



• Sommaire

- Le refroidissement des stockages en France - cartographie d'une pratique étroitement liée aux conditions météorologiques
- Venti-LIS® diagnostic : déterminez les performances d'un système de ventilation en ligne

• Inscrivez-vous - Rappel

Si vous souhaitez recevoir cette lettre technique, merci de bien vouloir vous inscrire à l'aide du formulaire prévu :

<http://enquete.arvalis-fr.com>

Le refroidissement des stockages en France - cartographie d'une pratique étroitement liée aux conditions météorologiques

Le refroidissement par ventilation à l'air ambiant permet à la fois d'assurer une bonne conservation du grain, en limitant son activité respiratoire et les pertes de matières qui s'ensuivent, et de limiter la prolifération des insectes, dont l'activité et la reproduction sont fortement dépendantes de la température. Les conditions météorologiques déterminent l'offre climatique, qui est le nombre d'heures pendant lesquelles la température de l'air extérieur est inférieure au seuil de température visé à l'intérieur des cellules. Selon les régions de France et les années, il est plus ou moins facile d'atteindre les objectifs des différents paliers de refroidissement. Pour connaître le potentiel de refroidissement de cellules de stockage partout en France métropolitaine, une cartographie a été réalisée à partir de données de température de la période 1997/2017, provenant de 373 stations météorologiques.

Qu'est-ce que le potentiel de refroidissement et comment le calculer ?

Pour connaître le potentiel de refroidissement de cellule au niveau d'une station météo, il faut connaître trois paramètres qui sont l'offre climatique, le débit spécifique et la dose spécifique. L'offre climatique est le nombre d'heures

pendant lesquelles la température de l'air est inférieure ou égale à la température visée à l'intérieur du grain. La dose spécifique est la quantité d'air nécessaire pour amener le grain à la température visée. Le débit spécifique est la quantité d'air insufflé par le ventilateur pendant une certaine durée. Ce paramètre dépend de chaque installation. Pour être le plus représentatif possible de ce qui existe en France, quatre valeurs de débits spécifiques ont été retenues : 4, 8, 12 et 16 m³ d'air.h⁻¹.m⁻³ de grain.

Comment calculer l'offre climatique ?

Les données de température dont nous disposons pour cette étude sont des extrema journaliers (minimum et maximum de température pour chaque jour de la période 1997/2017). Ces valeurs sont celles qui ont été relevées sur 373 stations de France métropolitaine, situées à moins de 800 m d'altitude. A partir de ces extrema, le modèle ClimV3, développé par ARVALIS - Institut du végétal, permet de calculer les températures horaires. A partir de cela, l'offre climatique pour un palier est obtenue en comptant les heures qui vérifient la condition « la température horaire est inférieure ou égale à la température seuil du palier correspondant ». Les paliers sont définis par leurs dates de début et de fin, ainsi que par les objectifs de température à atteindre pour chacun d'eux. La date de début du premier palier a été fixée au 15 juillet, une date à laquelle la moisson du blé est terminée ou au moins commencée dans de nombreuses régions de France.

Chaque palier dure deux mois et les paliers se succèdent sans interruption. Les objectifs de température sont de 20°C au premier palier, 12°C au deuxième et 5°C au troisième.

Le graphique ci-après (Figure 1) a été obtenu en faisant le calcul des offres climatiques par palier et par an, en moyenne pour toute la France. La variabilité inter-annuelle de l'offre climatique est très importante, avec des écart-types proches d'une centaine d'heures aux paliers 1 et 2 et de 225 heures au palier 3 (Tableau 1). Pour la cartographie, c'est l'offre climatique moyenne de la période 1997/2017 qui a été retenue, ce qui ne permettra pas de rendre compte de ces variations inter-annuelles.

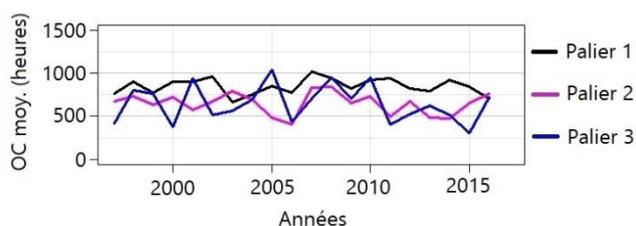


Figure 1 : Evolution de l'offre climatique en France sur la période 1997/2017

Palier	Offre climatique moyenne	Ecart-type
1	850	104+
2	651	138
3	649	228

Tableau 1 : moyennes et écart-types de l'offre climatique en France sur la période 1997/2017

La dose spécifique : une affaire de température et d'hygrométrie

La dose spécifique est la quantité d'air nécessaire pour faire passer un volume de grain d'une température à une autre. Les facteurs qui influent sur ce paramètre sont à la fois liés aux caractéristiques du grain (espèce et variété, teneur en eau, poids spécifique en place) et aux caractéristiques de l'air insufflé dans le grain (température de l'air entrant, de l'air sortant et humidité relative). Les formules permettant de connaître la dose spécifique ont été établies par Multon en 1982. Pour simplifier les calculs, et avoir des résultats comparables entre eux, une valeur de dose spécifique a été fixée pour chacun des trois paliers de refroidissement, pour du blé à 15% de teneur en eau et avec un poids spécifique en place de 760 kg.m^{-3} . Ces valeurs ont été choisies en s'appuyant sur les données de température et d'hygrométrie de la période 2011/2017, sur les stations météo de Boigneville (91), Le Magneraud (44) et Geispitzen (68). Ces trois stations ont été choisies car elles se trouvent dans des régions céréalières contrastées pour ce qui est des potentiels de refroidissement (Binet, 2010). Les doses spécifiques obtenues pour ces calculs sont présentées en Tableau 2.

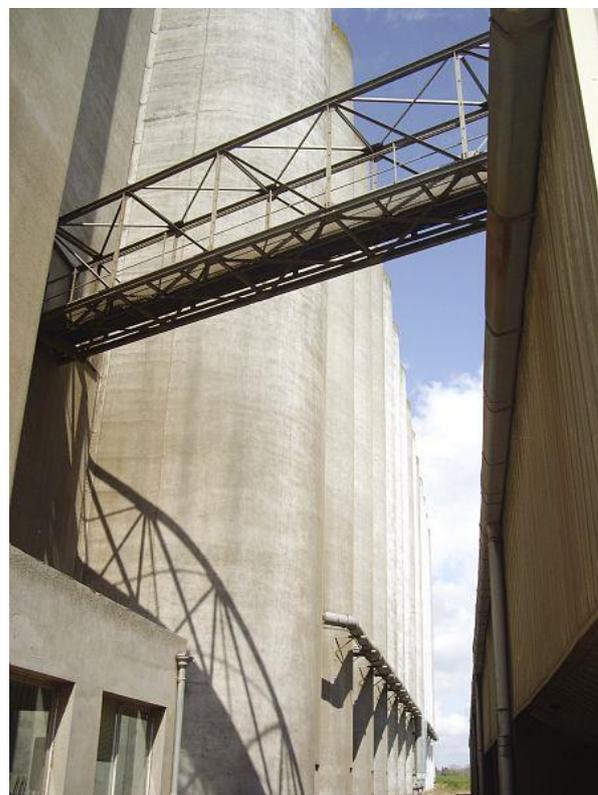
Dans cette étude, nous n'avons pas tenu compte du réchauffage de l'air à son entrée dans le circuit de ventilation, qui pourrait faire varier la dose spécifique et le nombre d'heures de froid disponible.

Représentation cartographique des résultats

Le nombre important de stations météo pour lesquelles les données sont disponibles permet d'interpoler les données du potentiel de refroidissement sur toute la France, c'est-à-dire de transformer des données ponctuelles en données de surface. Ces calculs ont été réalisés sur le logiciel QGis. Les résultats sont ici présentés palier par palier, pour les quatre débits spécifiques retenus. Les nombres de cellules ventilables représentés sur la carte vont de 0 à 4. Au-delà de 4, les nombres de cellules ventilables sont confondus en une seule et même catégorie. Les caractéristiques des paliers retenues pour cette étude sont récapitulées dans le tableau ci-dessous (Tableau 2).

Palier	Date début	Date fin	T_{obj} (°C)	Dose spécifique ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$)
1	15/07	14/09	20	1000
2	15/09	14/11	12	1400
3	15/11	14/01	5	1800

Tableau 2 : Caractéristiques des paliers de refroidissement



Un palier 1 aisément atteint dans la majeure partie de la France (Figure 2)

Au premier palier, la France peut être partagée en deux pour les installations caractérisées par un débit spécifique de $4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$. Au nord, trois cellules peuvent être refroidies, et deux cellules au Sud. Le pourtour méditerranéen reste limité à une cellule venti-

lable. En passant à des débits spécifiques supérieurs, le potentiel de refroidissement est de 5 cellules ou plus dans la quasi-totalité de la France. Les régions proches de la Méditerranée ainsi qu'une partie des Landes et des Pyrénées-Atlantiques restent toutefois un peu plus limitées pour un débit spécifique de $8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$.

Possibilités de refroidissement de silos en France - Palier 1 - Moyenne 1997/2017

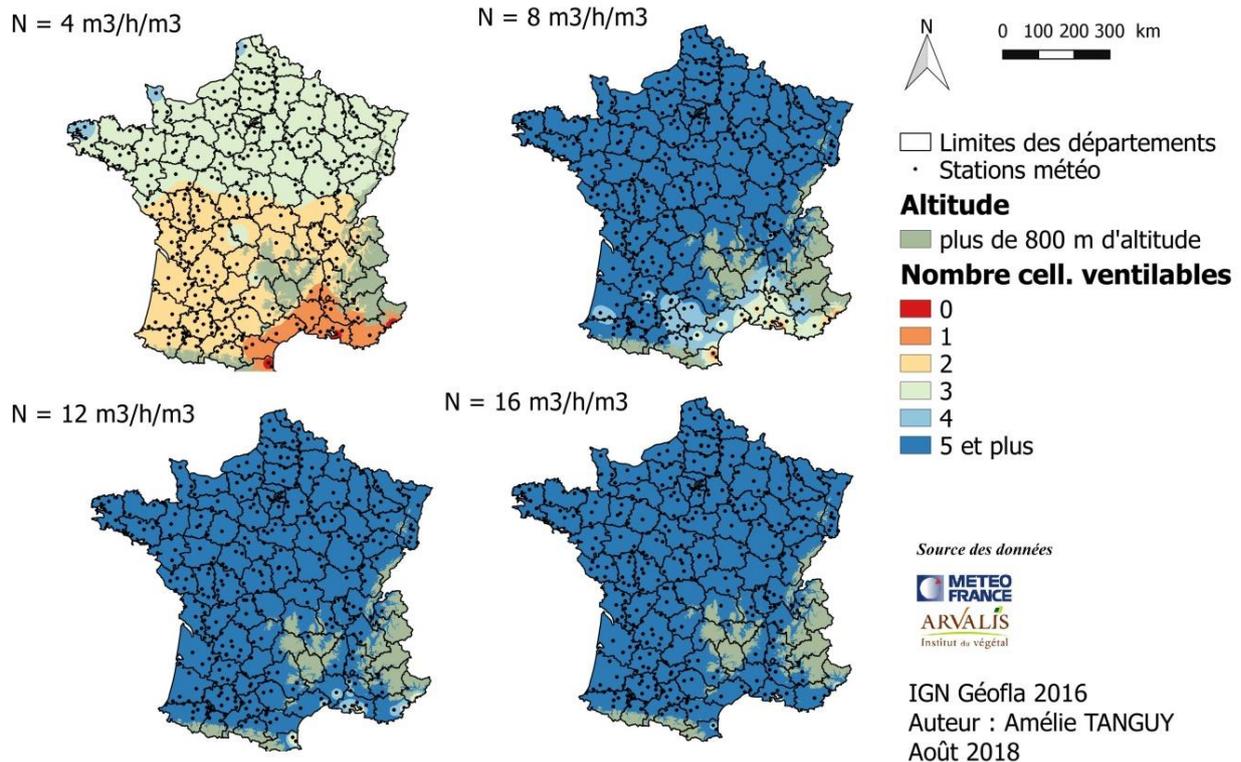


Figure 2 : Cartes du potentiel de refroidissement au premier palier pour des débits spécifiques de 4, 8, 12 et 16 m³/h/m³



Un palier 2 préoccupant pour les débits spécifiques les moins importants (Figure 3)

Au second palier, des différences se creusent entre les régions et les débits spécifiques. Avec un débit spécifique de $4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$, le potentiel de refroidissement est d'une cellule dans presque toute la France. Aux abords de la Méditerranée, le palier 2 ne peut pas être atteint. Pour les débits spécifiques de

8 et $12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$, un gradient de potentiel orienté Nord-Ouest/Sud-Est apparaît, le Nord-Est de la France étant la région la plus favorable au refroidissement des stockages. Avec un débit spécifique de $16 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$, le potentiel de refroidissement atteint à nouveau 5 cellules ou plus, dans presque toute la France. Les régions les plus limitées pour mener à bien le refroidissement des stockages sont à nouveau celles du pourtour méditerranéen et du Sud-Ouest (Landes et Pyrénées-Atlantiques).

Possibilités de refroidissement de silos en France - Palier 2 - Moyenne 1997/2017

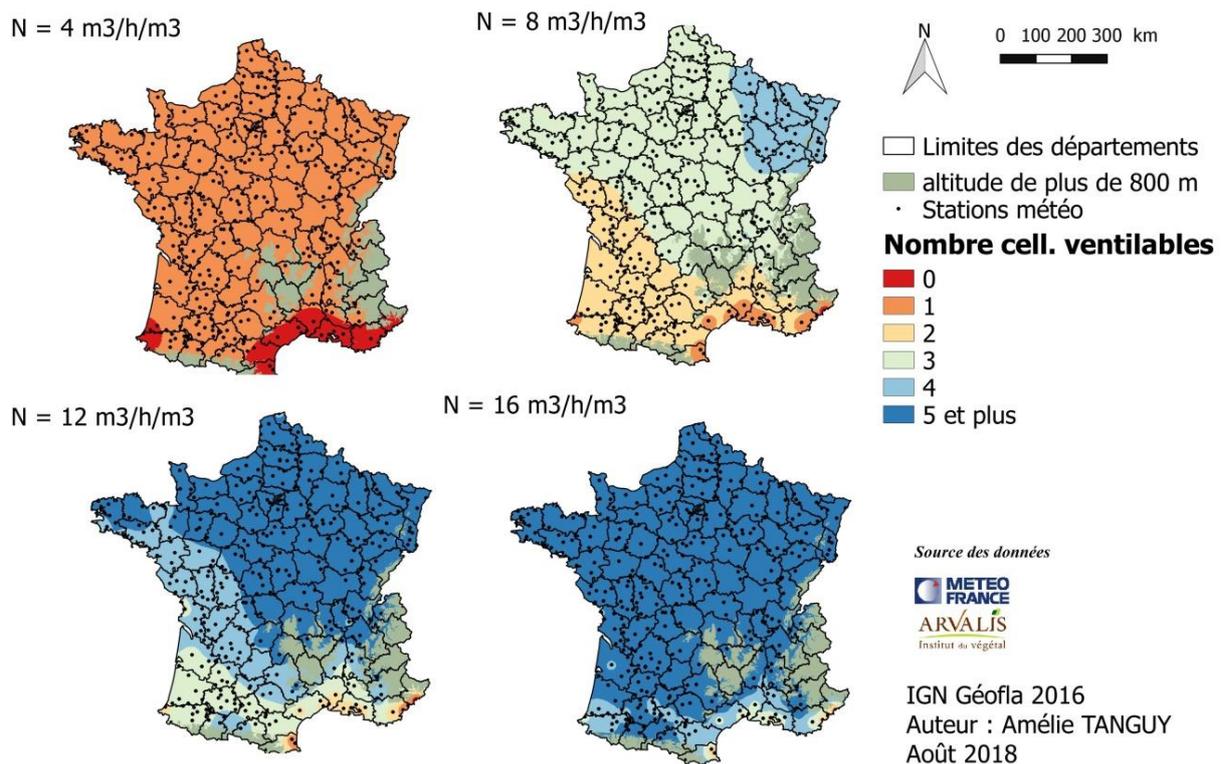


Figure 3 : Cartes du potentiel de refroidissement au second palier pour des débits spécifiques de 4, 8, 12 et 16 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^3$

Un palier 3 limitant fortement le potentiel de refroidissement (Figure 4)

Le palier 3 est le plus délicat à réaliser. Un débit spécifique de $4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ ne suffit alors plus à refroidir des cellules de grain, dans une grande partie Ouest de la France. Dans la partie Est, le potentiel est limité à une cellule. En augmentant le débit spécifique, le potentiel de refroidissement peut être amélioré. Le gradient du potentiel de refroidissement est ici orienté Est-Ouest. A $8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$, les régions des bords de l'Atlantique et de la Méditerranée restent limitées à une cellule ventilable. Dans la partie médiane de la France (incluant, par exemple, l'île de France, le Centre, la Picardie...), deux cellules peuvent être refroidies. Avec un débit spécifique de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$, le gradient de potentiel se décale. Les régions aux plus faibles potentiels (Bretagne, Aquitaine, Méditerranée...) sont limitées à deux cellules ventilables. Avec un débit spécifique de $16 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$, quatre cellules ou plus peuvent être refroidies dans toute la France, à l'exception de quelques localités proches de la Méditerranée.

Possibilités de refroidissement de silos en France - Palier 3 - Moyenne 1997/2017

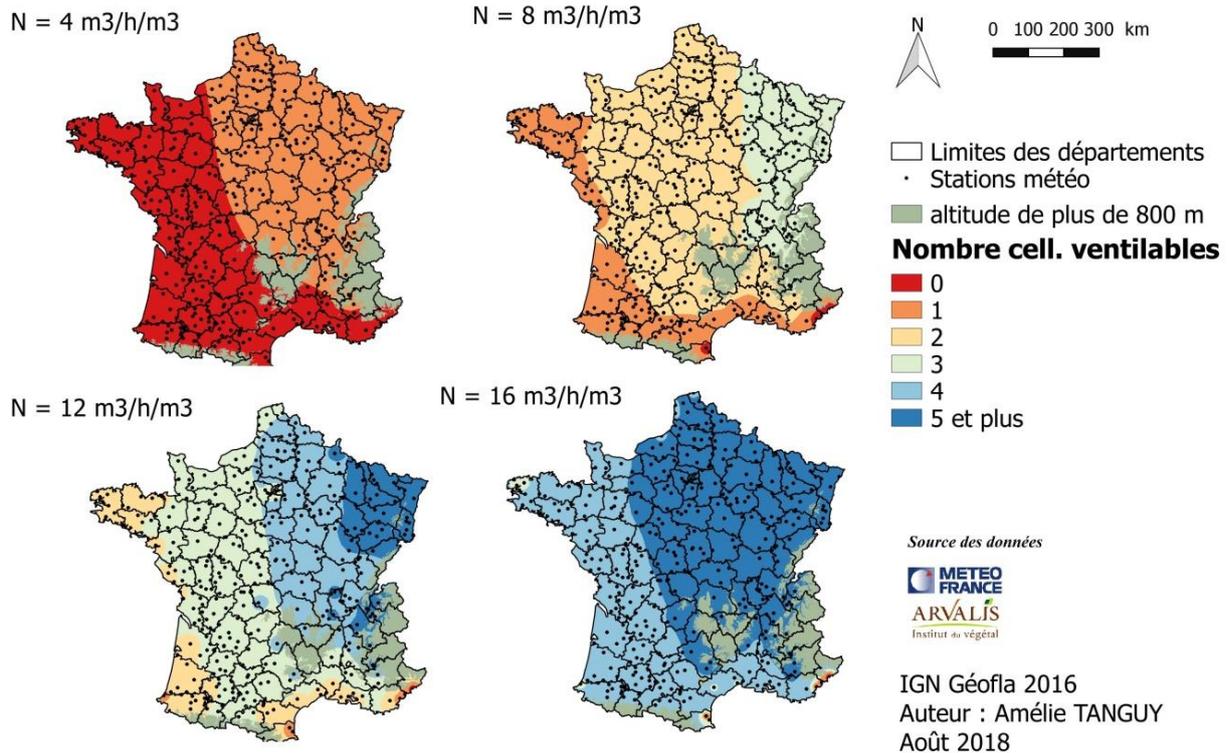


Figure 4 : Cartes du potentiel de refroidissement au troisième palier pour des débits spécifiques de 4, 8, 12 et 16 m³/h/m³

Des potentiels de refroidissement contrastés selon les régions, limités par la réalisation du troisième palier.

Que pouvons-nous retenir de cette étude ? Tout d'abord, c'est le troisième palier qui va conditionner le potentiel de refroidissement. Les régions les plus favorables au refroidissement des stockages sont celles du quart Nord-Est de la France, notamment l'Alsace et la Lorraine. Au contraire, dans les régions où les températures hivernales sont tamponnées par la proximité de la mer (Bretagne, Aquitaine, pourtour méditerranéen), les potentiels de refroidissement sont limités. Dans ces régions, piloter le déclenchement de la ventilation au moyen d'un thermostat est un choix judicieux car cela permet de profiter de toutes les heures de froid disponibles. Les valeurs de dose spécifique retenues pour cette étude ont été fixées pour toute la France, mais ce paramètre est susceptible de varier

selon l'hygrométrie et la température de l'air insufflé par les ventilateurs. Nous n'avons pas tenu compte du réchauffage de l'air à son entrée dans le circuit de ventilation, par conséquent les potentiels de refroidissement présentés sur les cartes peuvent être sur-estimés par rapport à ce qui est observé sur des installations de stockage. Les valeurs de l'offre climatique utilisées pour produire ces cartes sont des valeurs moyennes sur une période de 20 ans. La variabilité inter-annuelle de l'offre climatique étant très importante, les cartes reflètent ce qu'on peut attendre pour une année moyenne, mais pas les événements extrêmes qui peuvent survenir (par exemple hiver très doux, ne permettant pas d'atteindre le troisième palier, ou au contraire très froid, qui permettrait de le réaliser même avec des débits spécifiques peu élevés).

Amélie TANGUY

a.tanguy@arvalis.fr

Venti-LIS® diagnostic : déterminez les performances d'un système de ventilation en ligne

ARVALIS - Institut du végétal propose un outil simple d'autodiagnostic des installations de ventilation soufflantes sous la forme d'une application accessible gratuitement via internet : Venti-LIS® diagnostic. Cet outil est adapté à la plupart des denrées stockées (blé, orge, colza, tournesol, maïs, sorgho, soja, pois, féverole) dans les silos situés en France métropolitaine.

Venti-LIS diagnostic® permet de savoir si l'installation de ventilation est adaptée à la réalisation des paliers de ventilation nécessaires à une bonne conservation des stocks de grains, en mettant en balance la durée nécessaire pour réaliser chaque palier et le nombre d'heures disponibles pour refroidir le grain compte tenu des températures horaires observées sur la station météo la plus proche du silo, en moyenne sur les 20 dernières années ou sur la dernière campagne.

Cet outil fonctionne sur la base des données mesurées en conditions réelles, il n'est pas destiné à faire de la simulation.

Estimation des grandeurs aérauliques par une simple mesure d'élévation de température et une description des installations

L'élévation de température engendrée par la compression de l'air dans le ventilateur est directement reliée à la pression totale par les lois de Laplace. De ce fait, en mesurant la température de l'air ambiant en amont du ventilateur, puis celle de l'air de ventilation en aval du ventilateur, on peut estimer la pression totale nécessaire pour faire passer l'air à travers la masse de grains. La mesure de la température avant et après le ventilateur, est simple à mettre en œuvre mais nécessite quelques précautions pour assurer la justesse de l'outil :

- Utiliser un thermomètre précis au 1/10ième de degré,
- Si deux thermomètres sont utilisés, s'assurer qu'ils indiquent la même température (par exemple, mesurer simultanément la T° dans un liquide et corriger l'écart s'il existe),
- Mettre en marche la ventilation. Attendre une dizaine de minutes que la pression de l'air se stabilise,
- Mettre en place la sonde de température (au centre de la section),

- Attendre que la température affichée se stabilise (pas de variation pendant au moins une minute).

Moyennant une description de l'installation de stockage et de l'espèce stockée (Figure), on peut ensuite calculer la vitesse de l'air au point de mesure de la température de ventilation et son débit. Les doses spécifiques pour chaque palier sont calculées en tenant compte de la température et des hygrométries de l'air, entrant et sortant. Toutes les informations sont alors réunies pour calculer la durée nécessaire pour réaliser un palier.

Calcul du nombre d'heures de refroidissement disponibles

Le code postal de la commune où se situe le silo permet de rechercher la station météorologique la plus proche. Venti-LIS® diagnostic interroge alors les bases de données météorologiques d'ARVALIS – Institut du Végétal et calcule le nombre d'heures pendant lesquelles la température relevée était inférieure ou égale à la température « objectif » de chaque palier aux périodes de réalisation des paliers. Températures objectifs et dates de réalisation des paliers sont paramétrables par l'opérateur pour s'approcher au mieux des spécificités du site. Ce calcul peut se faire selon deux modalités :

- Soit en utilisant le nombre d'heures disponibles moyen sur les 20 dernières années,
- Soit en utilisant le nombre d'heures disponibles sur la dernière campagne.

L'objectif diffère en fonction de ce choix. La comparaison sur vingt ans permet d'évaluer globalement si le système de ventilation est adapté. Celle sur l'année passée permet de comprendre pourquoi la ventilation a pu être difficile l'année N-1.

Une aide contextuelle à la saisie

Les données nécessaires pour réaliser le diagnostic sont simples, elles concernent le grain stocké (espèce, PS, teneur en eau et température avant le démarrage de la ventilation), les objectifs et les dates de réalisation des paliers, et la description du site. Pour limiter les erreurs de saisie, une aide est accessible sur chaque écran, notifié par le symbole ⓘ. Par ailleurs, pour faciliter la saisie des données descriptives de l'installation, un schéma se construit au fur et à mesure des saisies permettant à l'opérateur de s'assurer de la validité des informations saisies (Figure).

1 Choix du Silo > 2 Espèce & Description > 3 Objectifs > 4 Matériel > 5 Résultat

Silo Arvalis Blé - PS : 76Kg/hl Humidité : 15% - Temp : 26°C 20°C / 12°C / 5°C

Nb de cellules alimentées par le ventilateur : 4

Nb de cellules en ventilation lors des mesures : 3

Forme de cellules : Ronde

Diamètre : 7 m

Hauteur de grain : 30 m

Nb de gaines dans une cellule : 2

Point de mesure : Sortie Ventilateur

Section au point de mesure : Ronde

Diamètre : 0.6 m

Température dans la gaine : 16 °C

Température à l'entrée du ventilateur : 10 °C

Précédent Lancer le diagnostic

Figure 1 : écran de saisie des données "matériel" (exemple)

Une présentation graphique des résultats

Les résultats sont présentés graphiquement pour une plus grande lisibilité (Figure 2). Toutes les grandeurs aérauliques calculées sont disponibles et les résultats sont téléchargeables en fichier .csv pour une sauvegarde par l'opérateur et un traitement compilé des différents sites diagnostiqués sur une même entreprise.

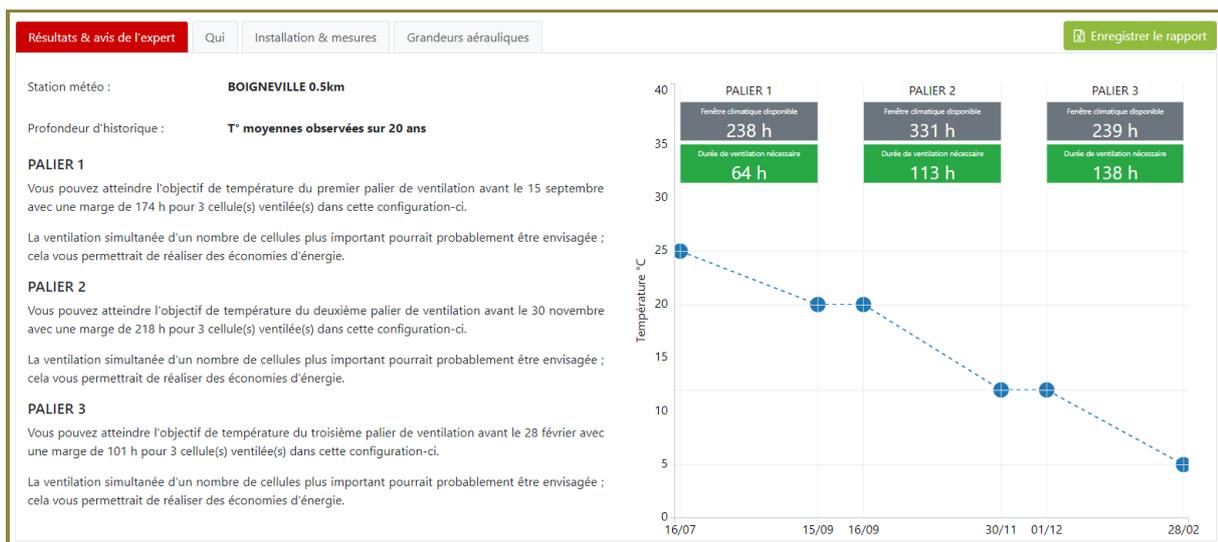


Figure 2 : synthèse graphique du diagnostic

L'outil est disponible à partir du 7 janvier via la plateforme Venti-LIS® sur <https://ventilis.arvalis-infos.fr>. L'accès est libre mais nécessite la création d'un compte utilisateur.

Katell CREPON

k.crepon@arvalis.fr