de l'air entrant va réduire son humidité relative, ce qui entraînera une diminution de la teneur en eau à l'équilibre du grain. On peut accroître ainsi la possibilité de faire fonctionner le ventilateur et accélérer le processus de séchage. On doit toutefois faire preuve de prudence! Si l'on ajoute trop de chaleur, la teneur en eau à l'équilibre du grain sera très faible et ce dernier sera trop sec.

Une petite quantité de chaleur suffit normalement pour atteindre la teneur en eau du grain souhaitée. Le réchauffement de l'air de 5 à 8 °C abaisse l'humidité relative de 20 à 30 %. Un apport de 1,5 à 3,0 kW de chaleur par 470 L/s de débit d'air (5 000 à 10 000 BTU/h par 1 000 PCM) permet d'obtenir ce gain de température.

Si le moteur du ventilateur est situé dans le courant d'air (comme dans le cas d'un ventilateur axial ou centrifuge en ligne), la température de l'air qui se déplace au-dessus du moteur va souvent augmenter d'environ 1 °C, ce qui réduit l'humidité relative de 3 à 5 %, entraînant ainsi une légère baisse de la teneur en eau à l'équilibre.

***Quel est le meilleur système de chauffage?***

Il existe plusieurs systèmes de chauffage additionnel qui permettent d'améliorer la vitesse du séchage :

- un appareil de chauffage à basse température au propane ou au gaz naturel, offert par de nombreux fabricants de ventilateurs pour silo ou cellule de stockage;
- des chaufferettes électriques placées devant le ventilateur;
- un radiateur placé devant le ventilateur, connecté à une source de chaleur à proximité (p. ex. un chauffe-eau dans un atelier);
- des panneaux solaires qui réchauffent l'air en utilisant l'énergie solaire. Il est possible d'augmenter la température de 5 à 6 °C durant le jour, bien que la moyenne pour une période de 24 h soit normalement plus près de 0,5 à 1 °C;
- une thermopompe (figure 5). Selon un essai de séchoir à grain avec thermopompe réalisé récemment en Ontario, on a obtenu un coefficient de performance (COP) de 6,93, ce qui signifie que le système a « produit » 6,93 unités de chaleur pour chaque unité d'énergie servant au fonctionnement de la thermopompe.

L'installation de systèmes solaires et de thermopompe est plus coûteuse que celle d'un appareil de chauffage à combustible, mais leur fonctionnement peut coûter moins cher. Ainsi, une thermopompe dont le coefficient de performance est de 6,93 est environ sept fois plus efficace qu'un appareil de chauffage au propane. Même si le coût de l'électricité est supérieur à celui du propane, la grande efficacité de la thermopompe a permis d'obtenir dans ce cas des coûts de fonctionnement de 60 % inférieurs à ceux d'un appareil au propane, et des coûts de fonctionnement similaires à ceux d'un appareil au gaz naturel.



**Figure 5.** Le système de séchage des grains avec thermopompe illustré ici offre un coefficient de performance (COP) de 6,93. *Source : APS Dineen Farms, Kenilworth, Ontario.*

***Est-ce que la combustion du propane ajoute de l'eau à l'air?***

La combustion du propane (ou de tout combustible) produit de la vapeur d'eau. Un litre de propane produit environ 0,8 L d'eau. Un mètre cube de gaz naturel produit environ 1,6 L d'eau. Toutefois, la circulation d'air et la hausse de la température ambiante durant le séchage du grain minimisent l'effet de cette eau additionnelle.

Si à l'extérieur, la température est de 0 °C, que l'humidité relative est de 90 % et que la température de l'air utilisé pour le séchage est haussée de 5 °C, l'humidité relative chute à 63 %. L'eau additionnelle apportée par l'appareil de chauffage au propane va augmenter l'humidité

relative finale à 66 %. Dans les deux cas, le séchage restera efficace, et l'effet de l'eau issue de la combustion du carburant n'est pas significatif.

**Quelle sera la durée du séchage?**

Le séchage complet des grains à l'air ambiant peut prendre plusieurs semaines. La durée exacte du séchage dépend d'une relation complexe entre la teneur en eau des grains, les conditions de température et le débit d'air du ventilateur.

Plus tard durant la saison, le séchage prend souvent beaucoup plus de temps et il est possible que la teneur finale en eau des grains n'atteigne pas le pourcentage voulu pour l'entreposage. L'apport d'une petite quantité de chaleur accélère le séchage et donne une teneur finale en eau plus faible.

**Exemples de durées de séchage**

Les exemples qui suivent fournissent des estimations de durées de séchage à l'air ambiant pour différentes cultures, en jours, ainsi que les teneurs finales en eau après le séchage, en pourcentage du poids humide. Les conditions de température météo sont basées sur des moyennes de 30 ans à London, en Ontario. Pour toutes les conditions de séchage, on présume un débit d'air de 2 PCM par boisseau. Les gains de chaleur sont basés sur le propane et comprennent l'effet de la vapeur d'eau additionnelle.

État des cultures au moment de la récolte (pour tous les mois) :

Maïs :	22 % d'humidité à la récolte
Soya :	18 % d'humidité à la récolte
Blé tendre :	20 % d'humidité à la récolte
Blé dur :	20 % d'humidité à la récolte

**Septembre**

Conditions météo sans apport additionnel de chaleur : 16 °C, 60 % d'humidité relative

Le maïs sèche en	14 jours pour atteindre 13,3 % d'humidité.
Le soya sèche en	13 jours pour atteindre 10,5 % d'humidité.
Le blé tendre sèche en	12 jours pour atteindre 12,7 % d'humidité.
Le blé dur sèche en	13 jours pour atteindre 13,7 % d'humidité.

---

## Octobre

Conditions météo sans apport additionnel de chaleur : 9 °C, 63 % d'humidité relative

Le maïs sèche en	20 jours pour atteindre 14,5 % d'humidité.
Le soya sèche en	18 jours pour atteindre 11,6 % d'humidité.
Le blé tendre sèche en	16 jours pour atteindre 13,4 % d'humidité.
Le blé dur sèche en	19 jours pour atteindre 14,7 % d'humidité.

---

## Novembre

Conditions météo sans apport additionnel de chaleur : 3°C, 72 % d'humidité relative

Le maïs sèche en	52 jours pour atteindre 17,0 % d'humidité.
Le soya sèche en	56 jours pour atteindre 14,2 % d'humidité.
Le blé tendre sèche en	36 jours pour atteindre 15,0 % d'humidité.
Le blé dur sèche en	51 jours pour atteindre 16,6 % d'humidité.

Conditions météo avec 1,5 kW (5 000 BTU/h) de chaleur additionnelle par 470 L/s (1 000 PCM) : 6 °C, 62 % d'humidité relative

Le maïs sèche en	27 jours pour atteindre 14,6 % d'humidité.
Le soya sèche en	27 jours pour atteindre 11,4 % d'humidité.
Le blé tendre sèche en	20 jours pour atteindre 13,5 % d'humidité.
Le blé dur sèche en	20 jours pour atteindre 14,8 % d'humidité.

Conditions météo avec 3,0 kW (10 000 BTU/h) de chaleur additionnelle par 470 L/s (1 000 PCM) : 9 °C, 53 % d'humidité relative

Le maïs sèche en	21 jours pour atteindre 12,8 % d'humidité.
Le soya sèche en	21 jours pour atteindre 9,4 % d'humidité.
Le blé tendre sèche en	16 jours pour atteindre 12,2 % d'humidité.
Le blé dur sèche en	16 jours pour atteindre 13,3 % d'humidité.

---

## Décembre

Conditions météo sans apport additionnel de chaleur : -3 °C, 77 % d'humidité relative

Le maïs sèche en	88 jours pour atteindre 19,0 % d'humidité.
Le soya sèche en	108 jours pour atteindre 16,1 % d'humidité.
Le blé tendre sèche en	50 jours pour atteindre 16,2 % d'humidité.
Le blé dur sèche en	92 jours pour atteindre 18,2 % d'humidité.

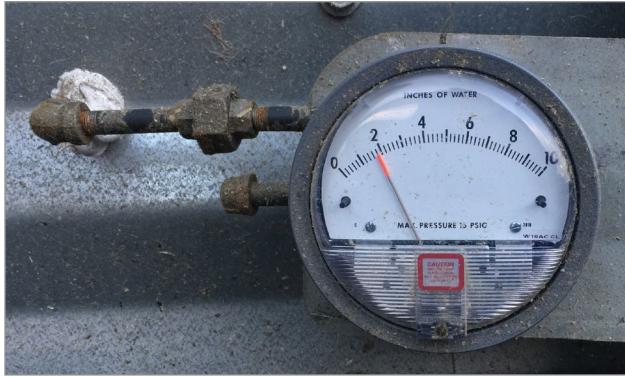
Conditions météo avec 1,5 kW (5 000 BTU/h) de chaleur additionnelle par 470 L/s (1 000 PCM) : 0 °C, 66 % d'humidité relative

Le maïs sèche en	35 jours pour atteindre 16,3 % d'humidité.
Le soya sèche en	37 jours pour atteindre 12,8 % d'humidité.
Le blé tendre sèche en	25 jours pour atteindre 14,4 % d'humidité.
Le blé dur sèche en	25 jours pour atteindre 16,0 % d'humidité.

Conditions météo avec 3,0 kW (10 000 BTU/h) de chaleur additionnelle par 470 L/s (1 000 PCM) : 3 °C, 56 % d'humidité relative

Le maïs sèche en	35 jours pour atteindre 14,2 % d'humidité.
Le soya sèche en	37 jours pour atteindre 10,5 % d'humidité.
Le blé tendre sèche en	25 jours pour atteindre 13,1 % d'humidité.
Le blé dur sèche en	26 jours pour atteindre 14,3 % d'humidité.





**Figure 6.** Un manomètre basse pression permet de mesurer la pression statique sous le plancher du silo. Utiliser cette mesure pour vérifier le débit d'air du ventilateur sur la fiche du fabricant portant sur le rendement du ventilateur.

### **PROBLÈMES COURANTS ASSOCIÉS AU SÉCHAGE DES GRAINS À L'AIR AMBIANT** **Le séchage prend plus de temps que prévu.**

- La pression statique peut être plus élevée que prévu, ce qui diminue le débit d'air. Pour vérifier la pression statique, percer un petit trou dans la paroi du silo, sous le plancher, du côté opposé au ventilateur. Insérer un tube dans le silo et le relier à un manomètre qui donne les valeurs en Pascals ou en pouces de colonne d'eau (figure 6). Quand le ventilateur est en marche, le manomètre indique la pression statique dans le silo. Consulter le tableau de rendement du ventilateur (offert par le fabricant) afin de confirmer le débit d'air et la pression statique qui correspondent au ventilateur.
- Le conduit qui relie le ventilateur au silo peut engendrer beaucoup de pression d'aspiration, surtout quand le débit d'air est élevé. Mesurer la pression statique directement à l'arrière du ventilateur à l'aide d'un tube de mesure approprié (figure 7) relié au manomètre (figure 6). Mesurer ensuite la pression statique sous le plancher du silo tel que décrit plus haut. En présence d'un important écart de pression entre les deux mesures, communiquer avec le fabricant du silo pour discuter des solutions possibles (comme ajuster les conduits ou modifier les structures de soutien du plancher pour améliorer la circulation d'air).

- Mesurer la pression statique dans les combles sous le toit du silo. Le manomètre devrait indiquer zéro ou près de zéro. Ajouter d'autres événements au besoin pour réduire la pression statique et permettre à l'air de s'évacuer plus facilement.
- Réduire la quantité de grains dans le silo afin d'augmenter le débit effectif d'air par boisseau, et pour un séchage plus rapide.
- Ajouter un deuxième ventilateur pour augmenter le débit d'air total et favoriser le séchage. Il est préférable d'utiliser des ventilateurs identiques, mais il est possible d'utiliser différents types s'ils sont similaires (figure 8).

Si cela est possible, prélever des échantillons des grains près du plancher pour vérifier si les grains sont trop séchés. Utiliser un câble de détection de l'humidité ou installer des points d'échantillonnage dans la paroi du silo (figure 1). Si les grains sont trop secs, il peut être souhaitable de mettre le ventilateur en marche quand il fait un peu plus humide. De cette manière, le temps de marche du ventilateur est un peu plus long, et le séchage continue de progresser de manière uniforme même si les grains dans le bas du silo se réhumidifient légèrement.



**Figure 7.** Un tube pour mesurer la pression statique peut être inséré dans un petit trou percé dans les conduits afin de mesurer la pression de l'air. Source : APS Dineen Farms, Kenilworth, Ontario.



**Figure 8.** Ce silo utilisé pour le séchage des grains à l'air ambiant est pourvu de deux ventilateurs : un ventilateur centrifuge à basse vitesse (à gauche) et un ventilateur centrifuge en ligne (à droite), dont le but est d'améliorer le débit d'air et d'accélérer ainsi le séchage.

Vérifier les conditions météo locales. L'humidité est difficile à mesurer, et de nombreux appareils peu coûteux risquent d'être inexacts et de donner des pourcentages très différents de la réalité dans le cadre d'un fonctionnement normal. Une humidité plus élevée que souhaité va ralentir le séchage.

S'assurer qu'on se réfère au bon tableau sur les teneurs en eau (annexe B). Les différentes espèces de grains atteignent différentes teneurs en eau sous les mêmes conditions d'aération ambiante.

Apporter une petite quantité de chaleur additionnelle en vue de réduire l'humidité relative, d'accélérer le séchage et de diminuer la teneur finale des grains en eau. Veiller à ne pas trop assécher les grains et à utiliser une source de chaleur additionnelle uniquement quand le taux d'humidité à l'extérieur est supérieur à 70 %.

### **Présence de zones coriaces (humides) à la surface des grains (souvent au centre)**

- Toute personne qui pénètre dans un silo et qui marche à la surface des grains doit faire preuve d'une extrême prudence et utiliser des harnais de sécurité approuvés!
- Le débit d'air est souvent légèrement plus faible au centre du silo en raison des particules fines. Marcher avec prudence à la surface des grains ou introduire une sonde dans la masse de grains selon un motif en quadrillage afin d'estimer à quelle profondeur et pour quelle superficie les grains sont encore coriaces. Les grains humides sont souvent plus denses et peuvent être identifiés à leur facilité à supporter un poids quelconque.
- Étaler ce qui reste de grains coriaces, même si la surface devient inégale. Poursuivre le séchage jusqu'à ce que toutes les zones où se trouvent des grains coriaces soient asséchées.
- S'il ne reste qu'une petite quantité de grains coriaces, il peut être approprié de mélanger les grains humides avec les grains secs au cours du déchargement du silo.

### **Les grains ne sont pas assez secs**

- La situation survient probablement parce que les conditions météo n'ont pas favorisé un séchage complet des grains. Consulter les tableaux sur les teneurs en eau (annexe B) afin de repérer la température ambiante et le degré d'humidité requis pour atteindre la teneur en eau souhaitée. Faire marcher le ventilateur de manière intermittente, uniquement lorsque les conditions météo se situent sous ce niveau.
- Apporter une petite quantité de chaleur additionnelle afin de réduire l'humidité, d'accélérer le séchage et de diminuer la teneur finale des grains en eau. Veiller à ne pas trop assécher les grains et à utiliser une source de chaleur additionnelle uniquement quand le taux d'humidité à l'extérieur est supérieur à 70 %.
- Rechercher d'autres débouchés ou d'autres acheteurs qui pourraient accepter des grains dont la teneur en eau est un peu plus élevée.

---

## **Le temps s'est refroidi et les grains semblent avoir peu de chance de sécher**

- Par temps très froid (comme sous 0 °C), les grains sèchent difficilement. Consulter les tableaux sur les durées d'entreposage permises afin de vérifier s'il est probable que les grains se détériorent avant que le temps s'améliore (annexe A). Se rappeler que la durée d'entreposage permise est cumulative! Vérifier d'abord que la température de la masse de grains est égale ou inférieure au point de congélation avant d'envisager de fermer le ventilateur.
- Inspecter souvent le silo en vue de détecter tout signe de détérioration ou de chaleur (p. ex. une formation de condensation sous le toit du silo) et faire fonctionner régulièrement les ventilateurs d'aération afin de garder les grains froids durant l'hiver.
- Avec le retour des températures plus douces, redémarrer le ventilateur afin de poursuivre le séchage des grains. Au début du printemps, les conditions sont souvent excellentes pour le séchage qui peut se terminer rapidement à l'arrivée du temps plus chaud.
- Rechercher d'autres débouchés ou d'autres acheteurs qui pourraient accepter des grains dont la teneur en eau est un peu plus élevée.

## **RÉSUMÉ**

Le séchage des grains à l'air ambiant est possible et réaliste en Ontario. Il s'agit d'un processus de séchage progressif qui donne des grains de meilleure qualité, exempts de craquelures liées au stress et de dommages dus à la chaleur, et qui est susceptible de réduire les coûts énergétiques. Des grains de bonne qualité peuvent commander des prix plus élevés et contribuer à augmenter les revenus.

Un séchage efficace exige un bon débit d'air, des grains en bon état et une gestion attentive. Le séchage à l'air ambiant est plus efficace au début de la saison de séchage. Plus tard en saison (à partir de novembre), le séchage à l'air ambiant uniquement ne sera pas suffisant. On doit alors prévoir un apport de chaleur additionnelle et/ou une augmentation du débit d'air, en vue d'accélérer le séchage. Si le séchage ne peut pas être complété avant l'hiver, inspecter attentivement les grains et redémarrer le séchage au début du printemps.

Cette fiche technique a été révisée par James Dyck, ing., ingénieur, systèmes de production des cultures et questions environnementales, MAAARO, Vineland, et revue par Steve Clarke, ing., ingénieur, énergie et systèmes de récolte, MAAARO, Kemptville, ainsi que par Greg Dineen, ing., APS Dineen Farms, Kenilworth, Ontario.

**ANNEXE A**  
**TABLEAUX DES DURÉES D'ENTREPOSAGE PERMISES**

Les durées d'entreposage permises pour le maïs sont basées sur la norme D535 de l'American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), intitulée *Shelled Corn Storage Time for 0.5% Dry Matter Loss*. Les durées d'entreposage permises pour le soya et les céréales sont basées sur des tableaux publiés par l'université North Dakota State.

**Annexe A-1.** Durées d'entreposage permises approximatives, en jours, pour les grains de maïs

Température du grain	Teneur en eau des grains (%)							
	15 %	18 %	20 %	22 %	24 %	26 %	28 %	30 %
-1 °C	> 300	> 300	> 300	190	127	94	74	61
4 °C	> 300	288	142	84	56	41	32	27
10 °C	> 300	128	63	37	25	18	14	12
16 °C	225	56	28	17	11	8	7	5
21 °C	125	31	16	9	6	5	4	3
27 °C	87	17	9	5	4	3	2	2

**Annexe A-2.** Durées d'entreposage permises approximatives, en jours, pour les grains de soya

Température du grain	Teneur en eau des grains (%)									
	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %	16 %	17 %	19 %	21 %	23 %
-1 °C	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	190	130	90
4 °C	> 300	> 300	> 300	280	200	140	90	60	40	35
10 °C	> 300	> 300	230	130	90	70	50	30	15	12
16 °C	> 300	240	120	75	50	35	25	15	10	8
21 °C	200	125	70	45	30	20	14	8	6	5
27 °C	140	70	40	20	15	10	7	3	2	2

**Annexe A-3.** Durées d'entreposage permises approximatives, en jours, pour les grains céréaliers

Température du grain	Teneur en eau des grains (%)									
	14 %	15 %	16 %	17 %	18 %	19 %	20 %	22 %	24 %	26 %
-1 °C	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300	190	130	90
4 °C	> 300	> 300	> 300	280	200	140	90	60	40	35
10 °C	> 300	> 300	230	130	90	70	50	30	15	12
16 °C	> 300	240	120	75	50	35	25	15	10	8
21 °C	200	125	70	45	30	20	14	8	6	5
27 °C	140	70	40	20	15	10	7	3	2	2



## ANNEXE B TABLEAUX DES TENEURS EN EAU À L'ÉQUILIBRE

Les teneurs en eau à l'équilibre ont été calculées à l'aide de la méthode Chung-Pfost modifiée décrite dans la norme D245.6, intitulée *Moisture Relationships of Plant-based Agricultural Products*, de l'American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).

**Annexe B-1.** Teneurs en eau à l'équilibre pour le maïs (% base humide)

Température de l'air	Humidité relative				
	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
0 °C	13,7 %	15,1 %	16,6 %	18,4 %	21,3 %
5 °C	13,1 %	14,4 %	15,9 %	17,8 %	20,7 %
10 °C	12,5 %	13,8 %	15,4 %	17,3 %	20,2 %
15 °C	11,9 %	13,3 %	14,9 %	16,8 %	19,8 %
20 °C	11,5 %	12,8 %	14,4 %	16,4 %	19,4 %
25 °C	11,0 %	12,4 %	14,0 %	16,0 %	19,0 %
30 °C	10,6 %	12,0 %	13,6 %	15,6 %	18,7 %

**Annexe B-2.** Teneurs en eau à l'équilibre pour le soya (% base humide)

Température de l'air	Humidité relative				
	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
0 °C	10,0 %	11,8 %	13,7 %	16,2 %	19,8 %
5 °C	9,8 %	11,5 %	13,5 %	15,9 %	19,6 %
10 °C	9,5 %	11,2 %	13,2 %	15,7 %	19,4 %
15 °C	9,2 %	11,0 %	13,0 %	15,5 %	19,2 %
20 °C	9,0 %	10,7 %	12,8 %	15,2 %	19,0 %
25 °C	8,7 %	10,5 %	12,5 %	15,0 %	18,8 %
30 °C	8,5 %	10,3 %	12,3 %	14,8 %	18,6 %

**Annexe B-3.** Teneurs en eau à l'équilibre pour le blé tendre (% base humide)

Température de l'air	Humidité relative				
	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
0 °C	12,5 %	13,5 %	14,6 %	16,1 %	18,2 %
5 °C	12,1 %	13,1 %	14,2 %	15,7 %	17,9 %
10 °C	11,7 %	12,7 %	13,9 %	15,3 %	17,5 %
15 °C	11,4 %	12,4 %	13,5 %	15,0 %	17,2 %
20 °C	11,1 %	12,1 %	13,2 %	14,7 %	17,0 %
25 °C	10,8 %	11,8 %	13,0 %	14,4 %	16,7 %
30 °C	10,5 %	11,5 %	12,7 %	14,2 %	16,5 %

**Annexe B-4.** Teneurs en eau à l'équilibre pour le blé dur (% base humide)

Température de l'air	Humidité relative				
	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
0 °C	13,3 %	14,6 %	16,1 %	17,9 %	20,7 %
5 °C	12,9 %	14,2 %	15,7 %	17,5 %	20,3 %
10 °C	12,6 %	13,9 %	15,3 %	17,2 %	20,0 %
15 °C	12,2 %	13,5 %	15,0 %	16,9 %	19,7 %
20 °C	11,9 %	13,2 %	14,7 %	16,6 %	19,5 %
25 °C	11,6 %	12,9 %	14,4 %	16,3 %	19,2 %
30 °C	11,3 %	12,6 %	14,2 %	16,1 %	19,0 %

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

© Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2020  
ISSN 1198-7138

Also available in English (Factsheet 20-043)

**Centre d'information agricole :**

1 877 424-1300

1 855 696-2811 (ATS)

**Courriel :** ag.info.omafra@ontario.ca

**ontario.ca/maaaro**