

Le séchage et la qualité du maïs

Serge Fortin, ingénieur, M.Sc., CÉROM, Saint-Bruno-de-Montarville

Ce texte a fait l'objet d'une conférence au Colloque Maïs-Soya, St-Hyacinthe, le 24 janvier 2001 et il fait partie du cahier de conférences offert par le CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec).

Conséquences du séchage à haute température.

Parmi les conséquences du séchage rapide et à haute température on note le plafonnement ou la réduction du poids spécifique, l'augmentation de la susceptibilité au bris des grains et la production de grains chauffés. Au contraire, le séchage lent, tel que dans un crib, maximise le poids spécifique et évite les grains chauffés. La figure 1 montre l'effet de la température de l'air de séchage sur le poids spécifiques de lots de maïs.

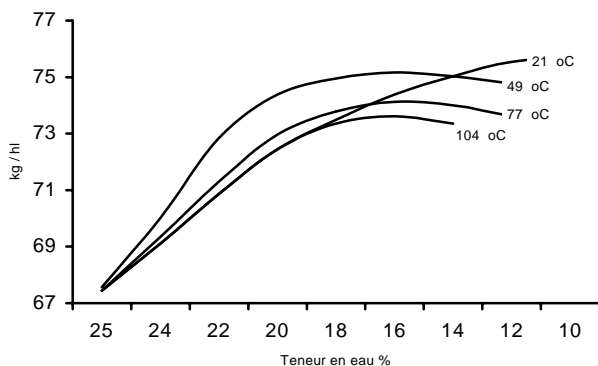


Figure 1. Effet de la température de séchage sur le poids spécifiques de lots de maïs. (Tiré de G.E. Hall, 1972)

Quelques facteurs de détérioration au séchage

De nombreux facteurs contribuent à la réduction de la qualité des grains. On mentionne ici trois facteurs majeurs pour lesquels des moyens d'atténuation existent, bien que des contraintes propres à chaque installation ne permettent pas toujours de les appliquer.

1. La disponibilité de l'eau dans le grain

À l'entrée du séchoir, l'eau est répartie uniformément dans le grain humide. De l'eau est disponible en surface du grain et elle est facile à évaporer (figure 2).

Par contre, lorsque que le grain sèche, surtout sous les 20 % d'humidité, l'eau devient plus difficile à extraire. En effet, cette eau n'est pas aussi libre car des liens électrochimiques la lient à la matière et il faut briser ces liens. De plus, dans le grain séché rapidement, l'eau se retrouve concentrée dans le cœur du grain et quasi-absente de sa surface : elle doit donc migrer depuis le cœur du grain avant d'en être extraite.

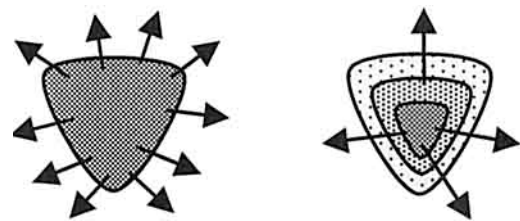


Figure 2. En début de séchage (à gauche), l'eau est abondante et disponible en surface du grain : l'évaporation est rapide. En fin de séchage (à droite), l'eau concentrée dans le cœur du grain doit migrer vers la surface avant d'être évaporée : le séchage est lent.

Il ne suffit plus alors de fournir de la chaleur pour évaporer l'eau. Il faut aussi du temps pour que l'eau se déplace dans le grain.

Enfin, puisque l'énergie calorifique fournie par le séchoir ne sert qu'en partie à évaporer de l'eau, le reste de cette énergie réchauffe le grain dont la température monte et certaines protéines se dégradent.

2. Le design des séchoirs

Le design des séchoirs couramment utilisés au Québec contribue à détériorer la qualité des grains. Ces séchoirs de conception américaine sont développés pour des conditions de teneur en eau à la récolte de moins de 25 % et pour des climats plus cléments. Les grains récoltés à une teneur en eau supérieure à 30 % et parfois voisine de 40 % séjournent plus longtemps dans le séchoir. Les grains qui sont directement exposés à l'air très chaud ont tout le temps de chauffer et de caraméliser ou de brûler, particulièrement en fin de séchage (tableau 1).

Pour la même raison on retrouve à la sortie de ces séchoirs des grains dont la teneur en eau s'étend sur une très large fourchette. Par exemple, pour un lot de grains dont la teneur en eau moyenne à la sortie du séchoir est de 19 %, on trouve une distribution des teneurs en eau telle que celle présentée au tableau 1.

On comprend qu'un tel mélange est susceptible de poser des problèmes importants de conservation puisque les grains à plus de 15 % de teneur en eau sont sujets au développement de microorganismes et respirent abondamment; ils tendent donc à s'échauffer davantage que les grains secs. La fourchette des teneurs en eau à la sortie du séchoir ne ferait que s'élargir pour des teneurs en eau finales aux alentours de 14 %.

Tableau 1. Caractéristiques des grains à différentes positions dans une colonne de séchage.
(Tiré de D. Désilets, 1996)

Teneur en eau initiale de 25 % et finale moyenne de 19 %
Température de l'air : 110 °C

Distance de la paroi intérieure, cm	Teneur en eau, %	Temp. grain, °C	Susceptibilité au bris, %
1,25	10	102	48
7,50	20	78	11
13,75	24	51	10

3. Le stress au refroidissement brutal des grains

Enfin, un autre facteur important qui contribue à la réduction de la qualité des grains est le refroidissement brutal qui provoque un stress thermique. En effet, dans la plupart des séchoirs, les grains passent de la section de chauffage à la section de refroidissement sans période de repos et on assiste alors à la situation suivante : des grains très chauds se retrouvent sous un puissant courant d'air froid ou très froid. Il s'ensuit un

refroidissement brutal et une contraction très rapide de l'extérieur du grain alors que l'intérieur ne suit pas. Le péricarpe se fissure, le grain est ainsi fragilisé et il se fractionne facilement en passant dans un convoyeur, en frappant un coude dans un tuyau d'élévateur, en chutant sur le plancher d'un silo ou sur le plancher d'un camion ou même en finissant sa chute sur un tas de grains. Il en résulte des grains sales, vulnérables au développement de microorganismes, difficiles à ventiler et finalement déclassés.

Quelques éléments de solution

À la lecture du chapitre précédent, on déduit qu'en travaillant sur les points suivants on peut réduire les dégradations des grains :

- ralentir le processus de séchage en fin de traitement,
- réduire le temps d'exposition des grains aux très hautes températures,
- refroidir lentement et progressivement les grains.

Les éléments de solution qui suivent peuvent contribuer à réduire les impacts négatifs du séchage à haute température, mais il faut se rappeler qu'en aucun cas, on ne peut rehausser la qualité des grains qui arrivent du champ.

1. Le séchoir à plusieurs brûleurs

Un séchoir qui comporte plusieurs brûleurs permet de moduler la température de l'air de séchage selon le niveau de teneur en eau des grains. Ainsi, les grains très humides à l'entrée du séchoir sont attaqués avec de l'air plus chaud. La chaleur de l'air sert alors à évaporer l'eau qui est abondante en surface des grains et la température de ceux-ci ne s'élève pas à l'excès.

À mesure que les grains descendent dans le séchoir, ils sont de plus en plus secs et une partie plus importante de la chaleur sert à chauffer le grain plutôt qu'à évaporer de l'eau. Les brûleurs des étages inférieurs sont alors réglés à des températures de moins en moins élevées de façon à prévenir la surchauffe des grains (figure 3).

Enfin, les grains étant moins chauds à leur arrivée dans la section de refroidissement, le stress thermique sera réduit. C'est l'observation des grains qui sortent du séchoir et l'expérience qui guideront l'opérateur dans la détermination des niveaux de température appropriés.

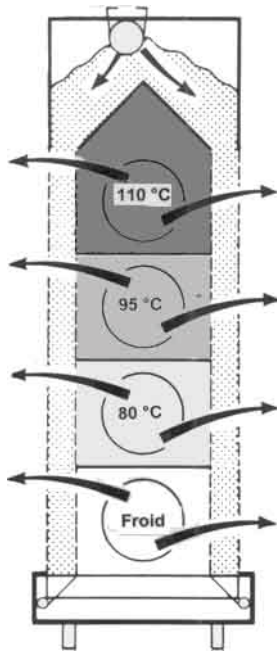


Figure 3. Dans le séchoir multi-étagé, on règle la température des brûleurs en tenant compte de l'humidité des grains (Adapté de Mathews Co.). Les chiffres ne sont donnés qu'à titre d'exemple.

2. Le séchage en deux étapes

Le séchage en deux étapes fait appel aux trois éléments de solution mentionnés plus haut pour améliorer la qualité des grains : il ralentit le séchage à faible teneur en eau, il réduit le temps d'exposition des grains aux températures élevées, il refroidit lentement les grains secs.

Le séchage en deux étapes consiste à sortir les grains chauds et pas tout à fait secs du séchoir à haute température, puis à compléter leur séchage dans une cellule. La chaleur accumulée dans le grain contribuera à évaporer l'excédent d'eau lors de la ventilation.

Le séchage en deux étapes consiste à sortir les grains chauds et pas tout à fait secs du séchoir à haute température, puis à compléter leur séchage dans une cellule. La chaleur accumulée dans le grain contribuera à évaporer l'excédent d'eau lors de la ventilation.

Le séchoir à haute température est alors opéré entièrement en mode chauffage, sans fonction de refroidissement. Le débit du séchoir augmente de façon importante car les grains sont sortis avant d'être complètement secs et que le ventilateur de refroidissement peut être remplacé par un brûleur supplémentaire. Ces procédés, principalement la

dryération, favorisent également une économie d'énergie intéressante puisque la partie la plus énergivore du séchage se fait sans apport de chaleur.

- **Le refroidissement en silo**

Le maïs est sorti chaud du séchoir avec une teneur en eau supérieure de 0,5 à la teneur en eau finale souhaitée. La ventilation de refroidissement se fait dès la mise en silo des grains à un débit d'air de 5 litres/seconde par mètre cube de grains (figure 4).

Le tableau 2 qui suit présente la puissance de ventilateur pour obtenir un débit de 5 l/s.m³ pour quelques dimensions de silo. En comparaison, la ventilation de grains secs se fait avec un débit de 2 l/s.m³. Un refroidissement trop rapide ne permet pas un séchage complet des grains.

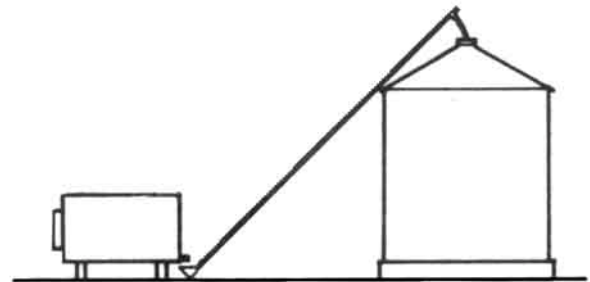


Figure 4. Le refroidissement en silo demande une teneur en eau des grains précise et uniforme à la sortie du séchoir et un refroidissement complet des grains.

- **La dryération**

En dryération, le grain est sorti le plus chaud possible du séchoir, à une teneur en eau supérieure de 1,5 à 2,0% à la teneur en eau finale souhaitée. Ces grains chauds sont soumis à une période de ressuyage de 8 à 10 heures sans ventilation qui permet à l'eau fortement concentrée au coeur du grain de se répartir de nouveau uniformément dans tout le grain.

Le lot de maïs est ensuite ventilé à un débit d'air de 9 à 12 litres/seconde par mètre cube de grain. La disponibilité d'eau en surface du grain et la chaleur emmagasinée dans ce dernier permettent alors à la ventilation de refroidissement de compléter le séchage (figure 5).

Après un refroidissement complet qui peut nécessiter de 15 à 20 heures de ventilation, le lot de grains doit être transféré dans une cellule d'entreposage. Ce transfert est essentiel pour bien mélanger les grains et briser toute poche de grains mal refroidis ou incomplètement séchés.

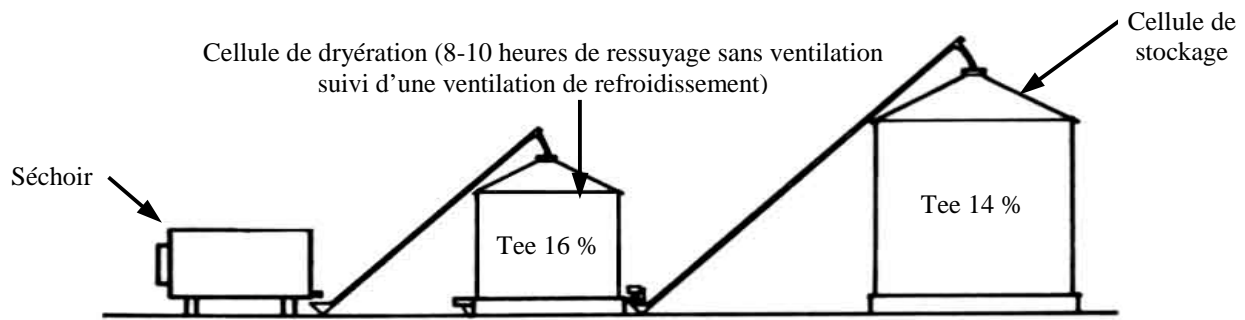


Figure 5. En dryération, le séchoir est opéré avec soin pour une teneur en eau qui ne dépasse pas de plus de 2,0 % la teneur en eau finale souhaitée.

Le tableau 2 présente la puissance typique de ventilateur pour obtenir un débit de 10 l/s.m³ pour quelques dimensions de silo. Un refroidissement trop rapide ne permet pas un séchage complet pendant la ventilation de refroidissante.

- **Le «combinaison» : pas pour le Québec**

Un autre procédé américain a été testé sous les conditions du Québec. Il s'agit du séchage dit «combinaison». Son nom indique qu'il fait appel au séchage à haute température jusqu'à une teneur en eau de 20 à 22 %, puis au séchage par ventilation à basse température dans une cellule d'entreposage pour compléter lentement le séchage du maïs.

Malheureusement, sous les conditions du Québec, ce procédé s'est révélé peu intéressant pour les raisons suivantes. Les grains doivent être très propres ce qui est difficile avec du maïs récolté à plus de 30 %, sinon il n'y a pas de séchage dans les zones sales et compactes du silo. La température en novembre et en décembre est peu favorable au séchage à basse température de sorte que le bilan énergétique du procédé n'est pas reluisant. De plus, par journées et par nuits parfois très froides il y a condensation de l'humidité sur les surfaces intérieures du silo, ce qui alimente le développement de microorganismes dans les grains qui reçoivent cette humidité.

- **Quelques mises en garde**

Malgré des avantages évidents, les procédés de refroidissement en silo et de dryération ne doivent être pratiqués que par les opérateurs expérimentés et minutieux car ces techniques exigent une gestion rigoureuse. De plus, ces techniques sont plus

appropriées pour les automnes cléments et pour des grains récoltés à des teneurs en eau modérées.

Tableau 2. Puissances typiques de ventilateurs axiaux (kW) pour quelques dimensions de silo pour le refroidissement en silo et la dryération.

Dimensions du silo Diam. x Épaisseur	Refroidissement en silo	Dryération
	5 l/s.m ³	10 l/s.m ³
5,5 m x 5,5 m	0,8	2,3
6,5 m x 6,5 m	1,1	3,8
7,5 m x 5,0 m	1,1	3,8
7,5 m x 7,5 m	2,3	---
8,3 m x 5,0 m	1,1	3,8
8,3 m x 8,3 m	3,8	---
9,0 m x 5,0 m	2,3	3,8
9,0 m x 7,0 m	3,8	---
9,0 m x 9,0 m	3,8	---
10 m x 6,0 m	2,3	---
10 m x 8,0 m	3,8	---
10 m x 10 m	---	---

En effet, l'opération du séchoir à haute température nécessite un suivi serré pour que les grains en sortent toujours à une teneur en eau très proche de celle désirée. De plus, les grains chauds doivent être propres et leur répartition dans la cellule de refroidissement doit être homogène pour favoriser une ventilation et un refroidissement uniforme et complet. Enfin, il faut s'assurer que la ventilation a bel et bien complété le refroidissement et le séchage de l'ensemble des grains, y

compris dans les zones compactes qui sont sources de problèmes de conservation. Lors des périodes froides, la condensation importante d'humidité peut créer des zones à risque en périphérie du silo et à tout autre endroit où l'eau dégoutte sur les grains.

3. Deux passages dans le séchoir

Les grains très humides sont toujours très sales ce qui réduit le débit d'air des ventilateurs du séchoir. Ils descendent trop lentement dans le séchoir continu, ce qui donne des grains chauffés et un poids spécifique réduit. Il survient également des problèmes de pontage ou de blocage des grains dans le séchoir desquels découlent des risques d'incendie.

Une façon de réduire des difficultés est de passer les grains deux fois dans le séchoir. Un premier passage relativement rapide abaisse leur teneur en eau aux environs de 25 %. Un second passage complète le séchage. L'opération est évidemment plus compliquée et plus longue et elle nécessite des installations qui s'y prêtent.

4. Le séchoir en fournées avec agitation

Lors des récoltes difficiles comme celle de l'automne 2000, le séchoir en fournées avec agitation (genre Tox-O-Wik) retrouve ses partisans. Ces derniers n'ont pas tout à fait tort de considérer que ce type de séchoir peut s'en tirer mieux que d'autres. En effet, la vis verticale mélange les grains de sorte que ceux qui sont descendus le long de la paroi intérieure du plénum d'air chaud ont de bonnes chances d'éviter cette position dommageable lors du passage suivant. Ce mélange redistribue les grains et contribue à ce que la fourchette des teneurs en eau à la sortie du séchoir soit rétrécie par rapport à un séchoir sans agitation.

De plus, l'agitation constante prévient la formation de ponts dans le séchoir, mais cette même vis de mélange peut favoriser un bris non négligeable des grains. Enfin, la perte de volume importante des grains en cours de séchage oblige à ajouter des grains humides pour maintenir le remplissage du séchoir et ces derniers grains ne seront pas aussi secs à la fin du séchage de la fournée.

5. Abaisser la température de l'air chaud

Abaisser la température de l'air réduit la surchauffe des grains. La surchauffe est due à la combinaison des facteurs température de l'air et temps d'exposition dans le séchoir. Même si le temps de séjour augmente avec une réduction de la température, il y a un gain sur la

qualité des grains. Cependant, on doit noter que le débit du séchoir diminue et que plus la température de l'air est basse plus il faut de carburant pour évaporer chaque kilogramme d'eau.

L'entreposage et la ventilation des grains secs

Il faut bien ventiler tous les grains séchés. Il est encore plus important de bien ventiler les grains récoltés très humides car ils sont plus sales, davantage brisés et mal séchés et parce que leur teneur en eau finale est moins uniforme. Il se crée dans le silo d'entreposage des zones difficiles à ventiler ou de grains trop humides pour une bonne conservation. Il est donc essentiel de bien surveiller les silos de grains de moindre qualité et de les vider dès que possible.

Le CÉROM a développé et expérimenté un concept d'automatisation de la ventilation des silos de grains pour les conditions québécoises (S. Fortin et J. Quenneville). Une entreprise (Multico Électrique de Drummondville) fabrique et commercialise maintenant le contrôleur automatisé qui prend en charge la ventilation du silo en assurant sa gestion 24 heures sur 24 selon ce concept. La ventilation d'un silo de maïs peut aussi être opérée manuellement si on respecte les quatre grandes étapes qui suivent les saisons.

- **Ventilation d'automne**

Suite au remplissage du silo, on ventile pour s'assurer que les grains qui viennent sont refroidis uniformément et à fond. Par la suite, on ventile pour amener le silo sous le point de congélation pour la conservation d'hiver (entre 0 et -5 °C). Il faut s'assurer que tout le silo a bien été refroidi à ce niveau. Il n'est pas souhaitable de refroidir davantage le silo car la ventilation de printemps s'en trouvera plus difficile à conduire. De plus, la condensation sur le dessus du silo et sur le plancher perforé sera accrue lors des périodes de redoux et au printemps.

- **Ventilation d'hiver**

On doit maintenir le silo froid pendant tout l'hiver, empêcher le développement de zones chaudes et prévenir le développement d'odeurs. Pour y parvenir, on ventile deux à trois blocs de 3 à 4 heures consécutives chacun par deux semaines quand la température de l'air extérieur est voisine de celle des grains de façon à ne pas modifier la température du silo, mais plutôt de la maintenir entre 0 et -5 °C.

- **Ventilation de printemps**

Si le silo doit être vidangé avant la mi-juin, on ne ventile pas le silo. Pour les grains qui passeront une bonne partie de l'été en silo, il faut entreprendre un réchauffement progressif dès avril. En effet, il est important de procéder au réchauffement du silo par paliers successifs d'au plus 5 °C car un réchauffement trop important peut entraîner des problèmes de condensation de l'humidité de l'air tiède sur les grains trop froids. La ventilation se fait par cycle de façon à compléter chaque palier de réchauffement entrepris. On entreprend donc un cycle lorsque les conditions climatiques s'annoncent stables pour quelques jours.

- **Ventilation d'été**

Les températures ambiantes de l'été ne permettent pas de refroidir fortement les grains, mais il faut noter qu'à tous les mois, il y a plusieurs heures et journées où la température ambiante est de 20 °C et moins. Une ventilation périodique de nuit maintiendra ou ramènera le silo à un niveau de température sécuritaire. Si l'inspection révèle l'amorce de points chauds, on ventile les grains sans délai, même par temps chaud et il faut vidanger le silo dès que possible.

L'inspection des silos

Le silo contient le revenu de l'année. Les grains sont vivants et ils évoluent toujours vers une détérioration et un réchauffement. Il faut donc faire une inspection sérieuse du silo, au moins à chaque semaine, qu'on soit en automne, à l'hiver, au printemps ou à l'été.

2002-01-10

Le Centre de recherche sur les grains (CÉROM) inc. a pour mission de faire de la recherche d'intérêt public et collectif pour le développement du secteur de la production de grains. Le Centre de recherche sur les grains inc. a été créé à l'initiative du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec auquel se sont associées la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec et la Coopérative fédérée de Québec dans le financement et la gestion de la recherche du CÉROM.

335 Chemin des Vingt-cinq Est
Saint-Bruno de Montarville (Québec)
Canada J3V 4P6

Tél. : 450 653-4413
Fax. : 450 441-5694

www.cerom.qc.ca