



SÉCHOIRS À GRAINS À AIR CHAUD

PUBLICATION 1700



Agriculture and
Agri-Food Canada

Agriculture et
Agroalimentaire Canada



CANADA / MANITOBA

SÉCHOIRS À GRAINS À AIR CHAUD

O.H. FRIESEN, Ingénieur du génie rural, ministère de l'Agriculture du Manitoba, Winnipeg (Manitoba)

En vertu des dispositions du Programme coopératif de l'édition sur le plan fédéral-provincial et régional, Agriculture Canada a accepté d'imprimer cette publication qui a été produite à l'origine par le ministère de l'Agriculture du Manitoba.

PUBLICATION 1700, disponible auprès des Services d'information, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1980
Cat. n° A53-1700/1980F ISBN : 0-662-10865-5
Imprimé en 1980 10M-8:80

Also available in English

TABLE DES MATIÈRES

SÉCHOIRS À GRAINS À AIR CHAUD	4
AVANTAGES DU SÉCHAGE DU GRAIN	4
RELATIONS AVEC LA TENEUR EN EAU DU GRAIN	5
DURÉE D'ENTREPOSAGE MAXIMALE DU GRAIN HUMIDE	5
TENEUR EN EAU MAXIMALE PENDANT L'ENTREPOSAGE	7
DÉPLACEMENT DE L'HUMIDITÉ	7
HUMIDIMÈTRES	7
REMONTÉE DU TAUX D'HUMIDITÉ	7
EFFETS MÉTÉOROLOGIQUES SUR LE SÉCHAGE	7
HUMIDITÉ RELATIVE	7
VENT ET SOLEIL	8
TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT	8
TEMPÉRATURE DE SÉCHAGE MAXIMALE	8
DÉTECTION DE LA TEMPÉRATURE	9
VÉRIFICATION DES DOMMAGES PAR ÉCHAUFFEMENT	10
RÉSEAU DE MANUTENTION DU GRAIN POUR SÉCHOIR	10
TYPES DE SÉCHOIRS	11
SÉCHOIRS À CELLULES VERTICALES	12
Procédé discontinu en cellules	12
Plateau de séchage surélevé	14
Vis de brassage	14
Dispositifs de recirculation et à débit continu	15
SÉCHOIRS MOBILES	15
Séchoirs discontinus	15
Séchoirs continus	18
SÉCHAGE PAR ÉTAPES	20
REFROIDISSEMENT LENT DIFFÉRÉ	20
COMBINAISON DE PROCÉDÉS	21
VENTILATION	21
VITESSE ET EFFICACITÉ DU SÉCHAGE	22
CAPACITÉ DES SÉCHOIRS	22
EFFICACITÉ DES SÉCHOIRS	23
COÛTS DU SÉCHAGE	24
INCENDIES DANS LES SÉCHOIRS	25
ANNEXE	26
REMERCIEMENTS	29

SÉCHOIRS À GRAINS À AIR CHAUD

La présente publication expose les principes et les problèmes du séchage du grain à air chaud, ainsi que les caractéristiques des types communs de séchoirs à grains. Elle ne fournit pas de consignes d'utilisation spécifiques pour les marques et les modèles divers. Les consignes d'utilisation et l'information au sujet des dispositifs particuliers de commande et de sécurité se retrouvent dans le manuel de l'utilisateur. Lisez le manuel attentivement et assurez-vous que le séchoir satisfait à toutes les normes de sécurité fédérales et provinciales obligatoires. Le séchoir doit être approuvé par l'Association canadienne de normalisation (CSA) ou par l'Association Canadienne du Gaz, ou avoir reçu une acceptation spéciale du ministère du Travail de votre province.

AVANTAGES DU SÉCHAGE DU GRAIN

Le séchage du grain est de plus en plus fréquent dans les Prairies canadiennes. Pour de nombreux agriculteurs, il fait maintenant partie des activités normales de la récolte du grain au lieu de n'être utilisé que lors des saisons de récolte très humides. Ce processus comporte une quantité d'avantages :

Prolongement de la saison de récolte — Si on utilise un séchoir à grains, il est possible de récolter pendant des heures supplémentaires le matin et le soir de chaque jour, ainsi que pendant plusieurs jours de plus chaque année. Le nombre d'heures disponibles pour la récolte se voit augmenté considérablement dans la plupart des régions, ce qui pourrait réduire l'investissement total en machinerie. Au lieu d'acheter une deuxième moissonneuse-batteuse ou de s'en procurer une de taille supérieure, il est possible d'utiliser une moissonneuse-batteuse plus petite ainsi qu'un séchoir. Dans le cas des agriculteurs qui font appel à des employés contractuels pour la récolte, un séchoir à grains peut leur permettre de terminer la récolte tôt dans la saison. Quoi qu'il en soit, si le système de récolte comprend un séchoir, toutes les moissonneuses-batteuses peuvent être utilisées pour récolter plus de grains.

Récolte hâtive — Il est possible de commencer la récolte plus tôt si l'on utilise un séchoir à grains. Le blé, l'avoine et l'orge peuvent être battus quand ils ont une teneur en eau (TE) de 20 %, puis séchés sans qu'il y ait de diminution de qualité, de déclassement ou de perte de pouvoir de germination. Si l'on compare cette situation avec une récolte de grains contenant 14 % d'humidité, la différence peut n'être que d'un ou deux jours à la mi-août, mais on parle de quatre jours ou plus à la mi-

septembre. Dans l'éventualité d'un épisode pluvieux, la différence pourrait être beaucoup plus considérable. Une récolte hâtive peut permettre aux agriculteurs de récolter leur grain à un taux d'humidité plus proche de la teneur la plus faible en eau (grain dit « sec »), ce qui maximise leur masse de grain à vendre. En terminant leur récolte plus tôt, les agriculteurs peuvent alors enrayer plus efficacement les mauvaises herbes par un traitement chimique et des travaux du sol opportuns.

Réduction des pertes au champ — La récolte de grain gourd¹ ou humide² peut réduire les dommages dus aux intempéries et les pertes occasionnées par la faune. Le déclassement peut représenter une diminution de 5 % du prix et une perte de poids de 5 %, soit une perte totale de 10 %. Une récolte effectuée avant un épisode pluvieux, plutôt qu'après, entraîne des économies considérables. Une récolte hâtive peut empêcher le surséchage des cultures, qui provoque l'égrenage sur pied et les pertes de récolte. La coupe directe de certaines cultures, telles que le tournesol et le maïs, s'impose. En les récoltant quand elles sont humides, on réduit considérablement les pertes de récolte. Si le système de récolte comprend un séchoir, il peut aussi être possible de moissonner directement d'autres cultures. Le remplacement d'une andaineuse par un séchoir constitue donc une possibilité envisageable.

Élimination de la détérioration lors de l'entreposage — Quand les grains gourds ou humides sont récoltés sans être séchés, ils se détériorent souvent pendant un entreposage à long terme. Le déplacement de l'humidité à l'intérieur des cellules à grains peut rendre les grains qui sont légèrement gourds ou même secs impropres à l'entreposage. Un séchage adéquat et la ventilation de l'entrepôt peuvent réduire ou éliminer les problèmes de détérioration occasionnés par les points d'échauffement et les infestations d'insectes.

Le prix à l'origine d'un séchoir à grains constitue l'un des principaux éléments jouant en défaveur du séchage du grain. Si seulement de petites quantités de grains sont séchées chaque année, le coût à l'origine du séchoir devrait être le principal facteur à considérer (voir *Coûts du séchage*). Lorsque de grandes quantités de grains sont séchées, l'efficacité énergétique doit d'abord être prise en compte.

Le travail requis et les inconvénients du séchage constituent aussi des éléments dissuasifs dans de nombreuses exploitations agricoles dépourvues d'installations centralisées d'entreposage du grain. Afin de tirer le plus de profit d'un séchoir à grains, il est nécessaire d'installer

¹ Gourds = Valeurs de TE entre celles du Tableau 1 et 17 % pour les céréales et 13 % pour les oléagineux.

² Humide = TE supérieure à 17 % pour les céréales et à 13 % pour les oléagineux.

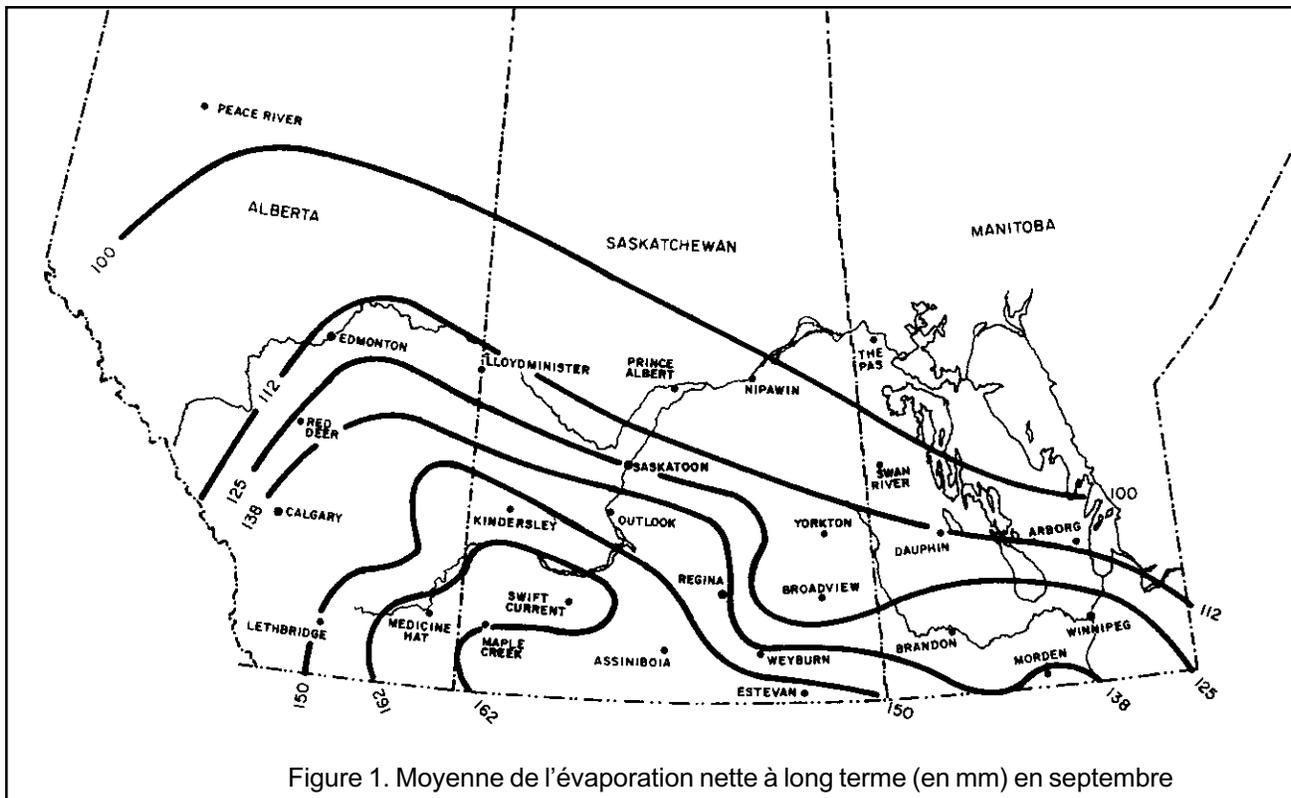


Figure 1. Moyenne de l'évaporation nette à long terme (en mm) en septembre

un système bien organisé pour la manutention et l'entreposage du grain.

En raison des variations climatiques, la nécessité de recourir à un séchoir à grains diffère selon les régions. La figure 1 illustre les régions des prairies pour lesquelles l'évaporation nette est la même en septembre, selon les données à long terme obtenues du Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada. Les valeurs pour les années particulières peuvent s'écarter légèrement des moyennes à long terme. La topographie naturelle d'une région, comme les lacs, les collines et les bois, peut aussi occasionner des variations notables par rapport à la tendance générale. En général, toutefois, le besoin de procéder au séchage du grain dans les prairies s'accroît du sud-ouest au nord-est. Dans les régions les plus arides, un séchoir peut être requis seulement une année sur dix pour le blé, l'avoine et l'orge, tandis que dans les régions les plus au nord, le besoin pourrait se faire sentir aussi souvent que neuf années sur dix. Dans le cas de la culture commerciale du maïs-grain, un séchoir est indispensable dans toutes les régions. Le tournesol, le colza et plusieurs autres cultures devraient aussi être récoltés chaque année quand ils sont humides, afin de réduire les pertes au champ et de récolte.

RELATIONS AVEC LA TENEUR EN EAU DU GRAIN

DURÉE D'ENTREPOSAGE MAXIMALE DU GRAIN HUMIDE

La durée d'entreposage du grain humide avant le séchage dépend de la température et de la teneur en eau du grain. Les figures 2, 3 et 4 indiquent les durées approximatives d'entreposage sans risque pour diverses cultures et conditions. À noter que, dès l'apparition de points d'échauffement, la détérioration occasionnée par les moisissures et par les infestations d'insectes s'accélère. Par conséquent, il faut surveiller attentivement la température du grain humide afin d'assurer un entreposage sans risque, même si la température de l'air est bien au-dessous de 0 °C.

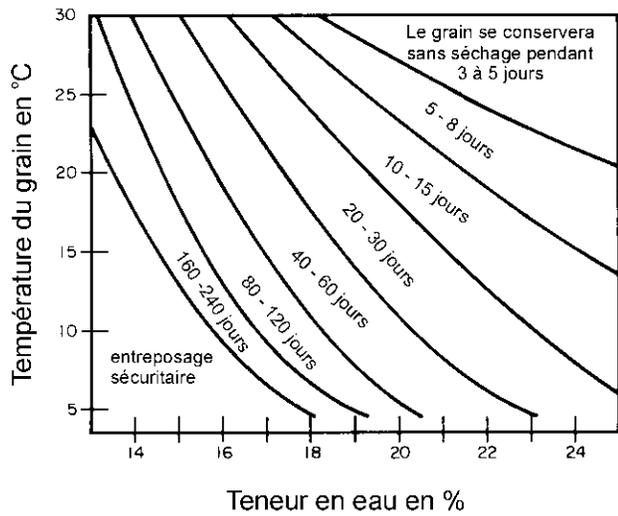


Figure 2. Effet de la température et de la teneur en eau sur la durée de l'entreposage sans risque du blé, de l'avoine et de l'orge

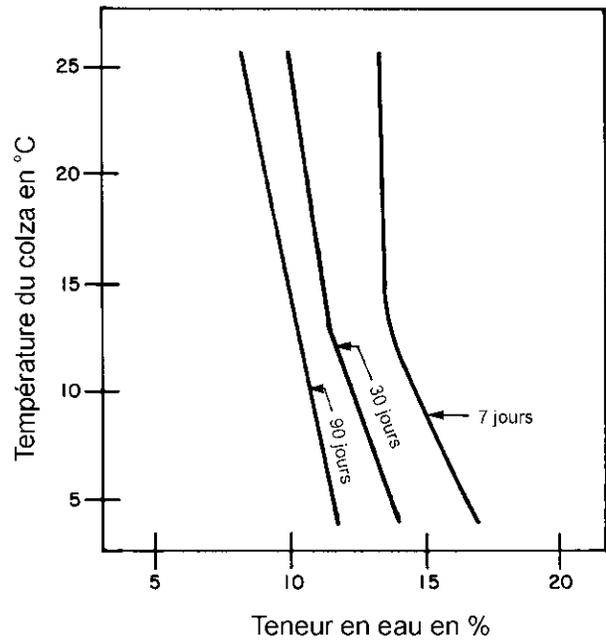


Figure 3. Effet de la température et de la teneur en eau sur la durée de l'entreposage sans risque du colza ventilé en continu

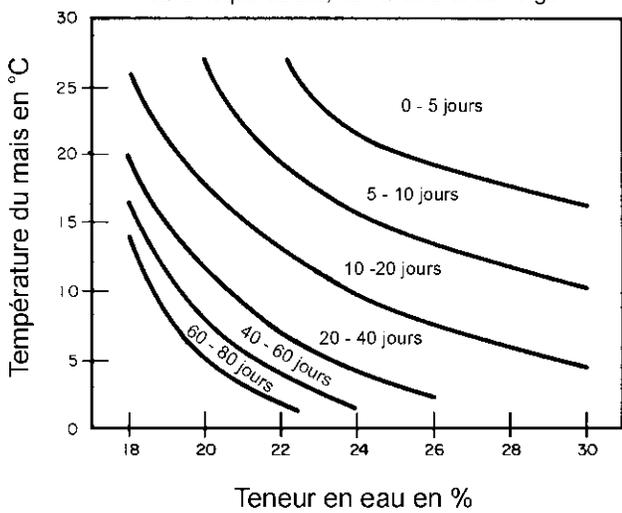


Figure 4. Effet de la température et de la teneur en eau sur la durée de l'entreposage sans risque du maïs

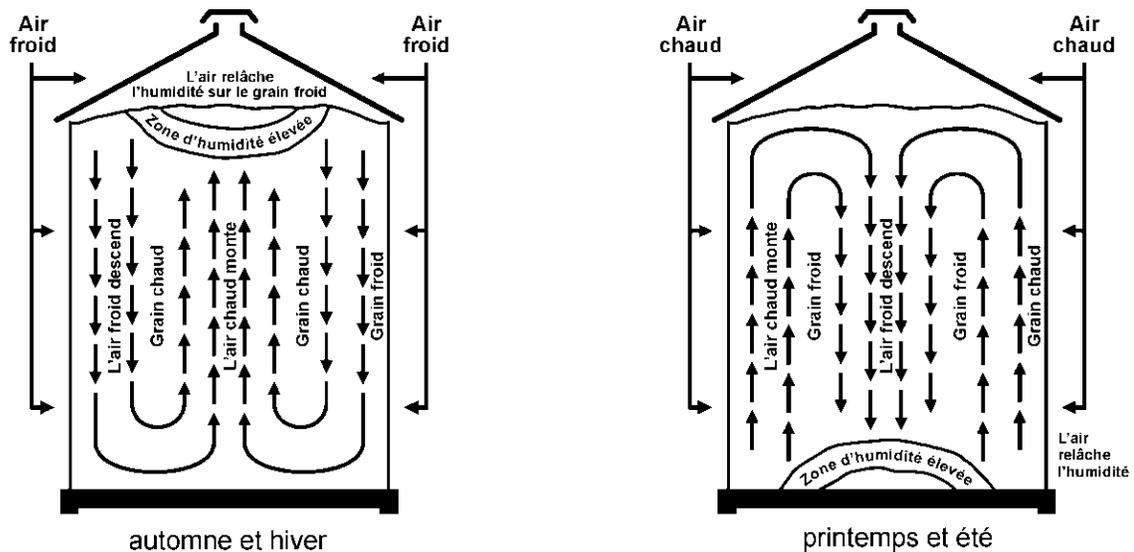


Figure 5. Déplacement de l'humidité

TENEUR EN EAU MAXIMALE PENDANT L'ENTREPOSAGE

Les teneurs en eau maximales pour un entreposage sans risque pendant le premier hiver sont indiquées dans le tableau 1.

Le grain mis dans une cellule par temps chaud ou qui contient des matières vertes pourrait s'échauffer même aux teneurs en eau fournies dans le tableau 1. L'entreposage à long terme ou la transformation des cultures spéciales peut exiger des teneurs en eau plus faibles que celles indiquées.

DÉPLACEMENT DE L'HUMIDITÉ

Le grain entreposé à la teneur en eau maximale « sécuritaire », ou presque, peut comporter des zones riches en humidité à cause du déplacement de l'humidité. Cette situation est occasionnée par les variations dans la température de l'air extérieur qui entraînent des courants d'air de convection dans la cellule (Figure 5) et peut donner lieu à la détérioration des grains près du centre du dessus en hiver ou près du centre du fond de la cellule en été. Le déplacement de l'humidité est plus grave si le grain est chaud quand il est stocké et s'il est entreposé dans une cellule de grande taille. Un système de ventilation peut empêcher ces ennuis en maintenant une température et une teneur en eau uniformes à l'intérieur de la cellule. Toutes les cellules qui servent à refroidir le grain ou qui mesurent 100 m³ ou plus doivent être munies d'un système de ventilation (voir *Ventilation*).

HUMIDIMÈTRES

Il existe divers types d'humidimètres sur le marché dont l'exactitude et la fidélité sont très variables. Certains d'entre eux sont suffisamment précis seulement lorsque près du point « sec » : ils deviennent de moins en moins précis à mesure que la teneur en eau augmente. Certains se révèlent très rigoureux pour un type de grain mais pas du tout pour d'autres. Quelques-uns sont très précis pour la plupart des grains et pour un large éventail de teneurs en eau. De plus amples informations au sujet des différents humidimètres peuvent être obtenues du Prairie Agricultural Machinery Institute, à Humboldt (Saskatchewan) ou de la Commission canadienne des grains, à Winnipeg (Manitoba).

REMONTÉE DU TAUX D'HUMIDITÉ

Quand le grain est séché rapidement (par exemple, une chute de 6 % en 2 heures ou moins) dans un séchoir à air chaud, on observe couramment une remontée de son taux d'humidité. Le grain qui sort du séchoir peut être sec à la vérification, mais contenir 1 % ou même 1,5 % d'humidité de plus lorsqu'il est vérifié après quelques jours d'entreposage. Cette augmentation est attribuable

à la différence de teneur en eau dans le grain et au type d'appareil de mesure utilisé. La partie extérieure du grain sèche plus rapidement et présente un taux d'humidité plus faible immédiatement après le séchage. Quand la teneur en eau s'uniformise, l'appareil va indiquer un taux d'humidité un peu plus élevé qu'auparavant. Les ennuis de cette nature sont habituellement résolus en surséchant le grain d'environ 1 % au départ. Il faut faire extrêmement attention afin de ne pas sursécher le grain dans son ensemble. Plus la teneur en eau est faible, plus le grain est sensible aux dommages par échauffement. De plus, le surséchage nécessite plus de temps et de combustible et fait baisser inutilement le poids du grain. Un surséchage de 2 % représente une perte de 2,5 % du poids et de la valeur marchande du grain.

Lors de la vérification des grains chauds au sortir du séchoir, il faut placer immédiatement l'échantillon dans un sac de plastique afin d'empêcher qu'il perde de l'humidité et le laisser refroidir jusqu'à ce qu'il atteigne la température ambiante avant d'en mesurer le taux d'humidité.

EFFETS MÉTÉOROLOGIQUES SUR LE SÉCHAGE

HUMIDITÉ RELATIVE

Le grain sèche naturellement quand l'humidité relative (H.R.) de l'air se situe sous le degré d'humidité d'équilibre du grain. Si l'humidité relative dépasse cette valeur, le grain s'humidifie. Les degrés d'humidité d'équilibre approximatifs pour les céréales et les oléagineux sont exposés dans le tableau 2.

Si l'air ambiant est utilisé pour le séchage, son H.R. a un effet important sur la vitesse de séchage. Toutefois, l'H.R. chute rapidement si l'air est chauffé et l'H.R. initiale n'exerce pour ainsi dire aucun effet si l'air est chauffé à 30 °C ou plus. De l'air à 15 °C et à 100 % d'H.R. n'aura que 7 % d'H.R. une fois chauffé à 65 °C. Même si de l'air à 15 °C est chauffé à seulement 45 °C, l'H.R. ne dépassera pas 20 %. L'H.R. ne ralentira sensiblement le séchage que lorsqu'une température de l'air initiale assez élevée (plus de 20 °C) est combinée à une H.R. élevée et à une basse température de séchage (moins de 40 °C)

TABLEAU 1. TENEUR EN EAU MAXIMALE LORS DE L'ENTREPOSAGE

Blé	14,5 %	Colza	8,5 %
Orge	14,8	Maïs	15,5
Avoine	14,0	Pois	16,0
Seigle	14,0	Tournesol	9,5
Lin	10,5	Moutarde	11,0
Sarrasin	16,0	Graine de l'alpiste des Canaries	12,0

TABLEAU 2. DEGRÉ D'HUMIDITÉ D'ÉQUILIBRE DES CÉRÉALES ET DES OLÉAGINEUX

Humidité relative de l'air	Céréales		Oléagineux	
	à 25 °C	à 10 °C	à 25 °C	à 10 °C
58 %	12 %	13 %	7,5 %	8,5 %
65	13	14	8,4	9,4
71	14	15	9,3	10,3
76	15	16	10,2	11,2
80	16	17	11,2	12,2
83	17	18	12,2	13,2
85	18	19	13,2	14,2

VENT ET SOLEIL

Il est nécessaire de comprendre le fonctionnement des commandes du séchoir afin de saisir les effets du vent et du soleil sur le séchage du grain. La durée du séchage, dans la plupart des séchoirs continus et discontinus à arrêt automatique, est régulée par un thermostat situé près de l'extérieur de la colonne de grain. Quand la température du grain atteint la valeur prédéterminée, l'appareil autodéchargeur se met en marche ou, pour ce qui est des séchoirs discontinus, le chauffage est arrêté.

Le vent et le soleil peuvent influencer sur les propre thermostat, on constatera qu'en dépit des réglages identiques, une des colonnes de grain se déplacera plus vite que l'autre exposée au vent. On croit à tort que le côté exposé au vent sèche beaucoup plus lentement. En fait, la pression du vent est négligeable par rapport à la pression à l'intérieur du séchoir (les séchoirs fonctionnent souvent à une pression négative). Le vent lui-même n'a peu ou pas d'effet nuisible sur le fonctionnement d'un séchoir, et il n'est pas nécessaire de protéger le séchoir du vent. La protection peut, en fait, être préjudiciable car elle peut favoriser le retour de l'air humide dans le séchoir et la formation de tourbillons d'air humide et de débris qui incommode l'opérateur. Un séchage entièrement satisfaisant a été

obtenu dans de nombreux séchoirs non protégés, à des vents allant jusqu'à 50 km/h.

L'effet du soleil qui frappe sur un thermostat sera contraire à celui du vent. Le thermostat du côté ensoleillé permettra un débit de grain plus élevé que celui sur le côté à l'ombre. Étant donné que la vitesse du vent et l'ensoleillement changent, les thermostats non protégés peuvent devoir être réajustés afin d'empêcher le sous-séchage ou le surséchage. Toutefois, les effets du vent et du soleil sur le rendement réel du séchoir sont négligeables.

TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT

Les différences dans la température de l'air ambiant ont peu d'impact sur la vitesse de séchage si la température de l'air séchant est maintenue. Par contre, la température de l'air ambiant exerce un effet très important sur la consommation de combustible. Le tableau 3 indique la consommation relative de combustible pour maintenir une température de séchage de 65 °C.

Le séchage en début d'automne est beaucoup moins dispendieux que celui à l'hiver et permet aux agriculteurs de tirer davantage profit du séchage du grain. Quand la température de l'air ambiant est élevée, la température initiale du grain est aussi élevée, ce qui réduit encore plus les dépenses en combustible et le temps de séchage. Certains séchoirs peuvent avoir un brûleur de capacité insuffisante pour engendrer une température élevée dans le plénum à une Le

Des températures de l'air plus élevées que celles du tableau 4 sont sécuritaires dans certaines conditions. Si le grain est très humide, elles peuvent les dépasser de 20 °C et être utilisées sans danger au cours des premiers stades du séchage parce que le refroidissement par évaporation maintient le grain à une basse température. À mesure que le grain s'approche du stade « gourde », les températures doivent être baissées aux niveaux indiqués au tableau 4, ou encore plus bas. Cela peut être effectué manuellement ou à l'aide d'une minuterie dans n'importe quel séchoir discontinu. Les températures utilisées dans un séchoir continu à ventilation radiale (dans lequel la ventilation est perpendiculaire au débit du grain), ainsi que dans une unité de chauffage simple ne devraient pas dépasser celles du tableau 4. D'autres types de séchoirs continus peuvent fonctionner à des températures légèrement plus élevées, mais l'on devrait vérifier si le grain séché a été endommagé.

DÉTECTION DE LA TEMPÉRATURE

La détection inexacte de la température constitue un problème commun du séchage du grain. Les thermomètres peuvent s'endommager ou sont

quelquefois mal situés et n'indiquent pas la température la plus élevée dans le plénum d'air, ce qui occasionne souvent des dommages aux grains malgré que la température indiquée soit dans la marge admissible. Le meilleur moyen d'éviter cet ennui consiste à utiliser des thermomètres supplémentaires dans le plénum d'air chaud et de vérifier la température du grain le plus proche du plénum à l'aide d'une sonde thermique. Il existe divers types d'indicateurs de température, quoique les thermomètres à dilatation de gaz sont ceux qui sont utilisés le plus fréquemment dans les séchoirs. On peut en obtenir chez les commerçants de séchoirs ou chez les fournisseurs de thermomètres dans les grandes villes.

Si la température du grain est mesurée, il est très important de connaître l'emplacement exact du bulbe thermostatique dans la colonne de grain. Les variations typiques de température et d'humidité dans un séchoir discontinu ou continu fixe sont présentées dans le diagramme ci-dessous. Un bulbe thermostatique pourrait indiquer une température entre 35 et 65 °C selon son emplacement dans la colonne de grain.

TABLEAU 3. CONSOMMATION RELATIVE DE COMBUSTIBLE À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES AMBIANTES

Température de l'air ambiant	Consommation relative de combustible
15 °C	1,0
-7 °C	1,5
-30 °C	2,0

TABLEAU 4. TEMPÉRATURE MAXIMALE DE SÉCHAGE

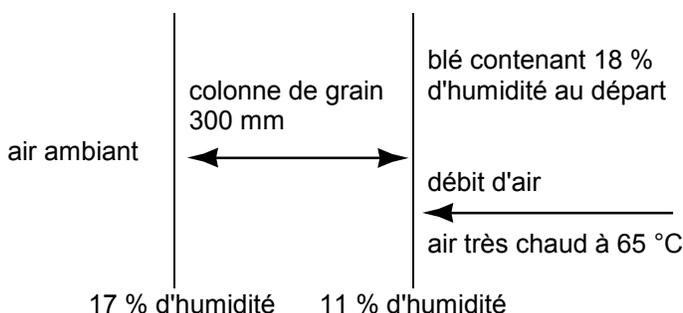
	Ensemencement ou maltage	Usage commercial	Alimentation du bétail
Blé	60 °C	65 °C	80 – 100 °C
Avoine	50	60	80 – 100 °C
Orge	45	55	80 – 100 °C
Seigle	45	60	80 – 100 °C
Maïs	45	60	80 – 100 °C
Lin	45	80	80 – 100 °C
Colza	45	65	80 – 100 °C
Pois	45	70	80 – 100 °C
Moutarde	45	45	80 – 100 °C
Tournesol	45	50	80 – 100 °C
Sarrasin	45	45	80 – 100 °C

Les différences de température et d'humidité dans les séchoirs discontinus à recirculation du grain sont, dans la plupart des cas, moindres que dans les séchoirs discontinus ou continus fixes sans mélange du grain. Plus la vitesse de l'air est faible (comme avec le colza ou le lin), plus les écarts augmentent, et c'est le contraire qui se produit quand la vitesse s'accélère. Étant donné que les indicateurs de température du grain peuvent être situés à divers endroits dans la colonne de grain, les températures indiquées ne devraient pas être considérées comme des indicateurs de températures de séchage sécuritaires.

dommages par échauffement. Renseignez-vous auprès de votre acheteur au début du séchage pour vous assurer que le grain séché répond à ses critères.

RÉSEAU DE MANUTENTION DU GRAIN POUR SÉCHOIR

Un réseau de manutention du grain efficace constitue l'un des facteurs les plus importants du séchage du grain. Si le grain qui sèche pendant la récolte occasionne des goulots d'étranglement, des inconvénients et des problèmes de main-d'œuvre, le séchage aura alors tendance à n'être utilisé qu'en dernier recours. Maints avantages potentiels du séchage sont perdus dans une telle situation. Le réseau de manutention



La différence d'humidité peut être aussi élevée que 12 % quand le blé contient 20 % d'humidité ou plus au départ.

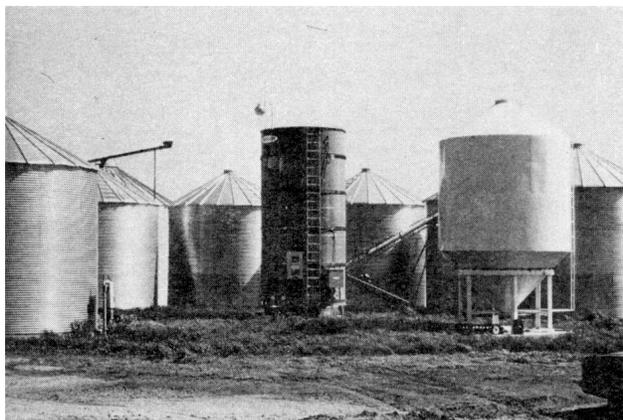
VÉRIFICATION DES DOMMAGES PAR ÉCHAUFFEMENT

Différents tests peuvent être effectués afin de déterminer les températures de séchage acceptables les plus élevées pour une sorte de grain et de séchoir spécifique. Si le grain sert à l'ensemencement, un essai de germination devrait être mené. De plus, un échantillon du grain devrait être prélevé et analysé avant le séchage afin de déterminer si un changement est survenu dans le taux de germination au cours du processus de séchage. La Commission canadienne des grains vérifie gratuitement d'autres grains commerciaux (blé de mouture, orge de brasserie et oléagineux) afin de déceler la présence de dommages par échauffement. Deux échantillons (d'au moins 500 g chacun), l'un extrait avant et l'autre après le séchage, devraient être envoyés au Laboratoire de recherches sur les grains de la Commission canadienne des grains à Winnipeg, au Manitoba. Les échantillons doivent être représentatifs du grain qui entre dans le séchoir et qui en sort. Si la qualité du grain est inchangée, une température plus élevée peut être essayée, et deux autres échantillons envoyés. Plusieurs compagnies qui achètent des oléagineux, du maïs et des grains de semence effectuent aussi des tests pour déceler les

du grain devrait être organisé de façon à ce que le travail relié à l'utilisation du séchoir soit réduit au strict minimum. Les changements entre les périodes de séchage et sans séchage devraient s'effectuer en seulement quelques minutes. Le système de séchage et d'entreposage devrait être conçu de manière à ce que le grain qui sort du séchoir puisse être transféré directement vers une cellule de refroidissement ou un entrepôt sans devoir être chargé dans un camion. Toutes les grosses cellules de stockage devraient être pourvues de systèmes de ventilation afin d'assurer un entreposage sécuritaire.

Le grain humide qui provient du champ devra normalement être placé dans une cellule d'attente pour permettre au camion d'être déchargé rapidement et de retourner à la moissonneuse-batteuse. Il sera ensuite acheminé, au besoin, de la cellule d'attente au séchoir. La cellule doit être assez grosse pour contenir environ la récolte d'une demi-journée. Cela est suffisant pour un système dans lequel le séchoir sèche à la moitié de la vitesse de récolte et fonctionne pendant deux fois plus d'heures que la moissonneuse-batteuse par jour. Selon le processus de séchage et la capacité du séchoir sélectionnés, l'utilisation d'une cellule d'attente du grain humide n'est peut-être pas nécessaire si un séchoir à cellules verticales est utilisé.

Il existe plusieurs arrangements de cellules qui facilitent le transfert du grain du séchoir à l'entrepôt et qui



Sechoir continu et disposition en demi-cercle des constructions servent à l'entreposage

entraînent un minimum de coûts et d'inconvénients. La figure 6 illustre un tel arrangement où le transport du grain est assuré par des vis. La figure 7 expose un autre arrangement où le grain est transporté à l'aide d'un élévateur à godets. Ces deux systèmes peuvent être construits par étape, en commençant avec quelques cellules. Vous pouvez obtenir des plans détaillés de ces arrangements, ainsi que ceux d'autres arrangements auprès d'un ingénieur du ministère de l'Agriculture de votre province ou de consultants en génie agricole. La publication *Complexe pour manutention et entreposage du grain*, qui contient des détails sur l'équipement et d'autres renseignements aux fins de planification, peut être obtenue des Services d'information d'Agriculture Canada ou de l'ingénieur de votre localité.

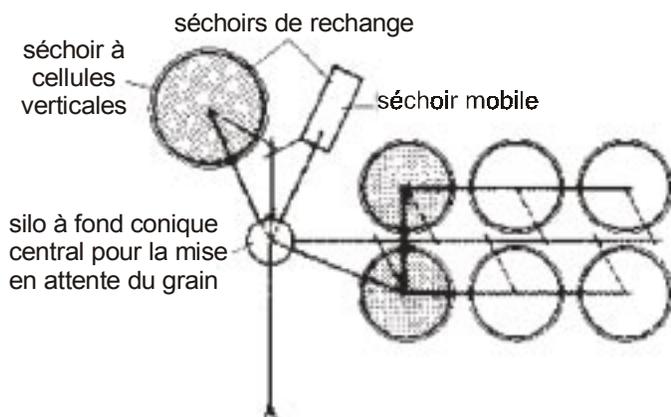


Figure 6. Système de séchage et d'entreposage du grain avec vis sans fin

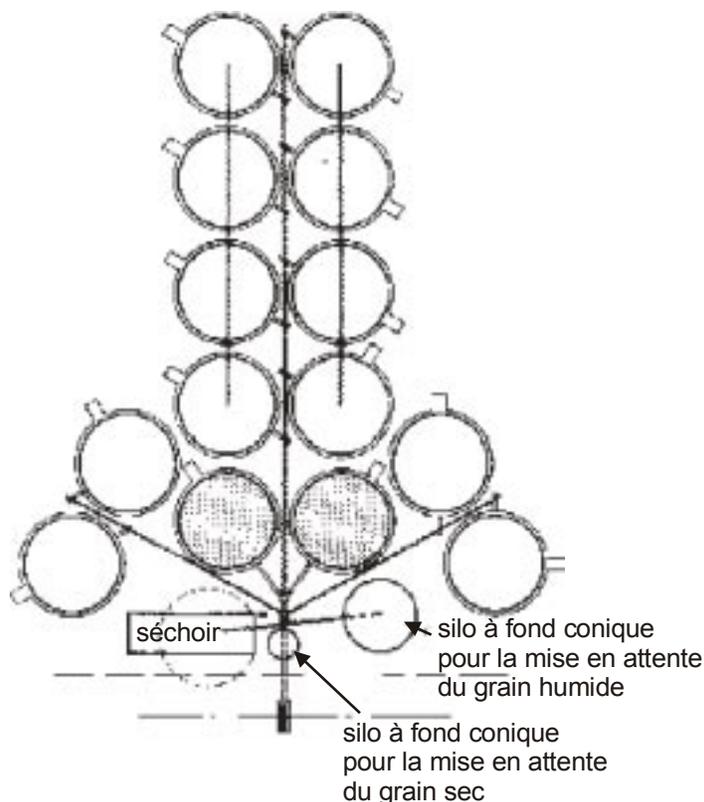


Figure 7. Système de séchage et d'entreposage du grain avec élévateur à godets

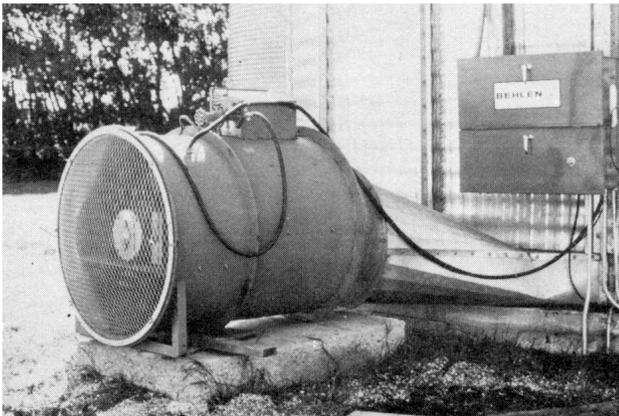
La possibilité qu'un incendie se déclare pendant le séchage de certaines récoltes (surtout le tournesol) constitue un problème particulier à examiner lors de la planification. Une source d'approvisionnement en eau facilement accessible et l'absence de matières combustibles à proximité du séchoir réduisent ce risque au minimum.

TYPES DE SÉCHOIRS

Il existe trois principaux types de séchoirs : le type statique où le grain est chargé par lots et reste immobile dans le séchoir pendant la période de séchage; le type discontinu à recirculation du grain où le grain est chargé par lots et est constamment mélangé au cours du séchage; et le type continu où le grain est chargé et déchargé continuellement ou par intermittence. Ces trois types se vendent pour les cellules fixes et comme séchoirs mobiles. Les caractéristiques de séchage des trois types varient selon l'épaisseur de la couche de grain et le débit d'air. Les caractéristiques, les procédures de fonctionnement et les inconvénients propres à chacun des types seront examinés dans les prochaines sections.

SÉCHOIRS À CELLULES VERTICALES

Disponibles dans une multitude de tailles et de capacités, les séchoirs à cellules verticales peuvent fonctionner de différentes manières afin d'obtenir des vitesses de séchage diverses. Ils possèdent normalement des débits d'air plus lents que ceux des autres types de séchoirs, ce qui entraîne un séchage moins rapide mais aussi une consommation de combustible plus faible. Étant donné que les séchoirs à cellules verticales contiennent habituellement un plus grand volume de grain que les autres types, la quantité de grain séché par journée peut atteindre celle d'un séchoir rapide. Un séchoir à cellules verticales devrait être assez gros pour pouvoir sécher autant de grain en 24 heures qu'il en est récolté au cours d'une journée normale. Les fabricants d'équipement pour le séchage en cellules verticales peuvent fournir de l'information détaillée sur les capacités de séchage en fonction de cellules, d'appareils de chauffage et de matériel auxiliaire différents. En annexe se trouve un exemple de tels renseignements. Au début, un séchoir à cellules verticales peut être installé et fonctionner selon un simple procédé discontinu puis des vis de brassage ou un dispositif pour le séchage continu peuvent lui être ajoutés si on désire augmenter sa capacité



Séchoir à cellules verticales

Procédé discontinu en cellules

L'installation la moins coûteuse utilise le procédé discontinu en cellules. Le matériel de base requis est composé d'une cellule munie d'un plancher entièrement perforé, d'un épandeur de grain, d'un ventilateur, d'un appareil de chauffage, d'une vis de balayage et d'une vis de déchargement sous le plancher (Figure 8). Le ventilateur et l'appareil de chauffage démarrent dès que la première charge de grain humide est vidée dans la cellule et ne s'arrêtent que lorsque la teneur en eau moyenne du grain atteint le niveau voulu. Le grain supplémentaire est chargé dans la cellule à mesure que la récolte progresse. En sélectionnant une épaisseur de la

couche finale de grain appropriée, en fonction de la capacité du séchoir et de la teneur en eau du grain, il est possible de sécher un lot en 12, 24 ou en n'importe quel autre nombre d'heures convenable. Il peut y avoir des différences considérables dans la résistance à l'écoulement de l'air des divers lots de grain selon la méthode de remplissage utilisée, la taille des graines ainsi que la quantité et le type de matières étrangères dans le grain. C'est pour cette raison que les épaisseurs de couches de grain recommandées dans les publications devraient uniquement servir d'indications.

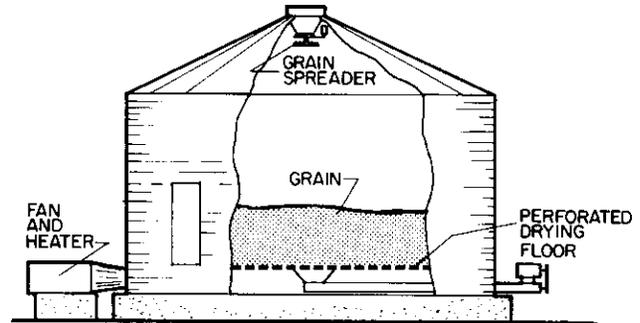


Figure 8. Cellule typique d'un séchoir discontinu

La meilleure épaisseur pour un lot particulier peut être déterminée à l'aide d'un manomètre ou d'un tube en U afin de mesurer la pression statique sous le plancher (Figure 9). Le débit d'air volumique réel peut ensuite être déterminé grâce aux échelles qui accompagnent le ventilateur. Pour obtenir un séchage efficace, on recommande un débit d'air volumique d'environ 125 litres par seconde et par mètre cube de grain ($L/s/m^3$). La figure 10 illustre l'effet de l'épaisseur de la couche de grain sur le débit d'air volumique pour un ventilateur et une cellule de taille courante. Les couches de grain de blé, d'avoine et d'orge contenant moins de 20 % d'humidité mesurent habituellement entre 1,5 et 2 mètres d'épaisseur. Une épaisseur d'environ 0,5 à 1 mètre est utilisée pour le lin et la navette. Quand les teneurs en eau et les températures sont plus basses, la couche de grain peut être plus épaisse (ce qui occasionne un débit d'air plus faible), tandis que si elles sont plus élevées, la couche doit être moins épaisse (ce qui entraîne un débit d'air plus élevé).

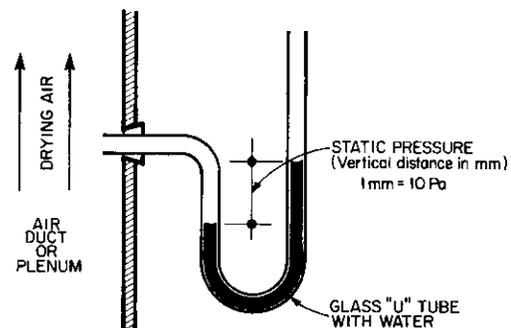


Figure 9. Mesure de la pression statique à l'aide d'un manomètre

La couche de grain doit avoir la même épaisseur sur tout le plancher afin d'assurer un débit d'air et une vitesse de séchage uniformes. Un ajustement adéquat de l'épandeur de grain devrait réduire ou éliminer le besoin de nivellement manuel.

Le grain le plus proche du sol séchera en premier et le « front de séchage » montera ensuite à travers le grain. L'emplacement de ce front donnera un indice du temps de séchage supplémentaire requis. L'utilisation d'une température de l'air plus élevée augmentera quelque peu la vitesse du séchage mais accroîtra aussi le surséchage près du plancher.

Le meilleur moyen d'accélérer le séchage dans un séchoir à cellules est de réduire l'épaisseur de la couche de grain, car cela augmente le débit d'air en plus d'assurer un séchage plus uniforme. Mettre trop de grain par lot constitue une tendance courante qui réduit le nombre de fois que la cellule doit être vidée mais qui diminue fortement la capacité générale de séchage. La vidange de la cellule de séchage et le transfert du grain vers l'entrepôt devraient pouvoir être effectués de la façon la plus rapide et la plus pratique possible pour que plusieurs lots plus petits puissent être séchés chaque jour quand il faut une plus grande capacité de séchage. La vis de balayage devrait avoir au moins 150 mm de diamètre et posséder un bouclier pour vider la cellule en un seul passage. La vis sous le plancher dans toutes les cellules, sauf dans celles qui sont relativement petites, devrait mesurer au moins 200 mm de diamètre et posséder une hélice apparente d'au moins 300 mm, mais préférablement de 500 mm à la trémie de chargement. Les vis doivent aussi avoir une puissance suffisante. Si plusieurs lots doivent être séchés au cours d'une journée, une cellule d'attente du grain humide peut être nécessaire. Une autre méthode consiste à positionner l'appareil de chauffage et le ventilateur de manière à ce qu'ils desservent deux cellules en alternance; ainsi, une cellule peut être remplie et vidée pendant que le contenu de l'autre est séché, ce qui élimine les temps d'arrêt du séchoir et le besoin éventuel d'une cellule d'attente.

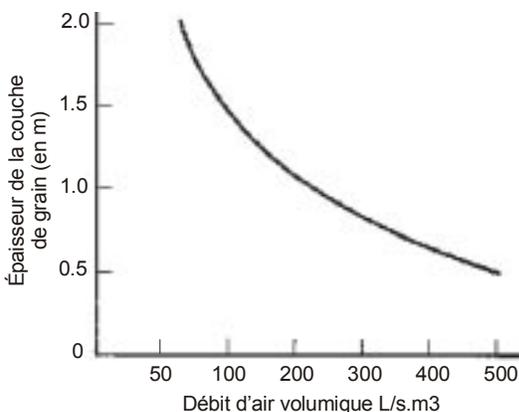


Figure 10. Débit d'air volumique en regard de l'épaisseur de la couche de blé pour une combinaison de tailles de ventilateur et de cellule particulière.

Il est nécessaire de posséder une certaine expérience pour savoir quand arrêter le chauffage et commencer le refroidissement. Le chauffage peut habituellement être arrêté quand le front de séchage est à environ 150 mm de la surface. Une partie de l'humidité sera éliminée lors du processus de refroidissement, c'est pourquoi il n'est pas nécessaire de sécher entièrement le lot à l'air chaud. La quantité d'humidité éliminée au cours du refroidissement dépendra en grande partie de la baisse de la température du grain. Si le grain est refroidi entre 40 et 50 °C, il pourrait perdre entre 1 et 2 %, tandis qu'une baisse moins importante résulterait en une élimination moindre de l'humidité. Si une température de l'air ambiant très élevée est combinée à une humidité relative élevée, le grain pourrait conserver son humidité ou même s'humidifier davantage si le ventilateur est laissé en marche trop longtemps.

Le grain peut être refroidi à l'aide du ventilateur du séchoir ou, si un entrepôt ventilé est disponible, il peut être transféré dans la cellule d'entreposage pendant qu'il est encore très chaud et être refroidi par un ventilateur. Dans les deux cas, le grain devrait être refroidi à la température la plus élevée entre une valeur égale à 5 °C près de la température de l'air ambiant et 2 °C, afin d'empêcher la condensation ou le déplacement de l'humidité. Étant donné que le grain ne possède pas une teneur en eau uniforme à sa sortie du séchoir et qu'un mélange homogène n'est pas assuré, on recommande de placer le grain qui sort d'un séchoir discontinu à cellules verticales dans un entrepôt ventilé dans le but d'éliminer toute variation de l'humidité.

Le séchage par temps froid peut entraîner la formation de condensation sur la face inférieure du plafond ou sur les murs des séchoirs à cellules verticales. Si on laisse cette eau dégoûter sur le grain, les points humides qui seront des sources froides peuvent aussi être réduites si le plafond de la cellule est isolé.

Le séchage des petites graines oléagineuses peut causer des ennuis si ces dernières bloquent les ouvertures dans certains planchers perforés. Le cas échéant, une mince couche de grains plus gros, comme ceux de l'orge ou de l'avoine, peut être étendue sur le plancher et les oléagineux, placés par-dessus. Le grain agit en tant que diffuseur d'air et favorise un débit d'air plus important en plus d'empêcher que les petits grains ne s'échappent à travers le plancher perforé. La vis de balayage est réglée de manière à ne pas enlever les gros grains au fond quand le lot est retiré. Dans l'éventualité où les grains seraient mélangés, il n'est pas difficile de séparer les petites graines des plus grosses. Étant donné que les vis de balayage des séchoirs à cellules verticales ne nettoient pas entièrement le plancher du séchoir, un producteur de semences trouverait probablement qu'un séchoir à cellules verticales est inapproprié puisque son nettoyage exige du travail supplémentaire. La faible quantité de grains mélangés lors du passage d'un type de grain à un autre n'est habituellement pas un problème dans le cas de la

vente de grains commerciaux. Les vis de balayage ont tendance à regrouper les matières fines près du centre de la cellule. Il est donc nécessaire de nettoyer le plancher perforé de temps en temps afin d'empêcher un débit d'air inégal à travers le plancher.

Il existe un nombre de variations du procédé discontinu en cellules élémentaire. On peut se servir d'un cycle de chauffage et de refroidissement en alternance dans le but de réduire la différence d'humidité entre le haut et le bas du lot. Le cycle dure 3 ou 4 minutes, 75 % du temps étant consacré au séchage et 25 % au refroidissement. Lors du refroidissement, la chaleur du grain le plus proche du plénum est acheminée vers le grain plus froid, ce qui uniformise la température et la teneur en eau à travers le lot. En comparaison avec le séchage continu à air chaud, la différence d'humidité pour une couche de grain de 1 mètre d'épaisseur était environ deux fois moins importante avec le séchage en cycle. Afin de compenser pour le temps de chauffage réduit, il est possible d'utiliser des températures de l'air légèrement plus élevées avec cette méthode.

Plateau de séchage surélevé

Certains séchoirs à cellules verticales sont munis d'un plateau de séchage conique surélevé qui est soutenu à environ 1 mètre sous le plafond (Figure 11). Le brûleur et le ventilateur sont installés juste au-dessous du plateau de séchage. Quand le grain est sec, il tombe sur un plancher perforé plus bas où un ventilateur refroidit le grain pendant que le prochain lot est chargé et séché à l'étage supérieur. Des lots supplémentaires tombent sur le grain refroidi jusqu'à ce que la cellule soit remplie à la hauteur du brûleur. Le grain séché est ensuite transféré dans une autre cellule d'entreposage. À l'aide de ce système, le séchage peut continuer pendant que le grain est refroidi et transféré. Il suffit d'environ une minute seulement pour vider le plateau de séchage.

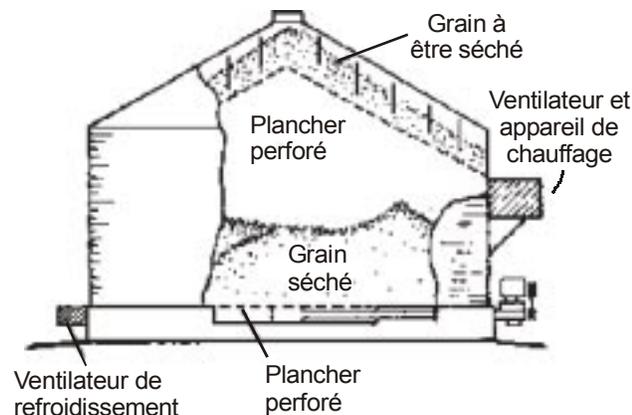
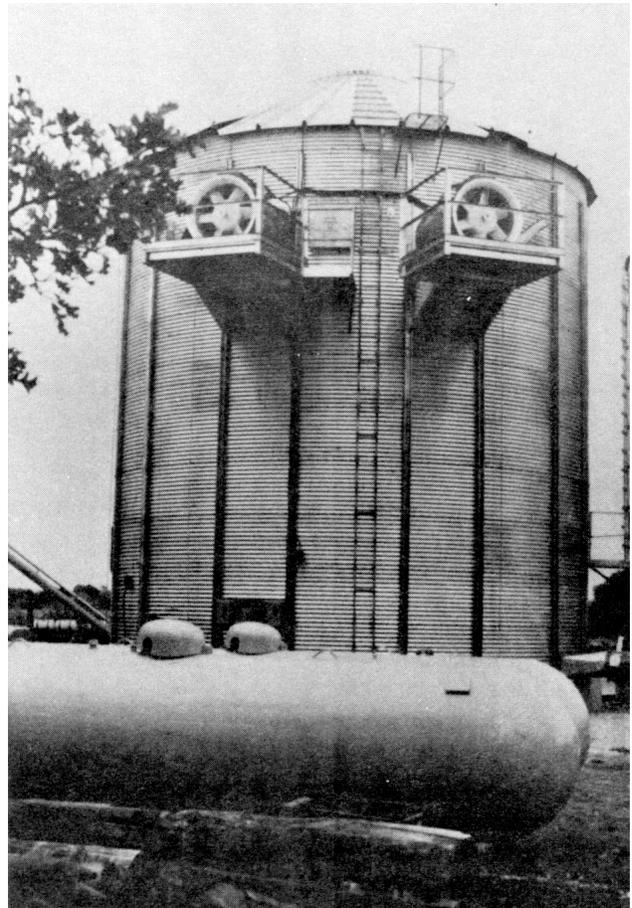


Figure 11. Séchoir à cellules verticales muni d'un plateau de séchage surélevé

There are a number of other devices that can be added



Séchoir à cellules verticales muni d'un plateau de séchage surélevé

Vis de brassage

Des vis de brassage verticales peuvent être ajoutées à un séchoir à cellules verticales dans le but d'accroître l'épaisseur admissible de la couche de grain et d'assurer un séchage plus uniforme (Figure 12). Les vis transfèrent le grain sec vers le dessus de la masse de grain. Le brassage donne aussi du volume au grain, ce qui augmente considérablement le débit d'air. Cela permet normalement une température de séchage légèrement plus élevée qui, conjuguée au débit d'air accru, entraîne une vitesse de séchage beaucoup plus rapide (voir l'Annexe). On peut utiliser des couches de grain de 2 à 4 mètres d'épaisseur avec le blé, l'avoine ou l'orge selon la teneur en eau initiale, et des couches de 1 à 2,5 mètres d'épaisseur pour les petites graines oléagineuses. La vitesse de séchage accrue, la réduction du surséchage au fond et le plus grand volume des lots l'emportent sur la consommation de combustible légèrement plus élevée que peut entraîner l'utilisation de vis de brassage.

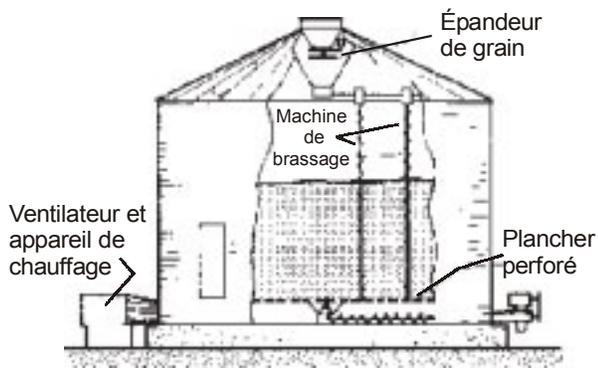


Figure 12. Séchoir à cellules verticales muni d'un dispositif à deux vis de brassage

Dispositifs de recirculation et à débit continu

Il existe de nombreux autres dispositifs qui peuvent être ajoutés aux séchoirs à cellules verticales, soit pour recirculer le grain ou pour assurer un débit plus ou moins continu à l'intérieur de la cellule. La figure 13 illustre un séchoir à cellules verticales équipé comme un séchoir discontinu à recirculation du grain. Le plancher perforé est incliné en son centre afin que le grain se déverse dans une chambre centrale où il est ramassé par une vis verticale et est transporté sur le dessus de la cellule de grain. Le grain est constamment mélangé à mesure qu'il est séché, et le séchage est plus uniforme que celui dans un séchoir discontinu sans recirculation du grain.

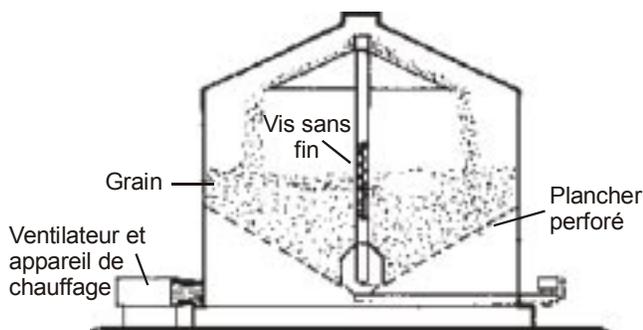


Figure 13. Séchoir discontinu à cellules verticales à recirculation du grain

La figure 14 illustre une autre unité qui peut être utilisée soit pour recirculer le grain ou pour assurer un débit continu. On utilise une vis de balayage pour déplacer le grain séché vers le centre du plancher perforé où il est ramassé par une vis verticale et acheminé vers une vis transporteuse inclinée qui l'achemine dans une cellule de refroidissement. La mise en marche de la vis de balayage est régulée par un thermostat. Le grain peut aussi être recirculé s'il est transporté vers l'unité de recirculation du grain au lieu de la vis transporteuse. Quand l'unité est mise en marche comme un séchoir continu, le refroidissement doit être fait ailleurs. Ce système nécessite donc au moins une autre cellule

ventilée pour terminer le cycle. Le refroidissement lent différé ou le séchage en combiné est normalement utilisé avec ce type de système. Une épaisseur de grain excessive dans les séchoirs à recirculation du grain et continus réduira considérablement la vitesse de séchage. L'épaisseur de la couche de grain devrait être égale ou légèrement supérieure à celle utilisée pour le procédé discontinu en cellules.

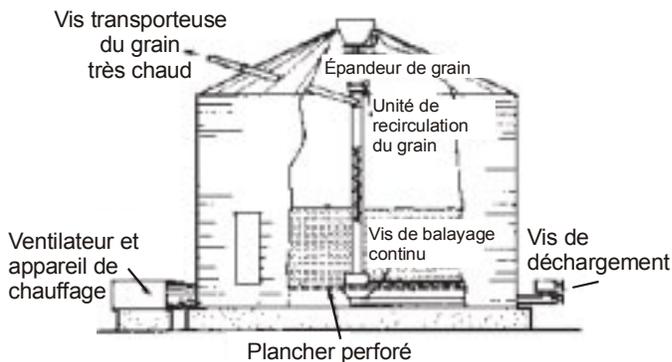


Figure 14. Équipement d'une cellule de séchage continu ou à recirculation du grain

D'autres méthodes de séchage, telles que le séchage par étapes, sont utilisées fréquemment dans les séchoirs à cellules verticales. Ces méthodes seront examinées plus tard puisqu'elles peuvent aussi être utilisées avec tous les autres types de séchoirs (voir *Séchage par étapes*).

SÉCHOIRS MOBILES

Séchoirs discontinus

Il existe deux types fondamentaux de séchoirs discontinus mobiles sur le marché : les types avec recirculation et sans recirculation du grain. Étant pourvus de roues, ces séchoirs peuvent être déplacés; par contre, une fois qu'ils sont livrés à la ferme, il est essentiel de leur trouver un emplacement permanent dans un système de manutention du grain bien planifié pour que le séchage soit efficace et commode. En général, le séchoir mobile attire d'abord l'agriculteur qui exploite des cellules de stockage du grain dispersées ou à qui l'on confie le séchage à contrat à l'extérieur de son exploitation. Bien qu'il puisse combler un besoin immédiat dans une situation d'urgence, un séchoir mobile sans système adéquat de manutention du grain ne sera normalement pas utilisé dans les cas où le séchage pourrait être avantageux sans être absolument essentiel. Mains avantages potentiels d'un séchoir seront perdus s'il n'est pas commode de l'utiliser au pied levé. Il ne faut pas choisir un séchoir parce qu'il est mobile à moins d'avoir l'intention de le vendre dès la crise révolue.

La plupart des séchoirs discontinus doivent être remplis à capacité ou presque pour fonctionner. Si la partie supérieure du plénum d'air n'est couverte que de quelques

centimètres de grain, la majorité de l'air s'échappera par le haut et la plupart de la chaleur sera gaspillée.

Lorsque les séchoirs discontinus sont utilisés pour éliminer uniquement quelques points d'humidité du grain, leur « efficacité temporelle » est nettement réduite. Les temps de remplissage, de refroidissement et de déchargement sont inchangés, mais la durée du chauffage est réduite. Le temps de séchage réel représente alors un pourcentage plus faible de la durée totale de fonctionnement.

Dans le cas des séchoirs discontinus, on peut s'attendre à une variation considérable des vitesses de séchage et de l'efficacité du combustible selon les différents types de grain. Comme l'épaisseur de la couche de grain demeure la même sans égard à la taille des graines, le débit d'air sera nettement moins important pour le séchage des petites graines oléagineuses que pour celui des céréales secondaires et du maïs, en particulier lorsqu'un ventilateur hélicoïde est utilisé. Il en résulte une extraction moins importante d'humidité dans le cas des récoltes comme le lin et le colza, mais aussi une amélioration considérable de l'efficacité du combustible. Comme l'air demeure plus longtemps en contact avec le grain, la période durant laquelle il absorbe de l'humidité est plus longue et, lorsqu'il est évacué, son taux d'humidité relative est plus élevé. On a observé des hausses de plus de 25 % de l'efficacité du combustible pendant le séchage du lin comparativement à celui du blé dans le cas des séchoirs discontinus. Une réduction correspondante de la vitesse d'élimination de l'eau accompagne normalement l'amélioration de l'efficacité du combustible.

Lorsque l'on compare différents séchoirs discontinus, la capacité du ventilateur et la largeur de la colonne constituent des variables importantes. Des ventilateurs plus puissants et des colonnes plus étroites permettront d'obtenir une plus grande vitesse de séchage, mais une efficacité du combustible moindre. Le type de ventilateur est également important. Un ventilateur centrifuge produira normalement un débit d'air plus constant avec différents types de grain et fonctionnera généralement plus silencieusement qu'un ventilateur hélicoïde.

Les problèmes de mesure de la température, comme cela a été discuté précédemment, sont courants avec les séchoirs discontinus, de même qu'avec les autres types de séchoir. Des capteurs qui fonctionnent mal et qui sont mal disposés dans le plénum d'air chaud et les colonnes de grain peuvent donner des indications erronées sur la température. Des thermomètres supplémentaires devraient être installés dans le plénum et dans la colonne de grain qui lui est adjacente afin de réduire ces risques.

Les échantillons prélevés des séchoirs discontinus pour qu'on en vérifie l'humidité doivent être représentatifs du grain dans toute l'épaisseur de la colonne ou de la couche de grain. Un échantillonnage mal fait peut entraîner un surséchage important ou un séchage insuffisant du grain.

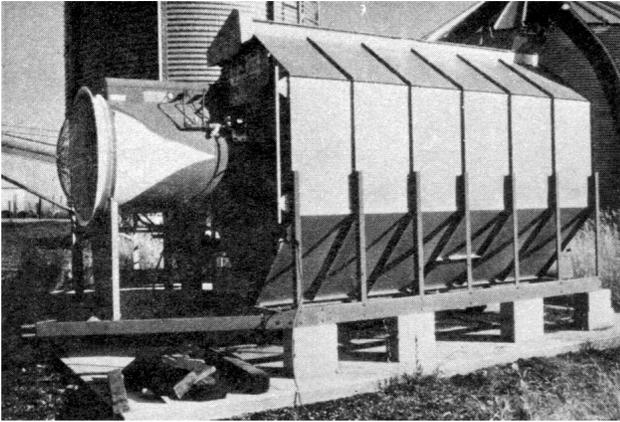
Il est possible d'améliorer considérablement à la fois la vitesse de séchage et l'efficacité du combustible en éliminant le grain chaud d'un séchoir discontinu avant qu'il soit complètement séché et en utilisant l'air non chauffé pour compléter le processus. Cette méthode est discutée plus en détail dans la section sur le *Séchage par étapes*.

Le séchoir discontinu comporte certains avantages par rapport à d'autres types dans le cas du séchage de quantités relativement petites de grains différents. L'amorçage du processus et le changement d'un type de grain à un autre sont relativement faciles comparativement aux opérations avec un séchoir continu, tandis que le déchargement et le nettoyage sont généralement plus faciles que dans le cas d'un séchoir à cellules verticales. Cependant, la plupart des séchoirs discontinus ont des débits d'air nettement plus forts que les séchoirs à cellules verticales; par conséquent, ils consomment considérablement plus de combustible pour sécher la même quantité de grains.

Pour réduire au minimum le temps d'arrêt d'un séchoir discontinu, il est essentiel que le matériel servant au chargement et au déchargement soit très performant. Une vis sans fin de 150 mm ou plus devrait être utilisée pour transférer le grain dans le séchoir et l'en sortir. Une cellule d'attente du grain humide est également nécessaire pour une utilisation efficace d'un séchoir discontinu.

Type sans recirculation du grain – Il existe plusieurs variations de séchoirs discontinus sans recirculation du grain, mais la plupart sont constitués de deux colonnes entièrement enfermées (figure 15). Le séchoir, chargé par le haut, est rempli de grain humide, puis l'air chaud y est forcé jusqu'à ce que le grain soit sec. Le grain ne se déplace pas à l'intérieur du séchoir, aussi la couche à l'intérieur est-elle surséchée tandis que la couche extérieure n'est pas séchée suffisamment. Après le cycle de chaleur, le grain est refroidi à l'intérieur du séchoir par arrêt de la chaleur, ou est transféré dans une cellule de ventilation pour y être refroidi. Pendant que le grain est déchargé, le grain plus humide se mêle au grain plus sec et, si des températures sans risque ont été utilisées et que le grain a été suffisamment séché et refroidi, on obtient un produit satisfaisant.

Il existe un certain nombre de contrôles automatiques et dispositifs de sécurité pour ces séchoirs. Comme le grain rapetisse au fur et à mesure qu'il sèche, il est possible, lorsque l'on utilise un manostat et une minuterie, de recharger le séchoir à partir de la cellule d'attente. On peut aussi régler le séchoir de manière à ce qu'il fonctionne à une température plus élevée pendant la première partie du cycle de séchage si le grain est très humide, puis à une température plus basse pour la dernière partie. Un thermostat ou une minuterie peut être utilisé pour réguler la commande d'arrêt du chauffage. La durée du refroidissement peut aussi être contrôlée par une minuterie, et les vis de déchargement peuvent être actionnées automatiquement après le refroidissement. Un séchoir discontinu équipé de tous ces organes de contrôle est couramment appelé un séchoir discontinu automatique. Si tous les organes de contrôle sont réglés et fonctionnent correctement, des lots de grain peuvent être chargés dans un séchoir discontinu, être séchés, refroidis et déchargés l'un après l'autre sans supervision ni contrôle manuel. Étant donné que les conditions du grain changent, il est nécessaire de régler de nouveau les minuteriers et les thermostats et d'intervenir manuellement dans le cas d'un mauvais fonctionnement. Un système de manutention du grain entièrement mécanisé est essentiel au bon fonctionnement de ce type de séchoir et à l'entreposage du grain.



Séchoir discontinu sans recirculation du grain

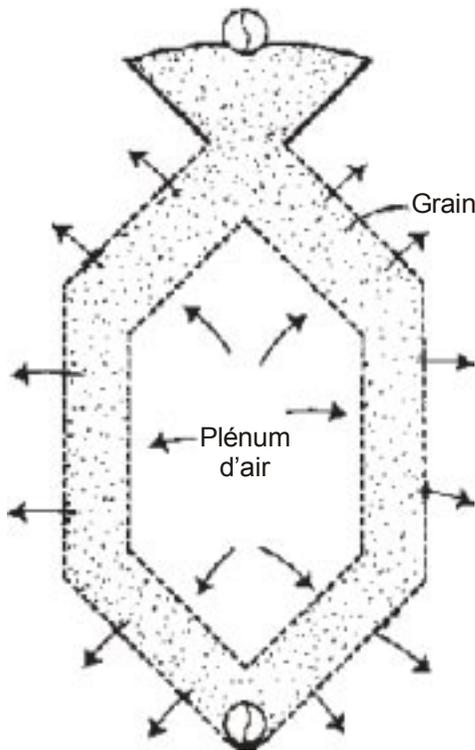


Figure 15. Séchoir discontinu sans recirculation du grain

Il existe aussi d'autres types de séchoirs discontinus sans recirculation du grain comme des séchoirs reliés à des wagons ou à des caisses de camion. Un appareil de chauffage et un ventilateur, semblables à ceux utilisés pour le séchage en cellule, sont reliés à un plénum principal, lui-même connecté à des conduits plus petits à l'intérieur de la caisse du camion. Ces conduits peuvent se trouver sur le plancher ou être suspendus à mi-hauteur de la caisse. Dans ce dernier cas, des conduits d'évacuation doivent être prévus au niveau du plancher de la caisse. La capacité de traitement varie en fonction du rendement du ventilateur et du brûleur, ainsi que des dimensions de la caisse du camion.

Type à recirculation du grain – Les séchoirs discontinus à recirculation du grain présentent un plénum d'air central entouré par le grain et fonctionnent dans la même séquence que les séchoirs discontinus sans recirculation du grain. Ils s'en distinguent principalement par le fait que le grain est constamment recirculé pendant les cycles de chauffage et de refroidissement. Le séchoir est généralement de forme circulaire afin de loger la vis sans fin verticale en son centre (figure 16). La vis sans fin déplace le grain du fond vers le sommet du séchoir. Elle sert aussi à décharger le séchoir. Le grain est complètement recirculé environ toutes les 15 minutes, soit le même temps qu'il en faut pour décharger le séchoir. Le mélange constant procure un lot de grain séché de façon plus uniforme que dans un séchoir discontinu sans recirculation du grain. Cependant, le fonctionnement constant de la vis sans fin peut endommager certaines graines (y compris les haricots, les pois et l'orge brassicole), en particulier lorsqu'elles sont presque sèches.

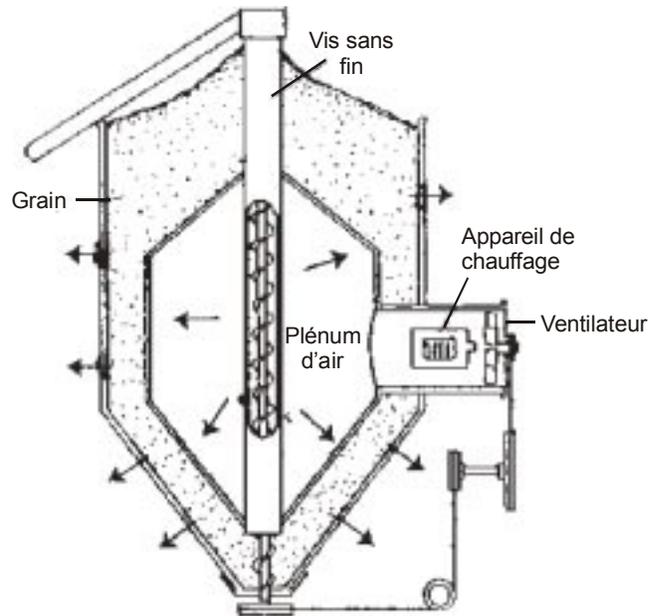


Figure 16. Séchoir discontinu à recirculation du grain

On peut utiliser une température de séchage dépassant de 20 °C celle indiquée dans le tableau 4 lorsque le grain est humide, mais il faut la réduire aux valeurs indiquées lorsque le grain devient gourd.

Des commandes automatiques, comme celles décrites dans la section sur les types de séchoirs discontinus sans recirculation du grain, peuvent aussi être utilisées avec les séchoirs discontinus à recirculation pour réduire la quantité de travail et de supervision nécessaire.



Séchoir discontinu à recirculation du grain

Séchoirs continus

Il existe de nombreux types de séchoirs continus mobiles. L'un des types les plus courants comporte deux ou quatre colonnes de grains verticales, l'air traversant le grain à angle droit par rapport à l'écoulement des grains (figure 17). Le grain est chargé dans une trémie à l'extrémité supérieure du séchoir, s'écoule vers le bas des deux côtés du plénum d'air chaud, puis dépasse le plénum d'air froid et est retiré par les vis sans fin. La vitesse d'écoulement du grain est normalement contrôlée par un thermostat situé près de l'extérieur de la colonne de grains. Elle peut être aussi contrôlée manuellement dans la plupart des séchoirs. Le grain n'est pas mélangé pendant qu'il s'écoule vers le bas et, par conséquent, le grain qui se trouve près du plénum d'air chaud est surséché, tandis que le grain extérieur n'est pas séché suffisamment. Les écarts d'humidité le long d'une colonne de grains de 300 mm peuvent être aussi élevés que 6 à 12 % quand la teneur en humidité moyenne des grains atteint le niveau sec. Le grain est mélangé pendant qu'il est déchargé et l'on obtient un produit acceptable si l'on utilise les températures prescrites.

L'écart d'humidité le long de la colonne de grains dépend de la teneur en humidité initiale et finale, de la

température de l'air, de la vitesse d'écoulement et de la largeur de la colonne. Dans une comparaison de deux séchoirs équipés de colonnes de grains de 150 et de 300 mm, équipés de ventilateurs de mêmes type et puissance, l'écart d'humidité était respectivement d'environ 3,5 et 6 %. Il y avait moins de résistance dans la colonne de 150 mm et le débit du ventilateur était presque 50 % supérieur à celui de la colonne de 300 mm. La consommation d'énergie était également augmentée d'environ 50 %, avec une différence très minime dans les vitesses de séchage. Si l'on réduit la capacité du ventilateur ou augmente la largeur de la colonne de grains, il en résulte une utilisation plus efficace de la chaleur, mais les écarts d'humidité sont plus grands.

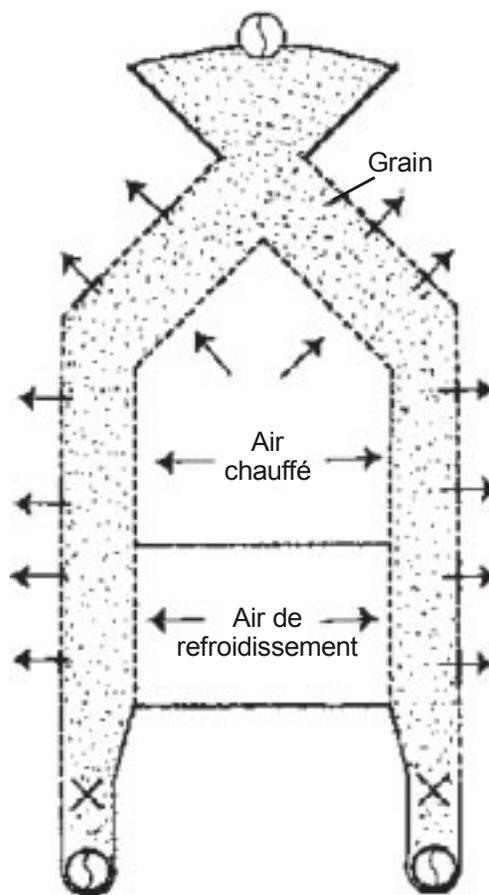


Figure 17. Séchoir à écoulement continu

Certains séchoirs à écoulement continu utilisent trois ventilateurs et plénums, chacun équipé de contrôles de température individuels. Les séchoirs peuvent fonctionner avec deux sections de chauffage et une de refroidissement, ou avec trois sections de chauffage, auquel cas le grain serait refroidi dans une cellule ventilée. La section supérieure est normalement réglée à une température plus élevée étant donné qu'à cet endroit, l'air est en contact avec le grain le plus humide. Le séchoir

peut aussi fonctionner en discontinu, alors que le grain passe d'une section à une autre plutôt que d'être écoulé en continu.

Certains séchoirs à écoulement continu aspirent l'air de refroidissement à travers le grain puis lui font traverser l'unité de chauffage du ventilateur jusqu'au plénum d'air chaud. Cela permet de recapturer la chaleur dégagée pendant le refroidissement du grain et de réduire l'écart de température entre l'air et le grain pendant que le grain passe de la section de chauffage à celle de refroidissement. Une partie de l'humidité est également captée et envoyée vers l'unité de chauffage, mais il y a quand même un gain net sur le plan de l'efficacité énergétique. Les paillettes et les matières fines ramassées dans la section de refroidissement s'accumuleront à l'intérieur du plénum d'air chaud et, pour cette raison, il peut être nécessaire de vérifier et de nettoyer fréquemment le plénum. Ce séchoir peut ne pas convenir dans un système de refroidissement lent différé en raison de sa conception, car il ne peut pas être utilisé en entier pour le séchage.

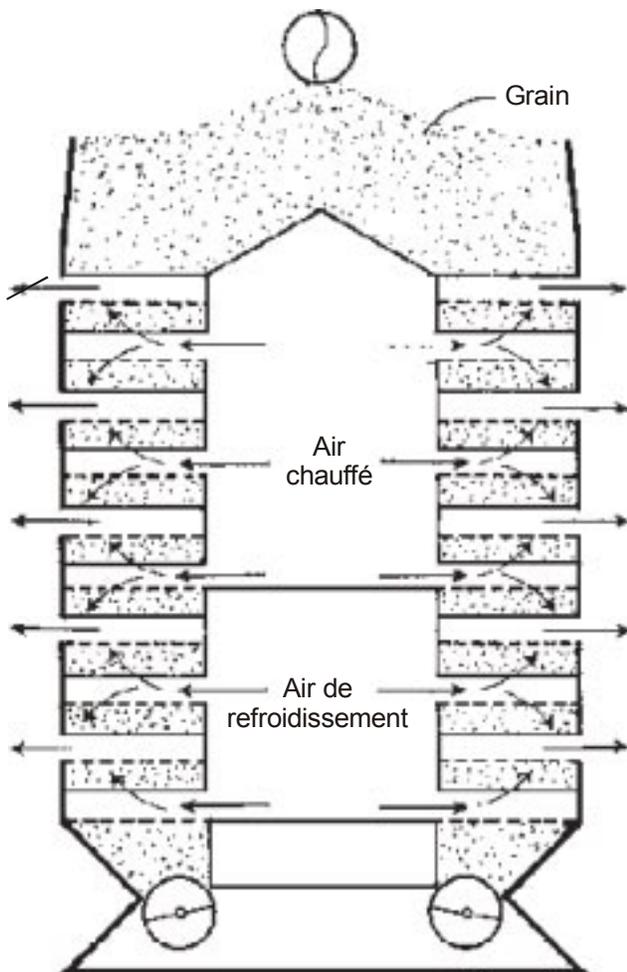
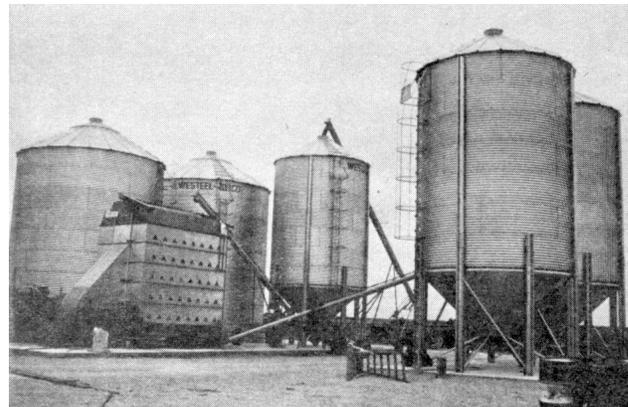


Figure 18. Séchoir à écoulement continu du grain et à flux d'air parallèle

Un autre type de séchoir à écoulement continu est illustré à la figure 18. Il comporte aussi deux colonnes de grains verticales, mais l'écoulement de l'air est parallèle à celui du grain. On obtient ainsi une vitesse de séchage uniforme le long de la colonne parce que toute la largeur de la colonne entre en contact avec le même air, et le grain est mélangé en traversant le séchoir. Comme ce concept réduit le danger de dommages par la chaleur, on peut utiliser des températures légèrement supérieures à celles utilisées dans les séchoirs à flux transversal à deux compartiments. Ce type de séchoir n'est pas muni de tamis; par conséquent, selon la qualité de la construction, les cultures à petites graines peuvent être séchées sans qu'il y ait de fuite, et le nettoyage peut être plus facile. On peut faire fonctionner le séchoir comme un séchoir discontinu, les sections à la fois supérieure et inférieure recevant soit de l'air chaud ou froid. Cette caractéristique, que l'on retrouve également dans certains autres séchoirs à écoulement continu, est utile pour commencer le séchage ou lorsque de petits lots de grains doivent être séchés.



Système de séchage avec séchoir à écoulement continu du grain et à flux d'air parallèle

Les séchoirs à écoulement continu ne conviennent généralement pas bien au séchage de petits volumes de grain puisqu'il est assez inefficace de les mettre en marche et de les décharger et qu'il est difficile de contrôler avec exactitude l'humidité avant que l'écoulement s'uniformise, soit généralement pas avant deux heures. Ils conviennent le mieux au séchage de gros volumes de grain sans changement fréquent d'un type de grain à un autre.

Les contrôles d'humidité dont les séchoirs à écoulement continu sont équipés sont souvent affectés par le soleil et le vent (voir les *Effets météorologiques sur le séchage*). Les capteurs de température dans les plénums d'air chaud peuvent être mal situés ou être inexacts. Des capteurs supplémentaires devraient être disposés dans le plénum afin d'obtenir une lecture précise dans la partie

la plus chaude. Des capteurs de température installés dans la colonne de grains près du plénum d'air chaud peuvent aussi être utilisés pour aider à prévenir les dommages aux grains. Des robinets modulant le gaz naturel devraient permettre au séchoir de fonctionner à des températures aussi basses que 40 °C.

Les débits d'air dans un séchoir à écoulement continu sont normalement du même ordre que dans un séchoir discontinu, et le rendement énergétique des deux types de séchoirs est semblable. Les vitesses de séchage varieront selon la taille des graines, laquelle influe sur le débit d'air. Il est possible d'augmenter la vitesse de séchage en utilisant du refroidissement auxiliaire, le refroidissement lent différé ou une combinaison de procédés.

Les grosses unités à écoulement continu peuvent sécher du grain rapidement lorsqu'il n'y a que quelques points d'humidité à éliminer, aussi les vis sans fin et les cellules d'attente doivent-elles avoir une capacité considérable. Des vis sans fin d'au moins 150 mm de diamètre sont recommandées.

De nombreux contrôles automatiques différents et interrupteurs de sécurité sont offerts pour ces séchoirs, qui peuvent alors fonctionner sans supervision constante. Cependant, comme ils doivent être rajustés lorsque les conditions du grain changent et parce que, parfois, ils fonctionnent mal, il faut quand même vérifier souvent leur fonctionnement.

SÉCHAGE PAR ÉTAPES

REFROIDISSEMENT LENT DIFFÉRÉ

Le refroidissement lent différé, ou séchage en deux étapes, est un procédé qui fait appel à la fois à un séchoir à grains et à un système de ventilation à grand débit. Il consiste à transférer le grain chaud contenant environ 2 % de plus d'humidité que le « niveau dit sec » du séchoir dans une cellule d'entreposage où sera complété le processus de séchage et de refroidissement avec des débits d'air volumiques de 7-13 L/s•m³ (figure 19). La ventilation s'amorce 6 à 12 heures après le stockage du grain en cellule. Ce délai permet à l'humidité de se déplacer de l'intérieur vers l'extérieur des grains et d'être éliminée plus facilement. Ce processus comporte un certain nombre d'avantages par rapport à l'utilisation seule d'un séchoir à grains :

- Il est possible d'utiliser des températures de séchage légèrement supérieures étant donné que le grain n'est pas complètement séché dans le séchoir.
- Il n'est plus nécessaire de prévoir une période de refroidissement comme dans le cas d'un séchoir discontinu ou à cellules verticales, ni de section de refroidissement comme dans un séchoir continu. L'utilisation de températures plus élevées assortie à l'élimination de la période de refroidissement et à une réduction du temps de séchage dans les séchoirs peut résulter en un accroissement de 50 % ou plus de la production du séchoir.

· Une économie d'énergie de 20 % ou plus est courante. Les derniers points d'humidité sont les plus difficiles et les plus coûteux à extraire, aussi en les éliminant dans la cellule en utilisant la chaleur contenue dans le grain, cela nécessite beaucoup moins de combustible pour le séchage final.

La qualité du grain peut être améliorée étant donné que l'on évite le refroidissement rapide des grains chauds qui peut entraîner leur rupture.

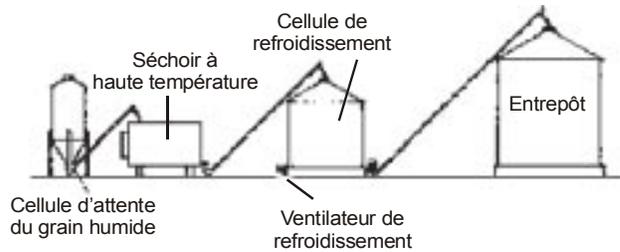


Figure 19. Processus de refroidissement lent différé

Les systèmes de ventilation à faible débit ne conviennent pas au refroidissement lent différé. Il faut des ventilateurs plus puissants et des conduits plus gros pour obtenir des débits d'air volumiques de 7-13 L/s•m³. **En outre, la cellule de refroidissement doit avoir un plancher entièrement perforé pour prévenir les chutes de pression excessives et obtenir un débit d'air plus uniforme dans le grain qu'avec des conduits de ventilation.**

Étant donné qu'une forte proportion de l'humidité est éliminée pendant le refroidissement, la condensation sur le toit et les parois de la cellule pose souvent un problème si l'air traverse la masse de grain de bas en haut. Généralement, cela signifie que les grains doivent être transférés de la cellule de refroidissement à une autre cellule d'entreposage afin de mélanger tout grain humide avec le grain sec. Cette étape supplémentaire de transfert du grain et l'équipement additionnel pour la ventilation qui sont nécessaires constituent les principaux désavantages de ce processus.

Faire descendre l'air à travers la masse du grain réduira la condensation sur le toit et peut même rendre inutile le transfert du grain de la cellule de refroidissement. Une autre façon d'éliminer le transfert du grain consiste à commencer à refroidir le grain dès son arrivée du séchoir. Cette mesure prévient la majorité de la condensation grâce à un débit d'air continu dans toute la cellule dès le début du remplissage. Le grain peut alors être laissé dans la cellule de refroidissement pour l'entreposage. Cette méthode comporte l'inconvénient que toutes les cellules d'entreposage doivent être pourvues de planchers entièrement perforés pour permettre les débits d'air plus puissants. En outre, certains avantages de l'« échange thermique » sont perdus étant donné que la période pendant laquelle s'uniformise le taux d'humidité dans le grain est plus courte. En d'autres

mots, un pourcentage légèrement moindre d'humidité (environ 1 %) serait retiré pendant l'étape de refroidissement. Pour cette raison, le grain devrait demeurer dans le séchoir un peu plus longtemps.

COMBINAISON DE PROCÉDÉS

Le séchage à l'aide de méthodes combinées est une prolongation du processus de refroidissement lent différé. Il est principalement utilisé pour sécher du grain très humide (contenant plus de 25 % d'eau). Le grain est d'abord mis dans un séchoir à haute température dont le rôle consiste à en abaisser le taux d'humidité à 19-23 %, puis il est transféré dans un séchoir à cellules verticales pour compléter le séchage, avec l'apport ou non de chaleur supplémentaire. Cette démarche met à profit les gammes de fonctionnement les plus efficaces des deux types de séchoir: Le séchoir à haute température double ou triple son rendement par rapport à celui qu'il aurait s'il était utilisé pour le séchage complet. Les besoins énergétiques totaux sont réduits d'environ 50 %, selon la proportion d'humidité éliminée à chaque étape et dans la mesure où les conditions de l'air ambiant se prêtent au séchage sans chauffage de l'air. On constate également que le grain est de meilleure qualité que s'il avait été entièrement séché dans le séchoir à haute température.

Les débits d'air volumiques pour la portion du séchage en cellule sont de l'ordre de 10-25 L/s•m³. La cellule doit avoir un plancher entièrement perforé. Le grain peut être soumis à un refroidissement lent différé par « échange de chaleur » avant le séchage final dans le séchoir à cellules verticales, ou y être transféré directement pour le refroidissement immédiat et le séchage final. Les séchoirs à cellules verticales peuvent fonctionner à l'air ambiant lorsque les conditions s'y prêtent ou lorsque des sources d'énergie supplémentaires comme l'électricité, le propane, la chaleur solaire ou des brûleurs de résidus de culture peuvent réduire l'humidité relative de l'air et accélérer la vitesse de séchage.

Le choix d'utiliser le refroidissement lent différé ou une combinaison de procédés dépendra de la quantité de grains et de sa teneur en humidité initiale, du coût de l'énergie et de l'investissement en capital nécessaire. Lorsqu'il s'agit de petites quantités de grains relativement peu humides, il n'est pas justifié d'investir dans l'équipement requis pour la combinaison de procédés. Lorsque le grain est très humide au départ, que les volumes à sécher sont importants et que les prix du combustible sont élevés, le refroidissement lent différé et le séchage selon une combinaison de procédés sont alors plus attrayants. Dans tous les cas, cependant, lors de la construction de cellules de 100 m³ ou plus, il faudrait prévoir des conduits de ventilation, même pour le stockage du grain récolté sec. Il est recommandé d'installer des conduits de ventilation assez grands pour

que les débits d'air volumiques atteignent au moins 10 L/s•m³, afin d'avoir la possibilité à l'avenir de procéder à un séchage par étapes si on le désire. Comme il permet la plus grande variété d'options, un plancher entièrement perforé devrait être sérieusement envisagé lorsque l'on prévoit construire une grosse cellule d'entreposage. Chaque système d'entreposage du grain devrait contenir au moins une et, de préférence, deux ou trois cellules dont le plancher est perforé.

VENTILATION

Pendant la ventilation, de l'air non chauffé traverse la masse du grain pour la refroidir, en extraire de l'humidité ou en uniformiser la température. La ventilation consiste normalement à déplacer de petits volumes d'air (environ 1-2 L/s•m³) à travers le grain sec ou presque sec, dans l'objectif d'abaisser et d'uniformiser la température du grain dans la cellule et de prévenir le déplacement de l'humidité (figure 5), et de refroidir le grain chaud en provenance du champ. De si petits volumes d'air contribueront très peu au séchage à moins que le temps soit très sec et que le ventilateur fonctionne pendant une longue période. Lorsque le taux d'humidité varie dans la masse de grain entreposé, la ventilation peut être avantageuse, car elle favorise le transfert d'humidité du grain plus humide au grain plus sec. Des débits d'air volumiques plus importants (7-13 L/s•m³) sont nécessaires pour maintenir le grain humide en état pendant la période d'attente avant le séchage. Si les températures extérieures sont très chaudes, même de tels débits d'air volumiques peuvent ne pas assurer un entreposage sans risque. Le grain humide devrait être ventilé continuellement jusqu'à ce qu'il soit sec ou que sa température soit réduite à près de 0 °C, en particulier la nuit lorsque les températures de l'air sont normalement plus basses. Lorsqu'on utilise la ventilation pour sécher à froid le grain chaud provenant d'un séchoir, il faut faire fonctionner le ventilateur continuellement jusqu'à ce que la température du grain se trouve à 10 °C près de la température extérieure moyenne. Avec un débit d'air volumique de 1 L/s•m³, cela peut nécessiter jusqu'à une semaine. Il faut prendre soin d'éviter le surséchage du grain causé par une ventilation excessive par temps très sec ou de faire fonctionner le ventilateur longtemps par temps humide, étant donné que l'addition de 0,5 % d'humidité peut endommager la structure de la cellule.

Il est important de choisir des conduits, des surfaces perforées et des ventilateurs de puissance suffisants lors de l'installation de tout système de ventilation. L'ingénieur du génie rural de votre localité peut vous donner l'information et l'aide nécessaires pour la conception du système.

VITESSE ET EFFICACITÉ DU SÉCHAGE

La conception et le fonctionnement des séchoirs à grains constituent souvent un compromis entre la vitesse de séchage et le rendement énergétique. Accroître le débit d'air accélérera le séchage, mais augmentera aussi la consommation de combustible. Si l'épaisseur de la couche de grains ou la largeur de la colonne de grains est augmentée, le rendement énergétique sera meilleur, mais la vitesse de séchage moins grande. Si elles demeurent les mêmes pour le séchage des cultures à grosses et à petites graines, on obtiendra alors une énorme variation dans l'efficacité énergétique et les vitesses de séchage. Des graines plus petites offrent une résistance supérieure à l'écoulement de l'air et, par conséquent, réduisent le rendement du ventilateur. La quantité d'eau qui est absorbée par l'air avant sa sortie du séchoir est donc plus importante. En conséquence, un séchoir aura un rendement énergétique plus élevé dans le cas du lin que lorsqu'il s'agit de sécher du blé ou de l'orge. Réduire la vitesse du ventilateur dans les séchoirs discontinus et continus améliorera le rendement énergétique, mais ralentira également la vitesse de séchage.

Plusieurs pratiques contribuent à la fois à l'amélioration du rendement énergétique et à l'accélération du séchage, notamment l'élimination du surséchage qui réduira aussi les risques d'endommager le grain. Plus le grain devient sec, plus il faut de temps et de combustible pour en extraire l'humidité. L'effet de la teneur initiale en humidité sur les vitesses de séchage et le rendement énergétique est illustré au tableau 5.

L'élimination des petites graines de mauvaises herbes et des grains brisés améliorera également les vitesses de séchage et réduira la durée de séchage nécessaire. Faire passer le grain à travers un dépoussiéreur ou une vis sans fin avec tamis avant le séchage peut contribuer à accélérer le séchage et à réduire les variations dans les vitesses de séchage.

Les différences dans les températures initiales du grain ont un effet minime sur la vitesse de séchage et la consommation de combustible. Une différence de 30 °C dans la température initiale résulte en une différence d'environ 10 % dans le temps de séchage nécessaire et les besoins énergétiques. Les changements de température s'opèrent très lentement dans le grain à moins que l'air soit forcé à travers la masse de grain ou qu'il soit chauffé.

Les températures de l'air extérieur exercent un effet très important sur la consommation énergétique. Avec une hausse de température de 25 °C (p. ex. air ambiant à 15 °C et température du séchoir à 40 °C), un changement de 1 °C dans la température de l'air ambiant change la consommation énergétique de 4 %.

Avec une hausse de température de 50 °C, un changement de 1 °C dans la température extérieure change la consommation d'énergie de 2 %. Les vitesses de séchage ne subissent pas l'influence de la température de l'air extérieur pour autant que les températures du séchoir et du grain demeurent constantes.

Faire passer l'air de refroidissement d'un séchoir continu à travers le brûleur jusqu'à la section de chauffage résulte en une nette amélioration du rendement énergétique. La chaleur qui est récupérée pendant le processus de refroidissement fait plus que compenser pour l'humidité gagnée et peut permettre de réaliser des économies de combustible de l'ordre de 10 à 15 %. Le ventilateur doit être légèrement plus puissant pour déplacer le même volume d'air dans le séchoir.

CAPACITÉ DES SÉCHOIRS

La capacité d'un séchoir est la mieux exprimée en termes de taux d'élimination de l'eau, comme en kilogrammes par heure (kg/h). Les séchoirs utilisés dans les exploitations agricoles des Prairies ont des capacités qui divergent largement, allant de moins de 100 kg/h à plus de 1 000 kg/h. Le tableau 6 illustre des taux d'élimination d'eau et des consommations de combus-

TABLEAU 5. EFFET DE LA TENEUR EN HUMIDITÉ (TH) INITIALE SUR LES VITESSES DE SÉCHAGE ET LE RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE

Séchoir	Grain	TH initiale %	Élimination de l'eau kg/h	Consommation de combustible kJ*/kg d'eau
A	Blé	18,0	480	3 050
		16,4	425	3 200
B	Maïs	26,2	530	3 550
		22,9	510	3 700
		18,7	465	4 200
C	Maïs	26,6	1 110	3 000
		22,7	850	3 400

*kilojoules

tible typiques pour certains des séchoirs agricoles courants servant à abaisser le taux d'humidité du blé de 18 à 14 % à une température de l'air ambiant de 15 °C.

Les taux d'élimination de l'eau dans le blé, l'avoine et l'orge sont à peu près les mêmes si les mêmes températures de séchage sont utilisées. L'élimination de l'eau contenue dans le lin et le colza prend environ 20 % plus de temps à la même

température. Étant donné que le blé est couramment séché à une température légèrement plus basse que pour le lin, l'avoine et l'orge, les vitesses réelles de séchage (en kg/h) sont normalement à peu près égales dans le cas du blé et du lin, et d'environ 15 % plus élevées pour l'avoine et l'orge.

La quantité d'eau qui doit être éliminée du grain pour le sécher figure au tableau 7.

TABLEAU 6. TAUX D'ÉLIMINATION D'EAU ET CONSOMMATION D'ÉNERGIE TYPIQUES

Séchoir	Élimination de l'eau kg/h	Vitesse de séchage t/h	Consommation d'énergie kJ/kg d'eau
Séchoir discontinu avec recirculation du grain, volume de 13m ³	125	2,5	4 000
Séchoir discontinu sans recirculation du grain, 4,5 m ³	125	2,5	4 500
Séchoir continu, 16m ³ , plancher perforé	300	6,0	4 000
Cellule, 9,1 m de diamètre, plateau de séchage surélevé	500	10,0	3 000

Un séchoir d'une capacité de 200 kg/h abaisserait alors de 22 à 14 % le taux d'humidité de 2 tonnes de grain à l'heure.

EFFICACITÉ DES SÉCHOIRS

Le rendement énergétique est mesuré en termes de la quantité d'énergie nécessaire pour extraire l'eau. Les unités sont des kilojoules d'énergie par kilogramme (kJ/kg) d'eau éliminée. Un litre de propane produira environ 20 000 kJ d'énergie avec un brûleur efficace. Un kilowatt-heure (kWh) d'électricité est égal à 3 600 kJ. Les rendements énergétiques typiques pour les séchoirs continus et discontinus s'établissent environ à 4 000 kJ/kg pour le blé, l'avoine, l'orge et le maïs. Certains séchoirs à débit d'air élevé nécessiteront autant que 6 000 kJ pour éliminer un kilogramme d'eau. Les séchoirs à cellules verticales consomment normalement environ 3 000 kJ/kg.

Le tableau 8 énumère les coûts de combustible pour l'élimination de l'eau dans le cas de séchoirs présentant divers rendements énergétiques, et selon divers prix du propane.

Le coût de séchage d'une tonne de grains, séchés dans un séchoir ayant un rendement énergétique de 3 500 kJ/kg se calcule de la façon suivante :

Grain dont le taux d'humidité est réduite de 22 à 14 %
Prix du combustible 12 ¢/L

Consommation de combustible par le séchoir 3 500 kJ/kg

Coût du combustible = 103 kg/t (tableau 7) x 2,10 ¢/kg
(tableau 8) = 2,16 \$/t

Si, dans l'exemple précédent, le séchoir a utilisé 5 000 kJ/kg, le coût du combustible s'élèverait à 3,09 \$/t. Si 200 tonnes sont séchées par année, la différence dans le coût total du combustible ne serait que de 186 \$ par année. Ce montant devrait être nécessaire pour couvrir tout coût en capital supplémentaire (le cas échéant) pour le séchoir le plus efficace. Si l'on doit utiliser un séchoir pour sécher de grandes quantités de grains, le rendement énergétique deviendrait un facteur plus important. Un séchoir plus coûteux n'utilise pas nécessairement moins de combustible. Certains séchoirs dont le prix initial est bas sont aussi les plus efficaces sur le plan énergétique.

COÛTS DU SÉCHAGE

Les coûts du séchage du grain varient selon le type de séchoir, la quantité de grains séchés par année et les températures de l'air extérieur. Les données sur les coûts indiqués au tableau 9 sont basées sur les conditions suivantes :

- Température extérieure moyenne : 15 °C
- Taux d'amortissement : 8 %
- Taux d'intérêt : 12 %
- Réparations et entretien : 1,5 %/100 h d'utilisation
- Propane : 10 ¢/L
- Électricité : 2,5 ¢/kWh
- 5,8 m de diamètre. Séchage complet en cellule (vitesse de séchage de 2 t/h) : 6 000 \$
- Séchoir discontinu avec recirculation du grain de 13m³ (vitesse de séchage de 2 t/h) : 10 000 \$

Séchoir continu (vitesse de séchage de 4,2 t/h) : 16 000 \$

Tous les séchoirs sont équipés de ventilateurs électriques.

Le taux d'humidité du blé est abaissé de 20 à 14 %.

Les trois types de séchoirs ne sèchent pas à la même vitesse et ne nécessitent pas tous le même niveau de supervision ou de main-d'oeuvre. Il y a aussi des facteurs à envisager dans le choix d'un séchoir, en particulier dans le cas d'un équipement qui fera l'objet d'une plus grande utilisation par année. Lorsque de grandes quantités de grains doivent être séchées, une vitesse de séchage plus rapide est nécessaire pour réduire le plus possible les pertes au champ et de récolte. Pour le séchage de petites quantités de grains, le coût d'achat initial est le premier élément à considérer.

TABLEAU 7. QUANTITÉ D'EAU ÉLIMINÉE PENDANT LE SÉCHAGE DU GRAIN

kg/t éliminé du grain ayant une TH initiale de								
TH finale	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %	26 %	28 %	30 %
14 %	24	49	75	103	132	162	194	229
10 %	71	98	125	154	184	□	□	□

TABLEAU 8. COÛT DU COMBUSTIBLE POUR L'ÉLIMINATION DE L'EAU (¢/kg)

Prix du combustible (¢/L)			
Consommation de combustible (kJ/kg)	10	12	14
2 500	1,25	1,50	1,75
3 000	1,50	1,80	2,10
3 500	1,75	2,10	2,45
4 000	2,00	2,40	2,80
4 500	2,25	2,70	3,15
5 000	2,50	3,00	3,50
5 500	2,75	3,30	3,85
6 000	3,00	3,60	4,20

Une fois le séchoir acheté, des coûts fixes (intérêts et amortissement) doivent être assumés, qu'il soit utilisé ou non. La décision d'utiliser ou non le séchoir une année en particulier devrait par conséquent être fondée principalement sur le coût de fonctionnement plutôt que sur le coût total.

Lorsque l'on prévoit recourir davantage au séchage

du grain, il faudrait envisager d'utiliser conjointement le refroidissement lent différé ou une combinaison de procédés de séchage plutôt que d'accroître la capacité du séchoir. En plus d'augmenter la vitesse de séchage, ces mesures contribueraient à diminuer les coûts de combustible, tout en améliorant la qualité du grain.

INCENDIES DANS LES SÉCHOIRS

Peu importe le type de récolte, des incendies peuvent se déclarer dans les séchoirs en cas d'accumulation de poussière et de résidus près du brûleur. Cependant, ils ne sont pas courants, sauf dans le cas du séchage du tournesol. Les graines de tournesol sont souvent recouvertes d'une sorte de peluche qui se détache pendant le séchage (en particulier dans les séchoirs discontinus avec recirculation du grain). Si cette matière est aspirée dans le ventilateur et le brûleur, elle peut prendre feu et allumer un incendie dans le séchoir. Toute mesure qui réduira les risques d'aspiration de la matière dans le brûleur contribuera à atténuer les risques d'incendie. Parmi ces mesures, mentionnons le nettoyage visant à éliminer toute matière fine des graines avant le séchage et l'installation de déflecteurs qui empêchent les matières en suspension dans l'air d'être aspirées à travers le brûleur. En outre, on ne devrait pas tolérer l'accumulation de poussière et de peluche sur les parois et d'autres parties du séchoir.

On diminuera aussi les risques d'incendie en s'assurant que les graines ne sont pas surséchées et que la température de l'air séchant n'est pas trop élevée. Les graines chaudes et surséchées sont plus facilement enflammées par la peluche qui brûle. Les températures élevées de l'air en soi ne sont pas la cause des incendies

pendant le séchage des graines de tournesol. Même si les températures de séchage sont inférieures à 40 °C, des incendies se sont déclarés lorsque les particules pelucheuses étaient aspirées dans le brûleur et ont pris feu.

En dépit de toutes les précautions, il est conseillé de demeurer près du séchoir et de rester vigilant afin de détecter les signes d'incendie pendant le séchage des graines de tournesol, en particulier près de la fin du cycle de séchage. En cas d'incendie, arrêtez le chauffage et le ventilateur. L'incendie peut s'éteindre de lui-même dans un séchoir avec recirculation du grain si la vis sans fin est laissée en marche, mais il est souvent nécessaire de l'éteindre avec de l'eau.

Un certain nombre d'incendies se sont également déclarés pendant le séchage du colza. Des précautions semblables à celles recommandées pour le séchage du tournesol devraient être suivies.

Presque chaque automne, il y a un certain nombre de jours chauds et secs pendant lesquels il est possible de procéder au séchage sans utilisation de chaleur. Ces jours-là, le fait de mettre les graines de tournesol et de colza dans un séchoir sans partir le brûleur peut entraîner un séchage à coût modeste et éliminer tout risque d'incendie amorcé dans le brûleur.

TABLEAU 9. COÛTS DE SÉCHAGE DU GRAIN

Tonnes par année	Dollars par tonne		
	Séchoir à cellules verticales	Séchoir discontinu avec recirculation	Séchoir continu
	Coûts fixes		
200	4,30 \$	6,95 \$	11,15 \$
400	2,15	3,50	5,60
600	1,45	2,30	3,75
1 000	0,90	1,40	2,25
	Coûts d'exploitation (à l'exclusion de la main-d'œuvre)		
	1,80	2,55	2,25
	Coûts totaux (à l'exclusion de la main-d'œuvre)		
200	6,10	9,50	13,40
400	3,95	6,05	7,85
600	3,25	4,85	6,00
1 000	2,70	3,95	4,50

ANNEXE

Tableaux de séchage pour le séchage en cellule (fournis gracieusement par Westeel Rosco)

LIN, MOUTARDE ET COLZA (pourcentage d'humidité finale de 10 %)							
	Lin				Moutarde ou colza		
	Humidité initiale %	Épaisseur m	Volume m ³	Durée h	Épaisseur m	Volume m ³	Durée h
Cellule de 5,8 m de diamètre							
			40 °C				
Moteur de 3,75 kW	22	0,45	12	19	0,6	16	17,0
	20	0,6	16	21	0,9	24	21,0
	18	0,9	24	23	1,2	32	26,0
	16	0,9	24	21	1,35	36	25,0
	14	0,9	24	17	1,5	40	22,0
Moteur de 5,4 kW	22	0,6	16	19	0,9	24	19,0
	20	0,6	16	17	1,05	28	20,5
	18	0,9	24	21	1,2	32	21,0
	16	0,9	24	19	1,5	40	25,0
	14	0,9	24	13	1,8	48	23,0
Moteur de 9,3 kW	22	0,9	24	21	1,05	28	21,0
	20	0,9	24	19	1,2	32	20,0
	18	0,9	24	18	1,5	40	23,0
	16	1,2*	32	21	1,8	48	21,0
	14	1,2*	32	17	2,1	56	19,0
Cellule de 5,8 m de diamètre (avec doubles vis de brassage)							
			55 °C				
Moteur de 3,75 kW	22	0,9	24	23	1,5	40	36,0
	20	0,9	24	23	1,8	48	32,0
	18	0,9	24	22	2,25*	60	30,0
	16	1,2*	32	19	2,25*	60	45,0
	14	1,2*	32	15	2,25*	60	20,0
Moteur de 5,4 kW	22	0,9	24	23	1,5	40	32,0
	20	0,9	24	21	1,8	48	28,0
	18	1,2	32	24	2,4	64	30,0
	16	1,2	32	18	2,7*	72	34,0
	14	1,2	32	14	2,7*	72	32,0
Moteur de 9,3 kW	22	1,35	36	25	1,65	44	31,0
	20	1,35	36	24	1,95	52	30,0
	18	1,5	40	23	2,4	64	26,0
	16	1,8*	48	21	3,0*	80	29,0
	14	1,8*	48	19	3,0*	80	22,0

* Les épaisseurs indiquées sont les valeurs maximales recommandées en raison des limites de pression statique du ventilateur.

BLÉ, ORGE ET AVOINE (pourcentage d'humidité finale de 14 %)

Taille du séchoir	Blé				Orge ou avoine		
	Humidité initiale %	Épaisseur m	Volume m ³	Durée h	Épaisseur m	Volume m ³	Durée h
Récolte d'une demi-journée		55 °C		55 °C			
Cellule de 5,8 m de diamètre							
Moteur de 3,75 kW	24	0,6	16	7,5	0,9	24	10,5
	22	0,9	24	9,5	1,2	32	11,5
	20	1,2	32	10,0	1,5	40	11,5
	18	1,5	40	9,5	1,8	48	10,0
	16	1,6	48	8,0	2,1	56	7,0
Moteur de 5,4 kW	24	0,6	16	6,5	0,9	24	9,5
	22	0,9	24	8,5	1,2	32	10,0
	20	1,2	32	8,0	1,5	40	10,0
	18	1,5	40	8,5	2,1	56	9,5
	16	2,1	56	8,0	2,4	64	8,0
Moteur de 9,3 kW	24	0,9	24	9,0	1,2	32	10,0
	22	1,2	32	9,5	1,5	40	9,0
	20	1,5	40	9,0	1,8	48	9,5
	18	1,8	48	9,0	2,1	56	8,5
	16	2,4	64	7,5	2,7	72	7,0
Récolte d'une journée		40 ° C		40 °C			
Cellule de 5,8 m de diamètre							
Moteur de 3,75 kW	24	0,9	24	19	1,2	32	23,0
	22	1,2	32	21	1,5	40	22,0
	20	1,5	40	22	1,8	48	22,0
	18	2,1	56	21	2,7	72	25,0
	16	3,0	80	18	3,6	96	18,0
Moteur de 5,4 kW	24	1,05	28	21	1,2	32	21,0
	22	1,35	36	23	1,5	40	20,0
	20	1,65	44	22	2,1	56	23,0
	18	2,25	60	21	2,7	72	22,0
	16	3,3	80	17	3,9	104	18,0
Moteur de 9,3 kW	24	1,2	32	23	1,35	36	21,0
	22	1,5	40	24	1,65	44	22,0
	20	2,1	56	23	2,4	64	24,0
	18	2,7	72	25	3,0	80	25,0
	16	3,6	96	18	4,2	112	19,0

BLÉ, ORGE ET AVOINE (avec doubles vis de brassage, pourcentage d'humidité finale de 14 %)

Taille du séchoir	Humidité initiale %	Blé			Orge ou avoine			
		Épaisseur m	Volume m ³	Durée h	Épaisseur m	Volume m ³	Durée h	
Cellule de 5,8 m de diamètre			55 ° C				55 ° C	
Moteur de 3,75 kW	24	1,65	44	23	1,9	50	23	
	22	1,9	51	22	2,25	60	22	
	20	2,4	64	21	2,8	75	22	
	18	3,1	82	22	3,7	99	22	
	16	3,3	88	15	4,35	116	17	
Moteur de 5,4 kW	24	1,8	48	22	2,1	56	24	
	22	2,1	56	21	2,25	60	22	
	20	2,55	68	21	3,05	82	21	
	18	3,3	88	21	4,05	108	22	
	16	3,9	104	16	4,35	116	15	
Moteur de 9,3 kW	24	1,95	52	23	2,3	61	24	
	22	2,3	61	22	2,7	72	22	
	20	2,75	74	21	3,3	88	22	
	18	3,6	95	20	4,3	114	22	
	16	4,35	116	17	4,35	116	14	

MAÏS ÉGRENÉ (pourcentage d'humidité finale de 13 %)

Taille du séchoir	Humidité initiale (%)	60 °C		75 °C (utilisation d'un dispositif de brassage)	
		Volume m ³	Épaisseur m	Volume m ³	Épaisseur m
Cellule de 5,8 m de diamètre					
Moteur de 5,4 kW	30	35*	1,3	43	1,6
	25	45	1,7	62	2,3
	20	70	2,65	96	3,6
Moteur de 9,3 kW	30	35	1,3	49	1,8
	25	48	1,8	66	2,5
	20	78	2,9	107	4,0

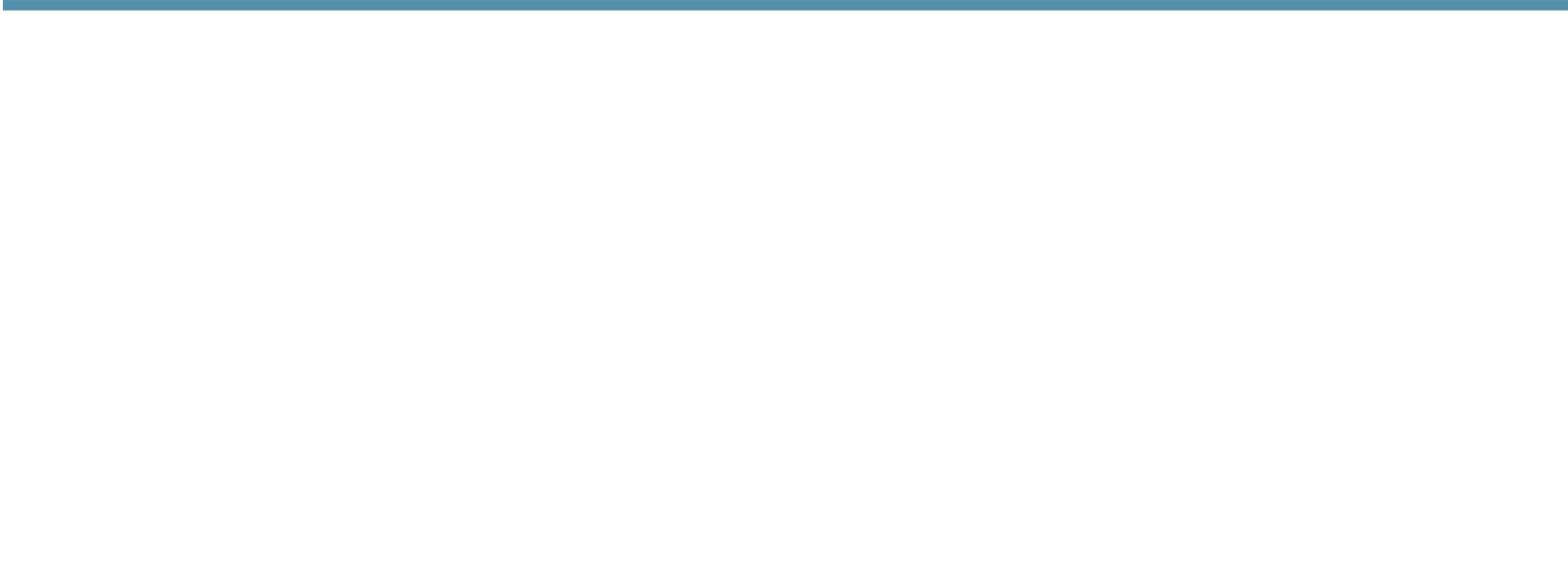
*Basé sur une durée de séchage de 21 heures. Toutes les autres capacités sont basées sur une durée de séchage de 18 heures et une période de refroidissement de 2 heures. Lorsque les températures de séchage sont supérieures à 60 °C, un dispositif de brassage devrait être utilisé. Pour que le séchage soit plus uniforme, le dispositif peut être utilisé à des températures égales ou inférieures à 60 °C. Les vitesses de séchage sont basées sur une température de 10 °C et une humidité relative de 65 % de l'air extérieur. Ces vitesses peuvent varier dans d'autres conditions.

Les ministères canadien et manitobain de l'Agriculture n'ont pas vérifié les vitesses de séchage indiquées et ne sont pas responsables pour les écarts par rapport à ces données.

REMERCIEMENTS

L'auteur souhaite exprimer sa gratitude aux personnes suivantes pour l'aide qu'elles lui ont apportée dans la préparation de cette publication :

Lorne Parker, Ste. Agathe, Manitoba
Franklin Voth, Manitou, Manitoba
Grant Henry, Pioneer Grain Co. Ltd., Winnipeg, Manitoba
Alan Roberts, Ag-techn Consultants, Elie, Manitoba
Murray Green, ministère de l'Agriculture de l'Alberta
Paul Barlott, ministère de l'Agriculture de l'Alberta
Bob Brad, ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan
Roy Button, ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan
Tony Protz, ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan
Paul Gebhardt, ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan
Eric Moysey, Université de la Saskatchewan
Bill Muir, Université du Manitoba
Eldon Norum, Université de la Saskatchewan



Canada 