

## Ventilateurs et systèmes de ventilation pour les grains

Serge Fortin, ingénieur, M.Sc. et Jean Quenneville, technicien, CÉROM, Saint-Bruno-de-Montarville

### Rôles et applications de la ventilation

La ventilation des grains est utilisée pour la conservation des grains secs, le maintien des grains en attente de séchage, le séchage en deux étapes et le système mixte de séchage-conservation du maïs à basse température.

#### 1. Conservation des grains secs

La ventilation évacue la chaleur et l'humidité qui résultent de l'activité biologique des grains et des micro-organismes présents dans le silo.

La ventilation des grains secs sert également à refroidir et à uniformiser la température du silo, à maintenir et corriger sa température et à changer périodiquement l'air interstitiel des grains.

Enfin, la ventilation des grains secs sert à compléter et uniformiser le refroidissement des grains qui sortent de la section refroidissement du séchoir à haute température.

#### 2. Séchage des grains en deux étapes

Dans les procédés de dryération et de refroidissement en cellule, les grains sont sortis chauds du séchoir et la ventilation complète leur séchage tout en les refroidissant.

#### 3. Système mixte de séchage-conservation

Enfin, la ventilation est utilisée en système mixte de séchage-conservation par le froid des grains qui sont repris régulièrement pour alimentation d'un troupeau. Cette approche consiste à maintenir et à sécher les grains par ventilation à l'automne et au printemps, alors que les grains sont conservés congelés et sans ventilation durant l'hiver.

### Débit d'air recommandé

Le débit d'air de ventilation est exprimé en litres d'air

par seconde par mètre cube de grains ( $l/s.m^3$ ). Les débits recommandés varient selon l'application de ventilation des grains (tableau 1).

En ventilation de grains secs ou en maintien de grains en attente de séchage, un débit supérieur ne présente pas d'inconvénient autre que d'exiger plus de puissance; par contre, le silo change de température du silo plus rapidement.

**Tableau 1 : Débits d'air recommandés selon les applications de la ventilation des grains.**

Application de la ventilation	L/s.m <sup>3</sup>
Ventilation de grains secs entreposés	2
Ventilation séchante pour céréales et soya	10 à 25
Maintien des grains en attente de séchage	5 à 10
Séchage dryération	8 à 12
Refroidissement en cellules en séchage	5 à 7
Système mixte de séchage-conservation	10 à 15

En dryération et en refroidissement en cellule, il faut respecter les débits recommandés si on veut profiter de l'effet de séchage associé au refroidissement lent des grains.

En séchage des céréales à basse température et en système mixte de séchage-conservation, des débits supérieurs accélèrent le séchage, mais nécessitent des ventilateurs plus puissants.

### Direction d'écoulement de l'air

En ventilation des grains secs, la direction d'écoulement de l'air n'a pas d'effet sur l'efficacité de la ventilation, la pression statique ou la puissance requise. On favorise la ventilation en pression positive où l'air est poussé du plancher vers le haut de la cellule, car les derniers grains à changer de température sont sur le dessus du silo où il

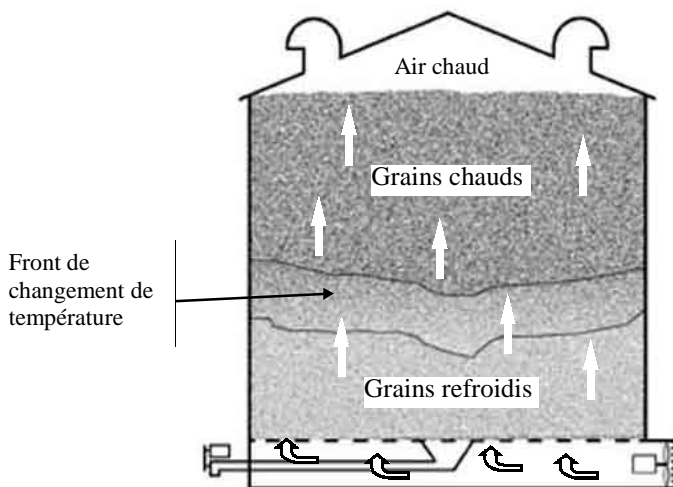
est plus facile de suivre la ventilation en mesurant leur température.

Dans toutes les autres applications, il faut ventiler en pression positive, que ce soit pour assurer le respect des temps de ressuyage en dryération, pour ne pas tirer la chaleur des grains dans l'ensemble du silo en refroidissement en cellule ou pour sécher en premier les grains du fond du silo en système mixte. La ventilation en pression positive permet et facilite le suivi du procédé dans tous les cas.

### Front de ventilation ou de séchage

Pendant la ventilation, l'ensemble du silo ne change pas de température ou ne sèche pas en même temps. La ventilation établit un front de changement de température ou de séchage constitué d'une couche de grain plus ou moins épaisse. Après quelques heures de ventilation en pression positive, on trouve au fond du silo une épaisseur de grain à la température de l'air, puis le front de ventilation et, au-dessus, le reste du silo dont la température n'a pas changé (figure 1). Le profil se présente de la même façon en ventilation séchante : grains secs dans le fond, front de séchage et grains humides au-dessus.

Le front se déplace dans la direction d'écoulement de

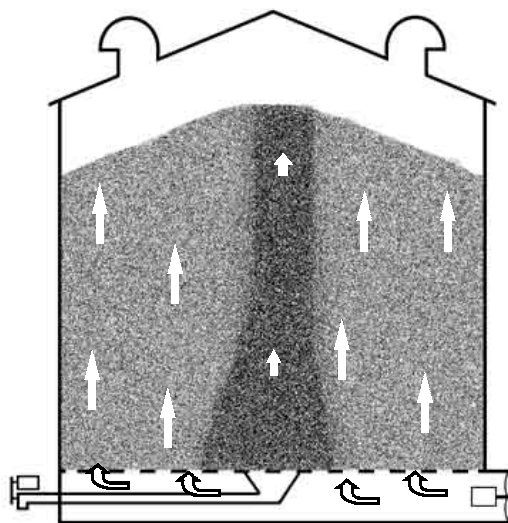


**Figure 1. Le changement de température se fait en suivant un front qui se déplace dans la direction de l'air.**

l'air. Son épaisseur et sa vitesse de déplacement sont plus grandes si le débit d'air est plus élevé. Le front est plus mince et plus lent dans les zones compactes d'un silo où l'air circule moins : ces zones sont plus longues à ventiler ou à sécher.

### Propreté des grains et ventilation

Les particules fines se logent entre les grains et nuisent au passage de l'air. Les zones d'accumulation de particules fines reçoivent peu d'air de ventilation. Dans une cellule remplie sans épandeur, les particules fines s'accumulent sous le point de chute du convoyeur. L'épandeur atténue quelque peu le problème des zones compactes en dispersant davantage les particules fines, mais n'assure pas une ventilation uniforme (figure 2).



**Figure 2. Les zones sales reçoivent peu d'air de ventilation.**

### Pièces accessoires des installations

#### 1 Plancher perforé et conduites

Le plancher perforé pleine grandeur est préférable pour toutes les applications de ventilation. Le plancher perforé favorise l'uniformité de ventilation et réduit la résistance à l'écoulement de l'air par ses perforations nombreuses. Les conduites de distribution d'air ne sont acceptées que pour la ventilation de grains secs.

Pour les conduites de distribution, le trajet le plus long entre une conduite et le dessus du silo doit être de moins de 1,5 fois le trajet le plus court et les surfaces en métal perforé doivent totaliser au moins 15 % de l'aire du plancher de la cellule. La section de la conduite principale ou des latéraux doit être de 0,13 m<sup>2</sup> par 1000 l/s de débit. Les tôles perforées doivent comporter plus de 10% de leur surface en perforations. Ces règles s'appliquent également aux entrepôts rectangulaires.

## 2. Transition du ventilateur à la cellule

La transition idéale épouse la dimension et la forme de la bouche du ventilateur et ne comporte aucun angle ou changement abrupt de section pour minimiser la turbulence et la résistance à l'écoulement de l'air.

## 3. Sorties d'air

L'aire des sorties d'air doit totaliser 0,20 m<sup>2</sup> par 1000 l/s de débit d'air. Si l'air de ventilation pousse sur la porte de toit de la cellule, les sorties sont insuffisantes. Si une cellule sert à plusieurs fins, calculer les sorties d'air pour celle donnant le débit total d'air le plus élevé. Les sorties d'air laissent souvent la neige s'infiltrer dans le silo. Il faut inspecter le silo au cours de l'hiver et retirer la neige avant qu'elle fonde.

On ne compte pas les turbines de toit comme sorties d'air. Celles-ci servent plutôt à ventiler l'entretoit de la cellule.

## Choix d'un ventilateur

Le calcul d'un ventilateur se fait en calculant le débit total d'air de ventilation et la pression statique d'opération du silo.

Le débit total d'air est simple à calculer : on multiplie le volume de grains d'un silo (m<sup>3</sup>) par le débit d'air unitaire (L/s.m<sup>3</sup>). Par contre, le calcul de la pression statique est plus compliqué et fait appel à plusieurs facteurs : espèce de grain, débit d'air voulu, épaisseur de grain, utilisation d'un épandeur, plancher perforé ou conduites.

Après avoir déterminé débit total et pression statique, on peut se reporter à des tableaux de débit et choisir les ventilateurs qui donnent le débit d'air requis à la pression statique calculée.

Les tableaux 3 à 6 présentent les puissances de ventilateur typiques pour différentes applications.

Le logiciel Vent-Expert offert par le CÉROM) effectue ces tâches et propose les ventilateurs appropriés.

## Pression statique

La pression statique est la résistance du silo à l'écoulement de l'air. Elle résulte de la friction de l'air dans les grains et dans les composantes du système de ventilation. Il faut comprendre les facteurs qui influencent la pression pour comprendre le comportement d'une installation.

## 1. Effet de l'espèce de grain

Si des grains sont petits, les espaces entre les grains sont petits et la friction de l'air est plus grande; donc la pression est plus grande. Par exemple, la pression statique est plus petite pour un silo de maïs que de blé et le débit total du ventilateur est supérieur.

On trouve au tableau 2 les pressions statiques pour un débit d'air de 2 L/s.m<sup>3</sup> (ou de 4 L/s.m<sup>3</sup>) pour une cellule remplie de différents grains avec et sans épandeur.

## 2. Effet du débit unitaire d'air

Si on augmente le débit d'air, on augmente sa vitesse d'écoulement et la friction est accrue. Doubler le débit fait plus que doubler la pression. Ainsi, pour 8 m de maïs, sans épandeur, la pression est de 2,27 fois plus élevée pour un débit de 4 comparativement à 2 L/s.m<sup>3</sup>.

## 3. Effet de l'épaisseur de grains

Si on double l'épaisseur de grains pour un même débit unitaire, la pression statique fait plus que quadrupler (voir exemples au tableau 2). En effet, en doublant l'épaisseur de grains tout en maintenant le débit unitaire, on double la quantité d'air soufflée dans une colonne de grains et sa vitesse d'écoulement. Il est donc plus facile de ventiler un lot de grains entreposé dans une cellule plus basse et de plus grand diamètre.

## 4. Épandeur et ventilation

L'utilisation d'un épandeur réduit la porosité moyenne du silo et accroît sa densité. La cellule remplie avec un épandeur contient 5% à 10% plus de grains.

L'épandeur réduit le problème des zones compactes sans

**Tableau 2 : Pression statique en kPa, cellule munie d'un plancher perforé pleine grandeur.**

Épandeur	Épaisseur	2 L/s.m <sup>3</sup>		4 L/s.m <sup>3</sup>	
		blé	maïs	blé	maïs
sans	4 m	0,13	0,05	0,27	0,11
	6 m	0,30	0,12	0,64	0,26
	8 m	0,55	0,22	1,17	0,50
avec	4 m	0,17	0,10	0,36	0,22
	6 m	0,40	0,23	0,83	0,53
	8 m	0,71	0,43	1,52	1,01

l'éliminer. On note toujours des zones plus denses où les particules fines sont abondantes et ces zones sont difficiles à ventiler.

La distribution des particules et l'accroissement de densité augmentent la pression statique lorsqu'on utilise un épandeur. On voit au tableau 2 que pour le blé, l'accroissement de pression est de 30 %, alors qu'il est de 100 % pour le maïs. Le ventilateur débitera donc moins d'air si la cellule est remplie avec un épandeur.

Pour le canola, on considère que l'utilisation d'un épandeur n'augmente pas la pression statique car les grains sont déjà très fins.

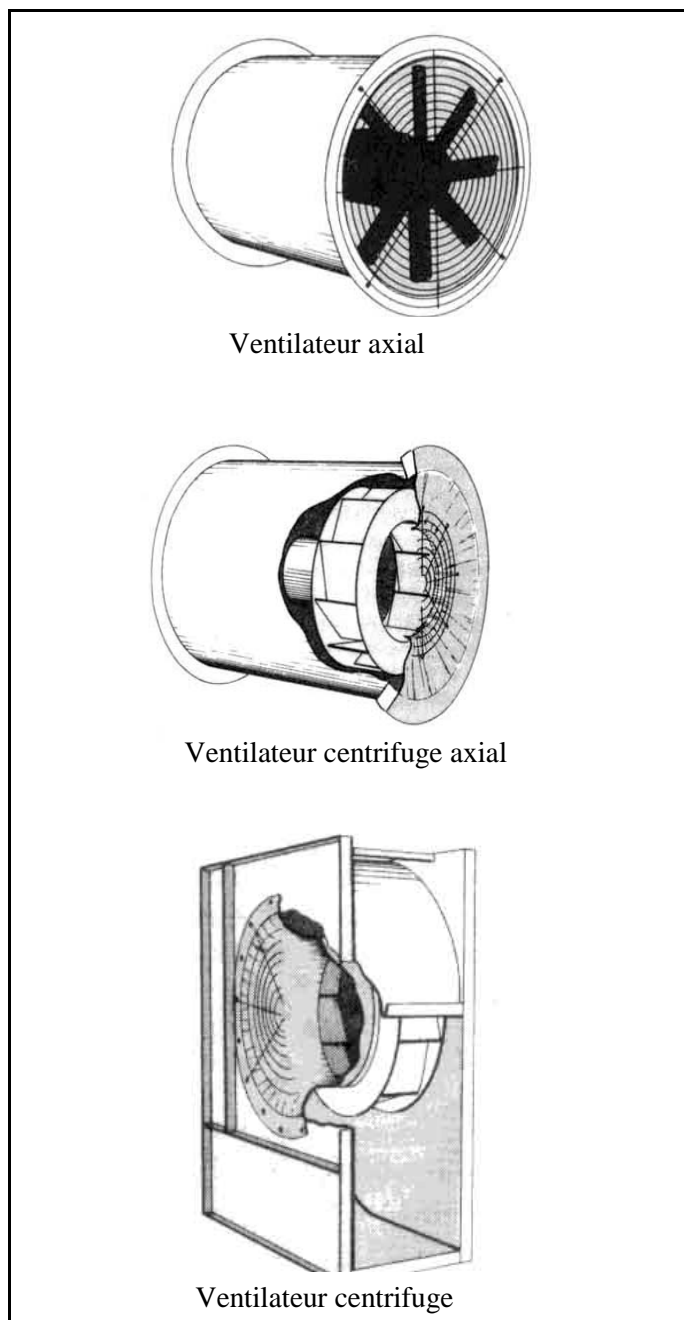


Figure 3. Principaux types de ventilateur à grains.

## Types de ventilateurs

La figure 3 présente les trois principaux types de ventilateurs à grains. La figure 4 illustre le débit d'air en fonction de la pression pour quatre ventilateurs de même marque et puissance, mais de types différents.

Le ventilateur axial est simple et peu coûteux, mais il est très bruyant. Il est généralement retenu pour la ventilation de grains secs, les pressions statiques dépassant rarement 1 kPa. Certains ventilateurs axiaux comportent des redresseurs d'air montés à l'intérieur du boîtier, ce qui réduit le tourbillonnement de l'air et améliore leur efficacité.

Le ventilateur centrifuge axial est constitué d'une cage centrifuge montée dans un boîtier de ventilateur axial. À la sortie de la cage, l'air est refoulé pour s'écouler dans l'axe du tube. Son efficacité est intéressante à des pressions intermédiaires (0,75 à 1,5 kPa). Il est plus silencieux et plus coûteux que le ventilateur axial.

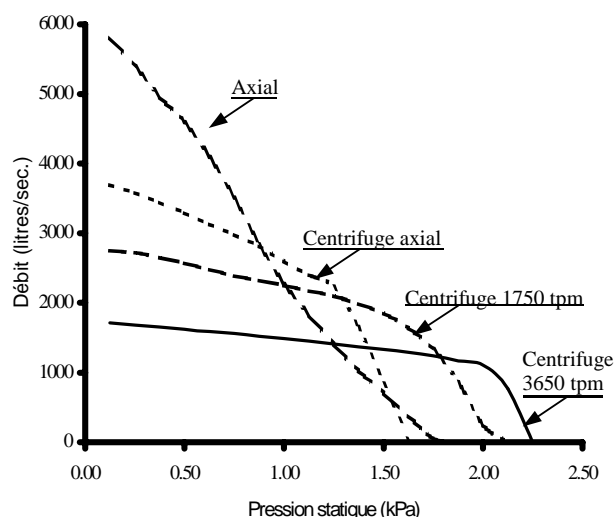


Figure 4. Débit d'air en fonction de la pression statique pour quatre ventilateurs de même puissance.

Le ventilateur centrifuge à pales courbées vers l'arrière est plus efficace que les autres aux pressions élevées alors qu'il est généralement moins efficace aux faibles pressions rencontrées en ventilation de grains secs. Il est cependant le plus silencieux et le plus coûteux.

Les tableaux de débits publiés par les manufacturiers ne sont pas toujours établis selon la même procédure. C'est pourquoi il est préférable d'utiliser les tableaux produits par des organismes indépendants ayant utilisé la même norme.

Il ne faut pas installer sur une cellule un ventilateur qui n'est pas conçu pour la ventilation des grains. Ainsi, les

séchoirs à foin sont conçus pour fonctionner à faible pression. La situation est pire pour les ventilateurs de bâtiments d'élevage. Les ventilateurs centrifuges à pales courbées vers l'avant, tels les ventilateurs de fournaies à

l'air chaud, ne conviennent pas plus. L'installation de plus d'un ventilateur sur une cellule doit faire l'objet d'une étude, car un montage inadéquat peut nuire au rendement des ventilateurs.

**Tableau 3 : Ventilateurs et sections de sorties d'air suggérés pour la ventilation de grains secs à un débit unitaire de 2 l/s.m<sup>3</sup> pour des silos munis de planchers perforés pleine grandeur, remplis de grains propres avec un épandeur et nivelés à la hauteur du mur. (Cent. pour centrifuge).**

Silo		Canola		Blé		Maïs		Soya			
Dia.x haut. m	Épandeur	Sorties m <sup>2</sup>	Débit total l/s	Pression kPa	Ventilateur kW	Pression kPa	Ventilateur kW	Pression kPa	Ventilateur kW	Pression kPa	Ventilateur kW
5 x 5	avec	0,1	200	0,45	0,8	0,25	0,8	0,15	0,8	0,10	0,8
	sans	0,1	200	0,45	0,8	0,20	0,8	0,10	0,8	0,05	0,8
6 x 6	avec	0,1	340	0,65	1,1	0,40	0,8	0,25	0,8	0,10	0,8
	sans	0,1	340	0,65	1,1	0,30	0,8	0,10	0,8	0,10	0,8
7 x 7	avec	0,1	540	0,90	2,3	0,55	1,1	0,30	0,8	0,15	0,8
	sans	0,1	540	0,90	2,3	0,40	0,8	0,15	0,8	0,10	0,8
8 x 8	avec	0,2	800	1,20	2,3 cent.	0,70	2,3	0,45	1,1	0,20	0,8
	sans	0,2	800	1,,20	2,3 cent.	0,55	1,1	0,20	0,8	0,15	0,8
9 x 9	avec	0,3	1150	1,50	3,8 cent.	0,90	3,8 cent.	0,55	2,3	0,25	1,1
	sans	0,3	1150	1,50	3,8 cent.	0,70	2,3	0,30	1,1	0,20	1,1

**Tableau 4 : Ventilateurs (kW) et sections de sorties d'air (m<sup>2</sup>) pour le système mixte de séchage-conservation du maïs, cellules munies de planchers perforés pleine grandeur, remplissage sans épandeur et sans nivellement. (Les sorties d'air sont calculées pour le débit de 15 l/s.m<sup>3</sup>. Cent. pour centrifuge).**

Diamètre du silo m	Épaisseur au mur m	Sorties d'air m <sup>2</sup>	Teneur en eau : 22 % Débit d'air : 10 l/s.m <sup>3</sup>				Teneur en eau : 24 % Débit d'air : 12 l/s.m <sup>3</sup>				Teneur en eau : 26 % Débit d'air : 15 l/s.m <sup>3</sup>			
			Débit total l/s	Pression statique kPa	Ventilateur kW	Tonnes de maïs à 22%	Débit total l/s	Pression statique kPa	Ventilateur kW	Tonnes de maïs à 24%	Débit total l/s	Pression statique kPa	Ventilateur kW	Tonnes de maïs à 26%
5,2	3	0,3	640	0,15	0,8	50	770	0,20	0,8	49	960	0,30	1,1	48
	4	0,4	850	0,35	1,1	64	1020	0,45	1,1	63	1270	0,60	2,3	62
	5	0,5	1060	0,55	1,1	79	1270	0,70	2,3	77	1590	1,00	3,8	76
5,8	3	0,3	790	0,15	0,8	63	950	0,20	0,8	62	1190	0,30	1,1	61
	4	0,4	1060	0,35	1,1	81	1270	0,45	1,1	80	1590	0,60	2,3	78
	5	0,5	1320	0,55	2,3	99	1590	0,70	2,3	97	1980	1,00	3,8	96
6,4	3	0,4	970	0,15	0,8	78	1160	0,20	1,1	76	1450	0,30	1,1	75
	4	0,6	1290	0,35	1,1	100	1540	0,45	2,3	98	1930	0,60	3,8	96
	5	0,7	1610	0,55	2,3	122	1930	0,70	2,3	120	2413	1,00	5,6 cent.	117
7,3	3	0,5	1260	0,15	1,1	104	1510	0,20	1,1	102	1880	0,30	2,3	100
	4	0,7	1670	0,35	2,3	132	2010	0,45	2,3	130	2510	0,60	3,8	127
	5	0,8	2090	0,55	3,8	161	2510	0,70	3,8	158	3140	1,00	5,6 cent.	155

**Tableau 5 : Ventilateurs et sections de sorties d'air pour la ventilation séchant de blé ou de soya pour des silos munis de planchers perforés pleine grandeur, remplis de grains propres avec un épandeur et nivelés à la hauteur du mur. (Cent. pour centrifuge; n.d. indique qu'aucun ventilateur évalué par un organisme indépendant ne répond aux conditions).**

Diamètre du silo m	Épaisseur au mur m	Débit de 15 l/s.m <sup>3</sup>					Débit de 20 l/s.m <sup>3</sup>					Débit de 25 l/s.m <sup>3</sup>				
		Débit total l/s	Pression kPa	Ventilateur Blé kW	Pression kPa	Ventilateur Soya kW	Débit total l/s	Pression kPa	Ventilateur Blé kW	Pression kPa	Ventilateur Soya kW	Débit total l/s	Pression kPa	Ventilateur Blé kW	Pression kPa	Ventilateur Soya kW
5,5	3	1070	0,8	2,3	0,3	1,1	1430	0,9	3,8	0,3	1,1	1780	1,5	5,6 cent.	0,49	2,3
	4	1430	1,6	5,6 cent.	0,5	2,3	1900	1,7	7,5 cent.	0,5	2,3	2380	2,9	11,3 cent.	0,97	3,8
	5	1780	2,6	7,5 cent.	0,8	3,8	2380	2,8	11,3 cent.	0,8	3,8	2970	4,9	n.d.	1,67	11,3 cent.
6,4	3	1450	0,8	3,8	0,3	1,1	1930	0,9	3,8	0,3	2,3	2410	1,5	7,5 cent.	0,49	3,8
	4	1930	1,6	5,6 cent.	0,5	2,3	2570	1,7	11,3 cent.	0,5	3,8	3220	2,9	n.d.	0,97	5,6 cent.
	5	2410	2,6	11,3 cent.	0,8	3,8	3220	2,8	n.d.	0,8	3,8	4020	4,9	n.d.	1,67	n.d.
7,3	3	1880	0,8	3,8	0,3	2,3	2510	0,9	3,8	0,3	2,3	3140	1,5	11,3 cent.	0,49	3,8
	4	2510	1,6	7,5 cent.	0,5	3,8	3350	1,7	11,3 cent.	0,5	3,8	4190	2,9	n.d.	0,97	n.d.
	5	3140	2,6	n.d.	0,8	5,6	4190	2,8	n.d.	0,8	n.d.	5230	4,9	n.d.	1,67	n.d.
8,2	3	2380	0,8	3,8	0,3	2,3	3170	0,9	5,6 cent.	0,3	3,8	3960	1,5	n.d.	0,49	3,8
	4	3170	1,6	11,3 cent.	0,5	3,8	4230	1,7	n.d.	0,5	3,8	5280	2,9	n.d.	0,97	n.d.
	5	3960	2,6	n.d.	0,8	11,3 cent.	5280	2,8	n.d.	0,8	n.d.	6600	4,9	n.d.	1,67	n.d.

**Tableau 6 : Ventilateurs et sorties d'air suggérés pour le refroidissement en cellule et la dryération en séchage de maïs en deux étapes pour des silos munis de planchers perforés pleine grandeur, remplis de grains propres avec un épandeur et nivelés à la hauteur du mur. (Cent. pour centrifuge; n.d. indique qu'aucun ventilateur évalué par un organisme indépendant ne répond aux conditions).**

Diamètre du silo m	Épaisseur au mur m	Refroidissement en cellule 5 l/s.m <sup>3</sup>				Dryération 9 l/s.m <sup>3</sup>				Dryération 12 l/s.m <sup>3</sup>			
		Sorties m <sup>2</sup>	Débit l/s	Pression kPa	Ventilateur kW	Sorties m <sup>2</sup>	Débit l/s	Pression kPa	Ventilateur kW	Sorties m <sup>2</sup>	Débit l/s	Pression kPa	Ventilateur kW
5,5	4	0,1	480	0,3	0,8	0,2	860	0,6	1,1	0,2	1140	0,9	3,8
	5	0,1	590	0,5	1,1	0,2	1070	1,0	3,8	0,3	1430	1,5	5,6
	6	0,2	710	0,7	1,1	0,3	1430	1,5	5,6 cent.	0,4	1710	2,3	7,5 cent.
6,4	5	0,2	800	0,5	1,1	0,3	1450	1,0	3,8	0,4	1930	1,5	7,5 cent.
	6	0,2	970	0,7	2,3	0,4	1740	1,5	5,6 cent.	0,5	2320	2,3	11,3 cent.
	7	0,2	1130	1,0	3,8	0,4	2030	2,2	7,5 cent.	0,5	2700	3,3	n.d.
7,3	6	0,3	1260	0,7	2,3	0,5	2260	1,5	5,6 cent.	0,6	3010	2,3	11,3 cent.
	7	0,3	1470	1,0	3,8	0,5	2640	2,2	11,3 cent.	0,7	3520	3,3	n.d.
	8	0,3	1670	1,3	3,8 cent.	0,6	3010	3,0	n.d.	0,8	4020	4,5	n.d.
8,2	7	0,4	1850	1,0	3,8	0,7	3330	2,2	11,3 cent.	0,9	4440	3,3	n.d.
	8	0,4	2110	1,3	5,6 cent.	0,8	3800	3,0	n.d.	1,0	5070	4,5	n.d.
	9	0,5	2380	1,8	11,3 cent.	0,9	4280	4,0	n.d.	1,1	5700	6,0	n.d.

2002-06-06

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

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

Tél. : 450 653-4413