

# Ventiler pour refroidir les céréales stockées

## Une conduite à moduler avec le climat

**La ventilation est la meilleure méthode pour refroidir les céréales stockées et, donc, conserver leurs qualités sanitaires et technologiques. Les climats, variés sur le territoire français, et le type de stockage (à plat, cellules de grande hauteur...) conditionnent le dimensionnement du système de ventilation.**

La conservation des grains doit respecter leurs qualités sanitaires et technologiques. Mais cet objectif est de plus en plus difficile à réaliser. D'une part, car la réglementation a fortement restreint le nombre de matières actives insecticides qui permettaient jusqu'à maintenant de « corriger » des manquements. D'autre part car des exceptions climatiques peuvent, comme à l'automne 2008, retarder voire empêcher la réalisation du premier palier de refroidissement. Ces nouvelles contraintes s'imposent alors que le refroidissement constaté dans les silos était déjà incomplet, essentiellement à cause d'une mauvaise adaptation du matériel de ventilation aux stocks à ventiler.

### Connaître les capacités de ventilation de chaque silo

En raison d'un parc de ventilateurs inadaptés et trop peu nombreux, comme du raccourcissement des périodes propices au refroidissement, la température des stocks dépasse souvent 12 °C en janvier – février. Or, cette température n'interdit malheureusement pas le développement des insectes. Associé à d'autres spécialistes du stockage des grains dans le cadre du projet CasDar, EcoProtectgrain, ARVALIS – Institut du végétal a fait le point sur les aspects météorologiques de la ventilation de refroidissement. Il s'agit ici de connaître avec précision les capacités de ventilation de chaque silo, où qu'il soit en France,

en s'appuyant sur des données de Météo France.

Il est impossible de réduire la température du stock à l'objectif de stockage en une seule fois. La

### La température d'objectif pour le stockage s'atteint en trois paliers.

conduite de ventilation est préconisée en trois paliers : 20 °C, 12 °C et enfin 5 °C (tableau 1). À 20 °C, le grain est protégé des moisissures, et à 12 °C le développement des insectes est stoppé.

Après une exposition prolongée à cette dernière température, 5 °C est une température insecticide. Au final, le stock de grain est progressivement protégé des différents agresseurs pour un bilan technico-économique intéressant. Cette conduite en paliers permet également d'éviter les trop grandes amplitudes de températures entre l'air et le grain qui conduiraient au phénomène de condensation.

Les silos de grande hauteur engendrent un fort réchauffage de l'air ventilé.



© J. Biner, ARVALIS - Institut du végétal

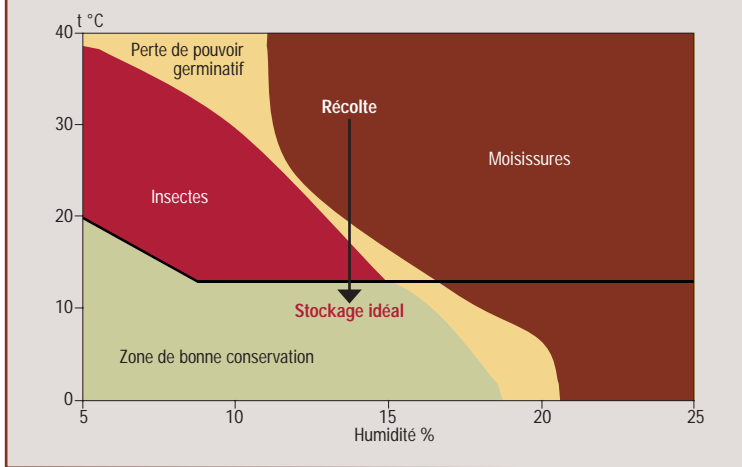
### Le grain respire... même après la récolte

Le grain est un organisme vivant qui respire. Sous l'effet de la chaleur et de l'humidité, son amidon est consommé et produit du gaz carbonique, de la vapeur d'eau et de la chaleur. Non seulement la respiration dégrade les caractéristiques technologiques (valeur boulangère en particulier), mais elle s'auto-amplifie. La perte de matière sèche (freinte) qu'elle occasionne peut atteindre 1 % de la masse totale, voire 3 à 4 % en une semaine si le grain est très humide, comme le maïs en attente de séchage.

Le couple température – humidité du stock de grain est donc décisif pour sa bonne conservation (figure 1).

Aux conditions de récolte (entre 12 et 16 % d'humidité et à environ 30 °C), le grain se situe dans la zone à risque quasi maximum. L'humidité de récolte étant imposée au stockeur sauf s'il sèche, il ne peut intervenir que sur la température.

Figure 1 : Une zone limitée de bonne conservation



Le grain stocké s'altère différemment selon la température et l'humidité.

dant demeurer très vigilant sur la conduite de cette ventilation.

## Le premier palier à démarrer dès la récolte

Le refroidissement pour atteindre le 1<sup>er</sup> palier démarre dès le remplissage des cellules. Les températures offertes par le climat sont exploitées dès que possible. La disponibilité de ventilation suit un fort gradient estival Sud – Nord (figure 2). Les régions les plus au sud auront le plus de difficultés à conduire correctement ce premier palier. L'importance du débit spécifique est clairement mise en évidence. Il faut éviter les débits spécifiques trop faibles, de 4 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> voire inférieurs : la durée de refroidissement, trop longue, ne serait pas compatible avec le climat. Dans le Nord de la France, un débit spécifique de 8 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> sera suffisant pour assurer la réalisa-



Le charançon du blé se développe à partir de 12 °C.

La rapidité de réalisation de chacun de ces trois paliers sera déterminée par le climat, qui conditionne la fenêtre climatique exploitable, mais aussi par la performance du système ventilateur – cellule(s). Ce dernier définit en effet le temps nécessaire à leur(s) refroidissement(s). Mais le réchauffage de l'air par le ventilateur lui-même réduit la taille de la fenêtre climatique (voir encadré « Les grandeurs clés »).

## Conjuguer performance de ventilation et climat

Pour un blé à 15 % d'humidité, la dose spécifique du 1<sup>er</sup> palier s'établit à 1 000 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Elle atteint

1 300 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> pour le 2<sup>nd</sup> et grimpe à 1 700 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> pour le dernier palier. Pour une même installation, la durée du 3<sup>e</sup> palier sera plus importante que pour le 2<sup>nd</sup> palier, lui-même plus long que le 1<sup>er</sup> palier. Les données de température de Météo France sur la période 1989-2009 ont été exploitées pour définir les fenêtres climatiques de refroidissement sur le territoire français. Elles ont permis de produire des cartes de faisabilité des paliers. La grandeur présentée est le nombre de cellules identiques qu'un ventilateur pourra traiter. Dans un premier temps, l'utilisateur identifie sa situation dans le tableau 2. À chaque situation est associée une carte par palier.

## Pour assurer un refroidissement optimum, les ventilateurs doivent être dimensionnés selon la capacité de stockage et le climat.

Puis, il se situe sur la carte et lit le nombre de cellules qui peuvent être traitées, au maximum, avec un seul ventilateur. Si le réchauffage de l'air, mesuré dans la gaine de ventilation, dépasse 3 °C, il faudrait ventiler plusieurs cellules à la fois, dans la mesure des capacités du ventilateur. Il faut cepen-

Tableau 1 : Trois paliers de refroidissement obligatoires

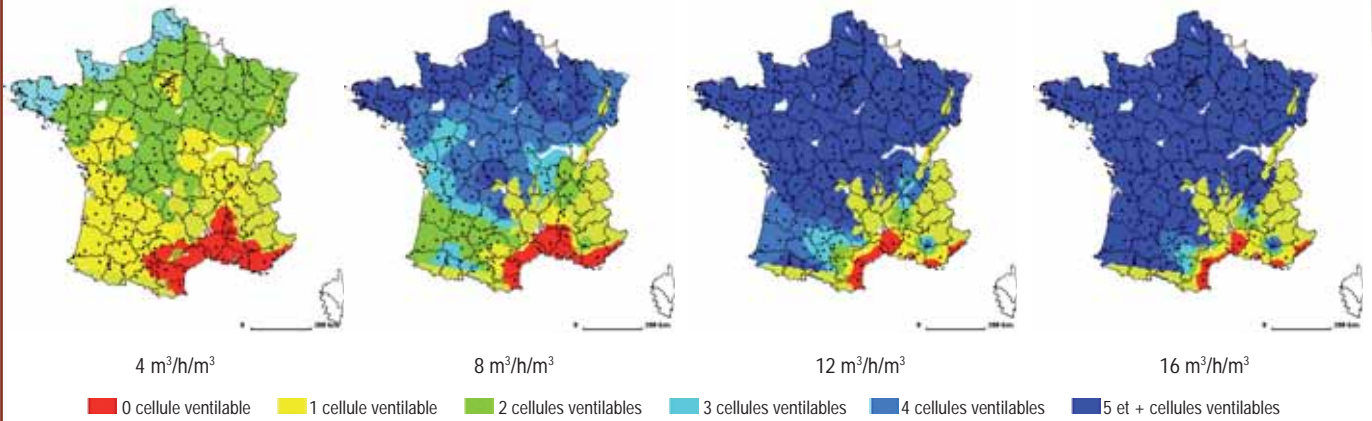
1 <sup>er</sup> palier (20 °C)	2 <sup>nd</sup> palier (12 °C)	3 <sup>e</sup> palier (5 °C)
1 <sup>er</sup> juillet - 31 août	21 septembre - 20 novembre	1 <sup>er</sup> décembre - 28 février
62 jours	61 jours	90 jours

→ Le climat détermine la rapidité de la succession des trois paliers de refroidissement des grains.



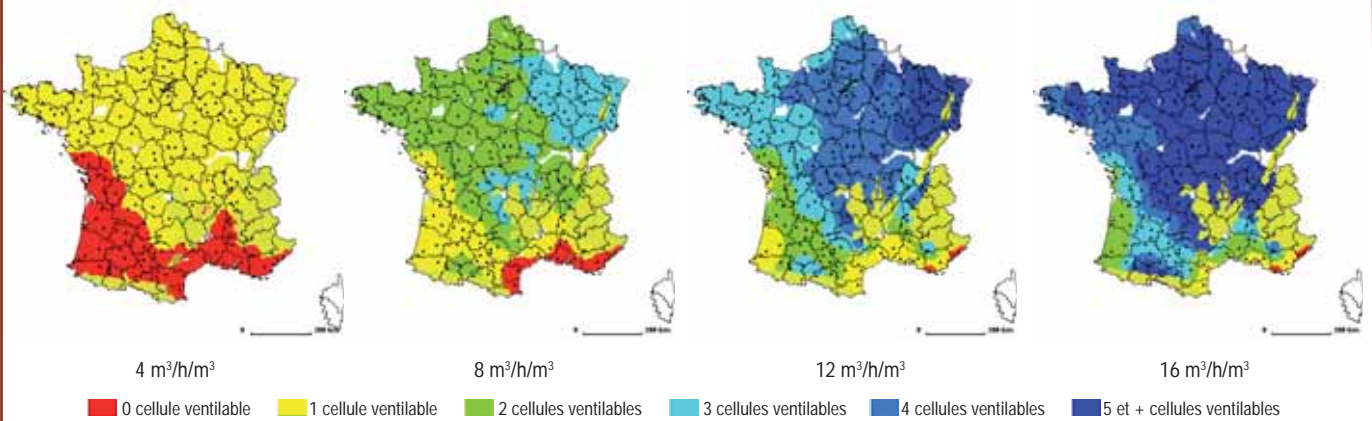
Un silo fermier se refroidit généralement plus facilement.

Figure 2: Gradient estival Sud-Nord de la disponibilité de ventilation pour le premier palier de refroidissement des grains



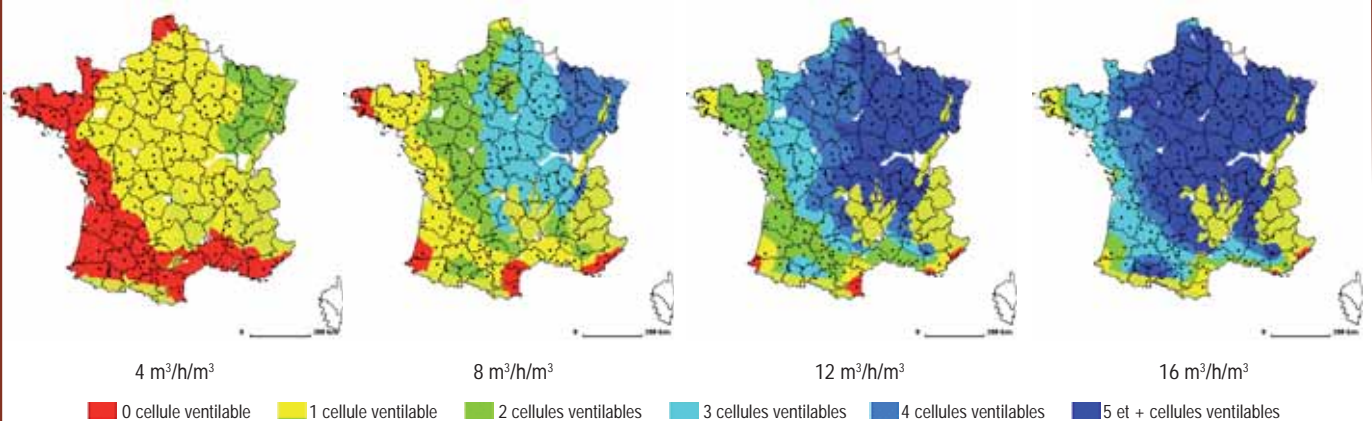
Un débit spécifique de 4 m<sup>3</sup> d'air/h/m<sup>3</sup> de grain est insuffisant quasiment partout en France pour conduire sereinement le grain à 20 °C après la récolte.

Figure 3: Disponibilité de ventilation pour atteindre le second palier de 12 °C



Le grain doit descendre impérativement à 12 °C avant décembre pour éviter une trop grande différence entre température du grain et température de l'air, source de condensation donc de développement de moisissures.

Figure 4: Disponibilité de ventilation pour atteindre 5 °C



Le climat très doux sur les côtés atlantiques et méditerranéennes complique le refroidissement à 5 °C.

tion du premier palier. Mais, pour le reste du territoire, il faut disposer de  $12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  pour être dans une situation confortable.

### Le second palier plus difficile qu'il n'y paraît

Contrairement aux idées reçues, le second palier est de loin le plus difficile à effectuer. Ce palier doit impérativement être réalisé entre septembre et décembre pour ne pas avoir, par la suite, une trop grande différence de température entre le grain et l'air ventilé, au risque de voir apparaître un phénomène de condensation qui favorise le développement de moisissures. Un gradient Sud-Ouest – Nord-Est apparaît. Un débit spécifique de  $4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  est trop juste pour conduire sereinement le second palier de ventilation. Le débit spécifique minimum est de  $8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  pour le Nord-Est, et de  $12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  pour le reste de la France (figure 3).

### Le second palier de 12 °C, une température qui stoppe le développement des insectes, est le plus difficile à réaliser.

### Le troisième palier pour atteindre 5 °C et détruire les insectes

Le troisième palier doit permettre aux stocks de céréales d'être refroidis à 5 °C. Le gradient des disponibilités climatiques est cette fois-ci orienté Ouest – Est.

Le débit spécifique de  $4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  est à bannir. Pour le Nord-Est, un débit spécifique de  $8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  pourra suffire, tandis que pour les côtes atlantiques comme méditerranéennes, les installations



© J. Bihet, ARVALIS - Institut du végétal

### Les grandeurs clés

- **La dose spécifique**: volume d'air ramené au volume de grain ventilé qu'il faut appliquer pour réaliser complètement un palier donné. Elle s'exprime en  $\text{m}^3$  d'air/ $\text{m}^3$  de grain.

- **Le débit spécifique**: débit horaire du ventilateur par  $\text{m}^3$  de grain. Il s'exprime en  $\text{m}^3$  d'air par heure/ $\text{m}^3$  de grain. Le rapport dose spécifique/débit spécifique donne la durée de réalisation des différents paliers.

- **Le réchauffage de l'air**: phénomène physique propre à la ventilation. Le ventilateur comprimant l'air, le réchauffe. De l'ordre d'1 °C en stockage à la ferme, il peut dépasser 10 °C avec des ventilateurs haute pression. Un thermomètre placé dans la gaine de ventilation le mesure aisément.

La performance de l'installation de ventilation sera conditionnée par les caractéristiques du ventilateur, les dimensions du stockage ventilé et l'espace ventilé.



cas des installations fermières. Dans les régions où le climat est doux, du matériel très performant est indispensable pour une bonne conservation des qualités du grain. Des améliorations pourront être effectuées dans les infrastructures existantes. Dans les hauts silos béton, où les débits spécifiques sont toujours faibles, et sur le pourtour méditerranéen, le parc de ventilateurs devra être renforcé. Un système de ventilation réfrigérée pourra être installé en complément. Cette solution est plus coûteuse que la ventilation à l'air ambiant, mais le résultat est garanti. Elle peut être envisagée pour la conservation de grains à forte valeur ajoutée (œillette, orge de brasserie...). La décision sera alors prise sur la base d'un bilan économique, car la non qualité a un coût... ■

de ventilation performantes auront des débits spécifiques supérieurs ou égal à 16 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup>. Pour le reste du territoire, un débit spécifique de 12 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> ou supérieur sera nécessaire pour refroidir correctement les céréales à 5 °C.

Plusieurs éléments sont à prendre en compte dans la conception et la conduite de la ventilation de refroidissement à l'air ambiant.

Le palier le plus difficile à conduire n'est pas, contrairement aux idées reçues, celui d'été. Il est donc important

de dimensionner son matériel de ventilation ou d'ajuster sa conduite de ventilation en fonction

**Le froid, un remède efficace pour prévenir le développement des insectes.**

du palier le plus difficile à réaliser dans son cas particulier.

Un débit spécifique important va réduire le temps nécessaire à la bonne réalisation d'un palier de ventilation. C'est généralement le

**Le dimensionnement de la ventilation se raisonne selon le palier le plus difficile à atteindre.**

**Julien Binet,**

*j.binet@arvalisinstitutduvegetal.fr*

**André Le Bras,**

*a.lebras@arvalisinstitutduvegetal.fr*

**ARVALIS-Institut du végétal**

**Tableau 2 : Débits spécifiques et types de silos représentatifs des situations françaises**

Situation	Débit spécifique	Silos caractéristiques
1	4 m <sup>3</sup> /h/m <sup>3</sup>	Silos de très grande hauteur type tour béton
2	8 m <sup>3</sup> /h/m <sup>3</sup>	Silos de grande hauteur type palplanche
3	12 m <sup>3</sup> /h/m <sup>3</sup>	Silo de moyenne hauteur
4	16 m <sup>3</sup> /h/m <sup>3</sup>	Silo en ventilation - vidange, stockage à plat ou stockage fermier

➔ À chaque type de silo est associé un débit spécifique type le plus souvent rencontré.