

**Mise au point et évaluation d'un système de séchage des grains par déshumidification.**

Durée du projet : 11-2010 -01-2013

Rapport final

Projet 01-304

Présenté au

**Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation**

dans le cadre du

**Programme d'appui  
pour un secteur agroalimentaire innovateur**

Par

Christian Cardinal, Marcel Cardinal, producteurs  
Ferme Marcel et Diane R. Cardinal

Caroline Provost, Ph. D., directrice et chercheure  
Centre de recherche agroalimentaire de Mirabel

Le 20 janvier 2013

## **Introduction**

La conservation des grains dans les silos nécessite un séchage afin de limiter le développement de maladies et de maintenir une bonne qualité du grain. Quelques systèmes de séchage du grain existent mais les coûts d'installation et d'exploitation de ces derniers sont très importants. De plus, la méthode la plus répandue pour sécher le grain est l'utilisation de la haute température. Toutefois, cette méthode requiert plusieurs précautions afin de ne pas réduire la qualité du grain par le bris de ces derniers ainsi que par la surchauffe des grains. Les systèmes conventionnels font appel aux combustibles, tels que le propane et le gaz naturel, pour les alimenter. L'utilisation des combustibles est coûteux et peu recommandable sur le plan environnemental. Ainsi, le développement d'une nouvelle technologie économique, efficace, rentable et durable est tout à fait indiqué dans le cadre du développement durable préconisé par le Québec.

Le présent projet consiste à terminer la mise en place d'une nouvelle technologie pour le séchage des céréales, dont le maïs grain. Ce procédé fonctionne par la déshumidification (pompe à chaleur) qui permet de transformer l'eau vapeur de l'air en eau liquide (condensation) et donc de l'évacuer. Cette étape dégage de la chaleur, qui est d'ailleurs récupérée afin de réchauffer l'air en plus. Cette méthode permet donc d'avoir un air avec un pouvoir évaporatoire élevé, et de sécher le maïs grain de façon très économique, soit environ 25 % du coût par rapport à la méthode conventionnelle. Cette méthode permet un séchage plus doux, beaucoup moins chaud qu'au gaz propage, donc pas de grain endommagé au séchage.

Les objectifs du projet sont les suivants : 1) améliorer les installations de séchage en continu déjà en place afin d'augmenter la capacité de séchage qui était de 15 tonnes / jour à 50 tonnes / jour, 2) évaluer l'efficacité du système de séchage ainsi que l'effet sur la qualité du maïs grain, et 3) démontrer que ce système de séchage est fonctionnel, efficace et présente un potentiel économique réel pour les producteurs de maïs grain en grand volume au Canada.

Ainsi, une fois le système de séchage en place, nous évaluerons l'efficacité de celui-ci sur le plan économique ainsi que sur la qualité du grain. L'évaluation du système de séchage à plus grande échelle, soit pour une production commerciale importante, sera aussi réalisée afin de déterminer les capacités de la nouvelle technologie.

## **Dispositif et protocole**

La ferme de Marcel Cardinal a été utilisée pour prendre les données expérimentales. Le système de séchage des grains a été installé dans deux semi-remorques isolées de 53 pieds de long (installations présentées en Annexe). De nombreux équipements ont été installés pour faire la démonstration du bon fonctionnement. Un moteur diesel de 165 forces qui entraîne le compresseur de déshumidification, les cages de ventilation ainsi que la pompe hydraulique. Cette dernière alimente les planchers mobiles et la vis de transfert entre les deux remorques ainsi que les portes qui contrôlent

le niveau de grain sur les deux planchers. Nous avons aussi installé un échangeur de chaleur pour récupérer l'énergie calorifique des gaz d'échappement du moteur.

Dans chacune des remorques, nous avons installé un plancher mobile avec 30% de porosité. Une multitude de panneaux d'acier galvanisé ont aussi été installés pour guider le grain ou l'air vers les bons endroits. Du total de la surface des deux remorques, le grain occupe 75% alors que les parties mécanique et contrôle meublent le dernier 25%. Notre système de déshumidification utilise le même air en circuit fermé. À la fin de son circuit, juste avant de passer dans les radiateurs, cet air doit passer au travers d'un filtre en 4 panneaux fixes de manière à bloquer toutes les particules de grain ou poussières d'aller vers les radiateurs. L'inconvénient de ce type de filtre fixe est qu'il nécessite un nettoyage au 24 heures à l'aide d'une laveuse à pression.

Vu la complexité du système de filtration d'air précédent, nous avons entrepris la conception et la fabrication d'un nouveau filtre rotatif autonettoyant de six pieds de long par six pieds de diamètre. Notre premier essai d'auto-nettoyage par aspiration de ce nouveau filtre n'a pas fonctionné dû au fait que la poussière et les particules sont humides et collées sur le filtre. Lors de notre second essai, nous avons combiné le système rotatif autonettoyant par séquence programmable à une barre comportant six jets d'eau de type balai alimenté par environ dix gallons minute d'eau. Lors de cette séquence de nettoyage, tout le système de ventilation est arrêté. L'eau se trouve à balayer la surface filtrante durant une à deux minutes pendant la rotation du filtre. À ce jour, ce nouveau principe nous a donné des résultats satisfaisants.

Des échantillons ont été pris à l'entrée du système de séchage ainsi qu'à la sortie afin d'évaluer la qualité des grains. Ces échantillons ont été envoyés pour analyse de la qualité des grains. La prise de données a aussi été effectuée pour déterminer le rendement (quantité de grain séché / jour) du système de séchage ainsi que les coûts. Pour ce faire, la quantité de grain séché par jour a été notée ainsi que les dépenses reliées au fonctionnement du système alimenté à l'électricité et par le moteur diesel.

## Résultats Séchage Maïs

Afin de vérifier la capacité de séchage et de déterminer les coûts de fonctionnement des nouveaux équipements, plusieurs lots de maïs ont été séchés en 2011 et 2012. Deux systèmes ont été utilisés, soit le nouveau système par déshumidification et un séchoir conventionnel au propane.

### *Saison 2011, taux d'humidité variant de 21% à 26%*

#### **Ferme MDR Cardinal procédé par déshumidification (350 tonnes séchées)**

Nous avons séché 60 tonnes par jour à 23% d'humidité en moyenne

Coût : Diésel : 14 lt / h = 336 lt/jour X 0.969\$/lt = 325.58\$ / jour

(325.58\$ / jour) / 60 tonne = 5.43\$ / tonne

Électricité : 1\$ / tonne (manutention, ventilation pour l'entreposage)

Total des coûts : 6.43 \$ / tonne

#### **Séchoir au propane par batch**

Séchage de 11 tonnes par batch; maïs à 23% d'humidité en moyenne

Coût : Propane : 2.25h / batch @ 113.3lt / h = 255lt

255lt à 0.50\$ / lt = 127.50\$ / batch

(127.50\$ / batch) / (10.5 tonnes sec / batch) = 12.14\$ / tonne

Diésel : Tracteur pour remplissage, brassage et vidage du séchoir

8 lt / h à 0.969\$ / lt = 7.75 X 3h / batch = 23.25\$ / batch

(23.25\$ / batch) / (10.5 tonnes sec / batch) = 2.21\$ / tonne

Refroidissement du grain : 0.50\$ / tonne

Total des coûts : 14.85\$ / tonne

### *Saison 2012; Taux d'humidité variant de 18% à 24%*

#### **Ferme MDR Cardinal procédé par Déshumidification (680 tonnes séchées)**

Nous avons séché 65 tonnes par jour à 21% d'humidité en moyenne

Coût : Diésel : 14 lt / h = 336 lt/jour X 0.99\$/lt = 332.64\$ / jour

(332.64\$ / jour) / 65 tonne = 5.12\$ / tonne

Électricité : 1\$ / tonne (manutention, ventilation pour l'entreposage)

Total des coûts : 6.12 \$ / tonne

#### **Séchoir au propane par batch**

Séchage de 11 tonnes par batch; maïs à 21% d'humidité en moyenne

Coût : Propane : 2h / batch @ 113.3lt / h = 226.6lt

226.6lt à 0.35\$ / lt = 79.31\$ / batch

(79.31\$ / batch) / (10.5 tonnes sec / batch) = 7.55\$ / tonne

Diésel : Tracteur pour remplissage, brassage et vidage du séchoir

8 lt / h à 0.99\$ / lt = 7.92 X 2.75h / batch = 21.78\$ / batch

(21.78\$ / batch) / (10.5 tonnes sec / batch) = 2.07\$ / tonne

Refroidissement du grain : 0.50\$ / tonne

Total des coûts : 10.12\$ / tonne

Tableau I : Tableau comparatif des coûts selon les deux méthodes de séchage du grain.

	Méthode séchage	Quantité séchée (tonne)	Taux humidité moyen (%)	Coût total <sup>1</sup> (\$ /tonne)
2011	Déshumidification	60	23	6.43 \$
	Propane	11	23	14.25 \$
2012	Déshumidification	65	21	6.12 \$
	Propane	11	21	10.12 \$

1 : inclus les coûts du propane, diésel pour le tracteur et électricité.

### *Analyse de la qualité des grains*

Tableau II : Analyse des propriétés des grains de maïs selon les deux procédés de séchage.

analyse	unité	Séchoir batch sec	Séchoir Cardinal sec	Séchoir batch humide cassure grade	Séchoir Cardinal humide cassure grade
Matière sèche	%	84,3	85,5	81	80,6
protéine	%	8,59	8,84	7,15	7,38
gras brut	%	3,4	3,49	2,78	1,97
fibre detergent acide	%	2,93	3,43	2,93	2,89
sodium	%	0	0	0	0
calcium	%	0,01	0,02	0,01	0,01
phosphore	%	0,21	0,23	0,21	0,23
magnesium	%	0,09	0,1	0,09	0,09
potassium	%	0,29	0,32	0,27	0,28
énergie lact. maïs gras	MCL 100LB	75,7	76,8	75,3	74,9
énergie lact. maïs gras	MCL kg	1,67	1,69	1,66	1,65
énergie lact. maïs gras	MJL kg	6,99	7,08	6,95	6,91
poids spécifique	Kg/Hl	74,2	73,5		

L'analyse des qualités nutritionnelles et des caractéristiques des grains séchés selon les deux méthodes sont similaires. Ainsi, la nouvelle méthode de séchage par déshumidification n'affecte pas la qualité des grains et les propriétés sont conservées.

### **Conclusion**

En 2007, au début de notre expérience dans le séchage du maïs, on prévoyait un prix possible de 0.70\$ à 0.75\$ / litre de gaz propane sur un avenir de 5 à 10 ans. Et voilà qu'à la saison de séchage 2012, le prix du gaz propane était anormalement bas; il coûtait de 0.29\$ à 0.36\$ le litre. Le coût de fonctionnement d'un procédé de séchage par déshumidification électrique sur le 550V serait deux fois moins coûteux qu'avec un moteur diésel. De plus, une installation électrique standard serait beaucoup moins dispendieuse et plus facile à opérer. Le système de séchage par déshumidification développé et mis en place est efficace et rentable.

## **Remerciements**

Les auteurs désirent remercier les collaborateurs aux projets, M. Gaétan Lefebvre et Normand Bourgon, agronomes au MAPAQ ainsi que Michel Choquette, MRS Déshumidification. Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme d'appui à l'innovation en agroalimentaire, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.

## Annexe : Installation des équipements du système de séchage par déshumidification.

Équipements extérieurs et remorques rattachées au silo



Salles de contrôle (panneau et caméra) et des machines (moteur)



Système de séchage par déshumidification, équipements à l'intérieur des remorques.



