



Lettre technique d'ARVALIS

Juin 2022 - n° 18

Sur le stockage des grains

SOMMAIRE

Campagne 2021/2022 : de bons potentiels pour refroidir le grain à 12 °C Pages 1 - 3

Dans les coulisses de Venti-LIS Pages 4 - 7



INSCRIVEZ-VOUS

Si vous souhaitez recevoir cette lettre technique, merci de bien vouloir vous inscrire à l'aide du formulaire prévu sur le site Venti-LIS® :

<https://www.arvalis-infos.fr/demande-d-informations-@/view-127->

I CAMPAGNE 2021/2022 : DE BONS POTENTIELS POUR REFROIDIR LE GRAIN À 12 °C

À la récolte 2021, les rendements ont été très bons à l'échelle de la France, et la production totale de blé tendre a été estimée à 35.2 MT (Agreste). Les stocks de blé ont-ils bénéficié de conditions météorologiques favorables à leur conservation ? L'été a été relativement frais et humide, et plusieurs périodes de froid ont été observées à l'automne. Cela s'est-il traduit par des potentiels de ventilation élevés en début de campagne ? Pour la quatrième année consécutive, nous vous proposons une cartographie des quantités de cellules qui peuvent être refroidies successivement, pour trois paliers consécutifs. Cette année, les données de température proviennent de 675 stations météo réparties sur l'ensemble du territoire métropolitain.

► Comment estimer et cartographier le potentiel de refroidissement ?

Le refroidissement des grains est habituellement réalisé progressivement, par paliers de température. Pour calculer les potentiels de ventilation, les dates de début et de fin de trois paliers, les doses spécifiques et les objectifs de température que nous retenons sont présentés dans le Tableau 1 ci-contre.

Le paramètre cartographié, assimilé au potentiel de refroidissement, est le nombre de cellules qui peuvent être refroidies successivement (noté NCV pour Nombre de Cellules Ventilables). Il est calculé par la formule ci-dessous :

$$NCV = \frac{\text{Offre climatique} \times \text{Debit spécifique}}{\text{Dose spécifique}}$$

Palier	Date début	Date fin	Objectif de température (°C)	Dose spécifique (m ³ /h/m ³)
1	15/07/2020	14/09/2020	20	1000
2	15/09/2020	14/11/2020	12	1400
3	15/11/2020	14/01/2021	5	1800

Tableau 1 : Caractéristiques des paliers de refroidissement tels qu'ils ont été utilisés dans l'étude

- **L'offre climatique** est le nombre d'heures où la température est inférieure ou égale au seuil de température fixé pour chaque palier. L'offre climatique a été calculée pour 675 stations météorologiques de France métropolitaine. **NB : Le réchauffage de l'air engendré par sa compression dans le ventilateur n'est pas pris en compte** dans le calcul car dépendant de chaque installation. Sa prise en compte fera d'autant plus baisser l'offre climatique que le réchauffage sera important.
- **Le débit spécifique**, exprimé en m³/h/m³, correspond au débit du ventilateur rapporté au volume de grain ventilé. Ce paramètre dépend des installations. Quatre valeurs différentes, représentatives des installations de stockage de France, ont été retenues pour ce bilan : 4, 8, 12 et 16 m³/h/m³.

- **La dose spécifique** est la quantité d'air permettant de refroidir 1 m³ de grain (passage d'une température initiale à la température objectif), exprimée en m³ d'air/m³ de grain. Ce paramètre dépend de la nature du grain, de la variation d'hygrométrie de l'air en cours de ventilation et des températures initiales et finales du grain. Les valeurs de doses spécifiques utilisées pour ce bilan sont présentées dans le tableau 1. Elles ont été calculées pour du blé tendre, en utilisant des données d'hygrométrie d'air entrant moyennes mesurées à la station de Boigneville (91) sur la période 2011/2017 et une teneur en eau du grain de 14 %.

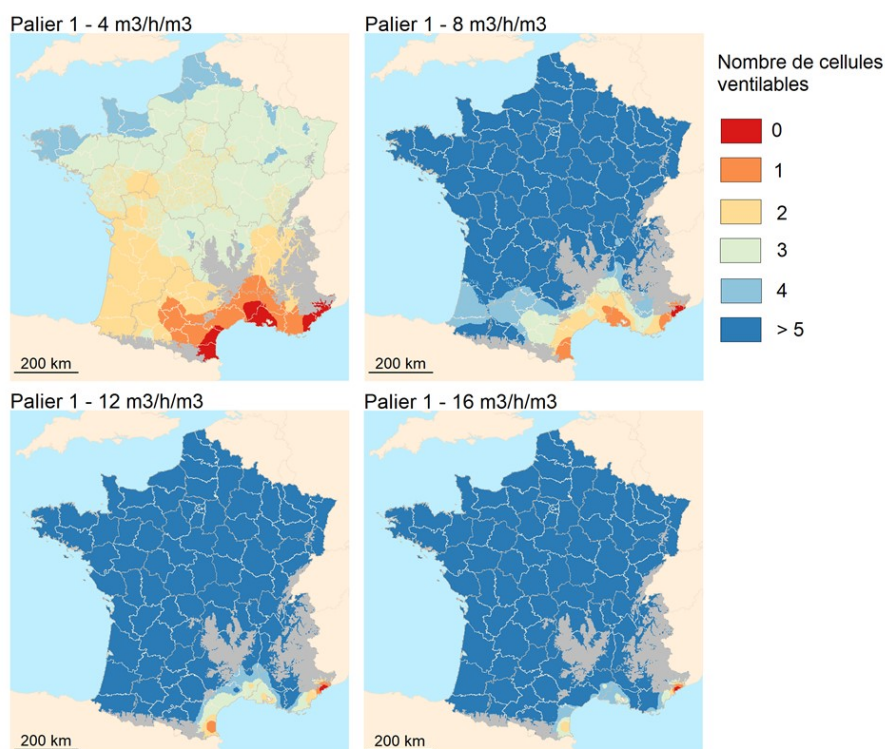
► Une fraîcheur propice pour amener le grain sous le seuil de 12 °C

Palier	Campagne	Nb. Stations météo	Moyenne (h)	Ecart-type (h)
1 - Du 15/07 au 14/09/2020	2021/2022	675	894	212
	2020/2021	726	734	186
	Période 1997/2017	369	850	105
2 - Du 15/09 au 14/11/2020	2021/2022	675	717	161
	2020/2021	726	649	163
	Période 1997/2017	369	651	138
3 - Du 15/11/2020 au 14/01/2021	2021/2022	675	652	252
	2020/2021	726	704	191
	Période 1997/2017	369	649	228

Tableau 2 : Comparaison des offres climatiques de la campagne 2021/2022 à celles de la campagne précédente et de la moyenne 1997/2017

Selon Météo France, l'été 2021 a été le plus frais depuis 2014. Cela s'est traduit par une offre climatique plus élevée que la moyenne de la période 1997/2017 pour le premier palier. La fraîcheur s'est installée au mois d'octobre, marqué par de fortes amplitudes thermiques journalières. *In fine*, ces conditions ont été favorables à la ventilation, puisque l'offre climatique du palier 2 a été supérieure de 10 % à la moyenne de la période 1997/2017. Pour le palier 3, l'offre climatique a été comparable à la moyenne de la période 1997/2017. On observe cependant que les écart-types de la campagne 2021/2022 sont plus élevés que ceux de la période 1997/2017, en particulier pour le palier 1. Cela indique que les différences entre stations sont plus marquées.

► Palier 1 : davantage de possibilités pour atteindre 20 °C avec un débit spécifique peu élevé



Pour le palier 1, seuls les sites disposant d'un débit spécifique faible (inférieur ou égale à 4) ont pu présenter des difficultés de refroidissement, essentiellement dans le sud de la France. Quand le débit spécifique est supérieur ou égal à 8 m³/h/m³, les potentiels de refroidissement sont d'au moins 5 cellules dans la quasi-totalité de l'Hexagone.



Figure 1 : Potentiels de refroidissement au premier palier

▶ Palier 2 : hausse généralisée des potentiels de refroidissement

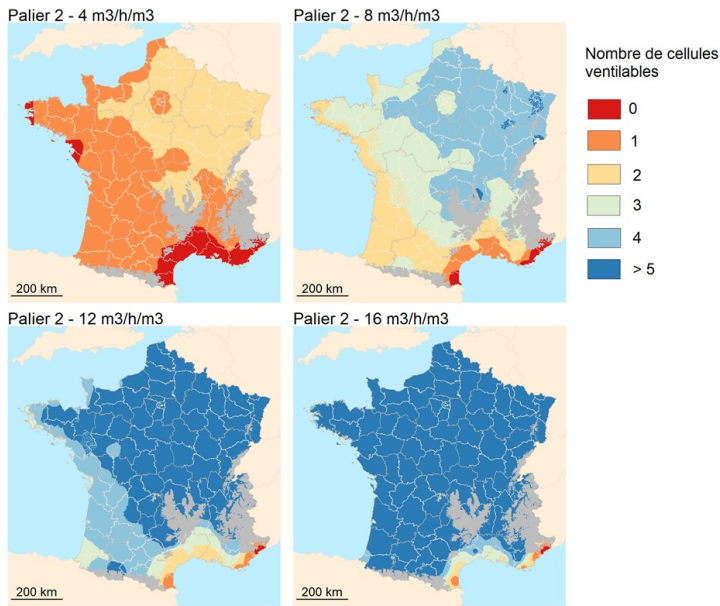
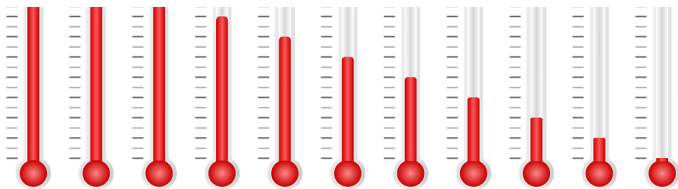


Figure 2 : Potentiels de refroidissement au palier 2

A l'instar des campagnes précédentes, on observe un gradient du potentiel de refroidissement orienté du Nord-Ouest vers le Sud-Est. Dans certaines régions, les potentiels de refroidissement ont été plus élevés que pour les campagnes précédentes. Par exemple, en Beauce, avec un débit spécifique de $8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$, les potentiels de refroidissement de la campagne 2021/2022 ont été de 4 cellules, alors que pour les campagnes précédentes ils étaient de 3.



▶ Que retenir de cette campagne ?

Refroidir le grain jusqu'au seuil de 12 °C a été relativement facile lors de cette dernière campagne, en lien avec les températures fraîches de juillet/août et d'octobre. Les potentiels de refroidissement ont été plus élevés que la moyenne dans certaines régions, et les débits spécifiques les plus faibles ont pu profiter de cette hausse. Toutefois, pour le premier palier, la variabilité entre stations était particulièrement élevée. En hiver, l'offre climatique était comparable à la moyenne de la période 1997/2017. Le contraste entre les régions océaniques et continentales s'est renforcé. La variabilité entre stations a été particulièrement importante, notamment au premier palier.

Ces cartographies permettent de suivre l'évolution du potentiel de refroidissement des ventilateurs. Cependant, il ne faut pas perdre de vue deux éléments majeurs qui ne sont pas pris en compte dans ces modèles car variables d'un site à l'autre. Le réchauffage de l'air par la compression au niveau du ventilateur ainsi que les phénomènes de sous refroidissement engendrés par la ventilation avec de l'air humide. L'un ou l'autre de ces effets peut expliquer la difficulté voire l'impossibilité pour certains sites de réaliser les paliers de refroidissement dans les périodes de référence.

▶ Palier 3 : en hiver, le contraste entre climat océanique et continental s'affirme

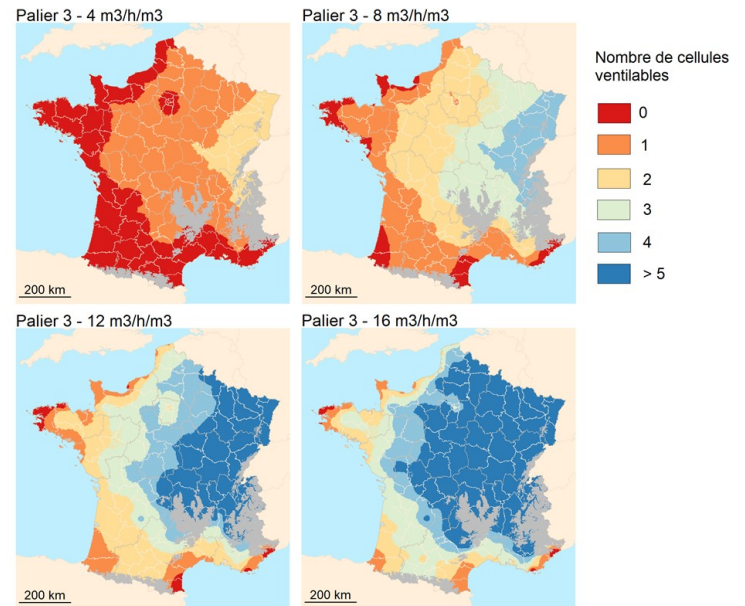


Figure 3 : Potentiels de refroidissement au palier 3

Au troisième palier, le gradient des potentiels de refroidissement est orienté Est-Ouest. Avec un débit spécifique de $4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$, il n'a pas été possible d'atteindre 5 °C dans les régions de l'Ouest et du Sud de la France, ainsi que dans les alentours de Paris. Pour certaines localités proches de la mer, cette impossibilité a été valable quel que soit le débit spécifique. Par rapport aux campagnes précédentes, le contraste entre les régions océaniques et continentales tend à s'affirmer. On l'observe surtout pour les débits spécifiques les plus élevés, ici 12 et $16 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$. Les cartes correspondantes affichent toutes les couleurs de la légende, ce qui n'était pas le cas pour les campagnes précédentes. C'est à proximité des côtes qu'on voit apparaître des zones où les potentiels de refroidissement ont baissé.

Amélie TANGUY
a.tanguy@arvalis.fr

Synopsis : qu'est-ce que Venti-LIS diagnostic ?

Lancé fin 2018, le logiciel Venti-LIS diagnostic fournit aux organismes stockeurs des éléments de diagnostic de leurs installations de ventilation. Cet outil met en balance le temps nécessaire pour ventiler avec l'offre climatique locale. Cette dernière est calculée à partir des relevés de température de la station météorologique la plus proche. La durée de ventilation, dépendante du débit d'air, est calculée grâce à la mesure de l'élévation de température de l'air entre l'entrée et la sortie du ventilateur, lorsque le réseau de ventilation est en charge. Trois ans après le lancement de cet outil, ARVALIS a souhaité faire un bilan des diagnostics réalisés. Pour cela, une extraction de la base de données a été réalisée le 31/01/2022. La première partie de cet article décrit le profil des utilisateurs de Venti-LIS diagnostic. Ensuite, nous nous intéresserons aux résultats obtenus par un groupe d'utilisateurs qui stockent du blé.

▶ Le casting : qui sont les utilisateurs de Venti-LIS ?

131 comptes d'utilisateurs ont été créés, et parmi ces comptes, seuls 86 ont effectué au moins un diagnostic complet. En tout, ce sont 430 diagnostics qui ont été réalisés pendant les trois années suivant le lancement de l'outil. La plupart des diagnostics datent du premier semestre 2019.

Les utilisateurs proviennent de 65 organismes différents. Un peu plus de la moitié des diagnostics de Venti-LIS ont été faits par des employés de coopératives ou de négoce (Figure 1). Les consultants qui travaillent pour ces organismes stockeurs sont aussi de grands utilisateurs de Venti-LIS : environ 35 % des diagnostics ont été faits par eux. Quelques agriculteurs-stockeurs ont utilisé Venti-LIS (au moins 3 % des diagnostics, sachant que la plupart des diagnostics pour lesquels on ne connaît pas le type d'entreprise sont probablement des agriculteurs-stockeurs). D'autres entreprises en lien avec le domaine du stockage sont présentes dans la base de données. On peut citer les entreprises qui conçoivent, construisent ou fournissent du matériel pour les silos, ou encore des assurances et des chambres d'agriculture.

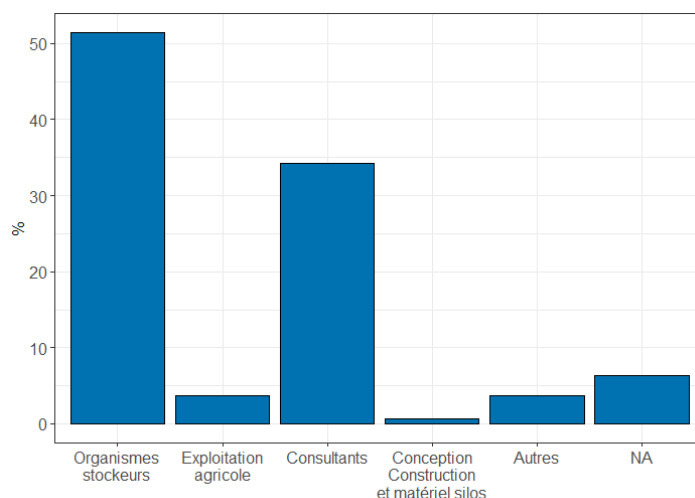
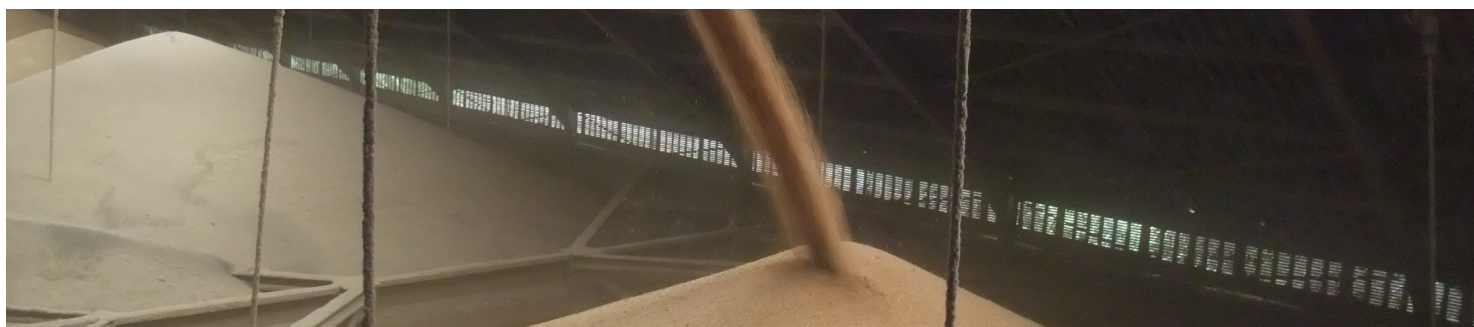


Figure 1 : Répartition des diagnostics en fonction du type d'entreprise

Les diagnostics ont été faits pour 184 sites différents. Dans la plupart des cas, un seul diagnostic est fait par site. Quelques sites ont eu entre 2 et 10 diagnostics. Le maximum de diagnostics pour un même site est de 30. La plupart des diagnostics ont été faits pour des stockages en cellule (79 %). Les 21 % restants concernent des stockages à plat.

Les calculs sur 20 ans ont été un peu plus demandés que les calculs sur la campagne passée, avec 54 % des diagnostics contre 46 %. Une écrasante majorité des diagnostics concerne le blé (79 %). Viennent ensuite le colza, avec 10 % des diagnostics, l'orge (6 %) et le maïs (3 %). Les cinq autres espèces de la liste déroulante se partagent les babeluches ¹ restantes.



¹ Mot issu du patois Charentais/poitevin signifiant dépôt, sédiment, écume, et par extension, désignant des choses de peu d'importance (Source : <http://chemindepapier.blogspot.com/2016/04/dictionnaire-de-patois-poitevin.html#noteB>).

L'envers du décor : que cache le moteur de calcul de Venti-LIS ?

Lorsqu'un utilisateur renseigne les différents champs de Venti-LIS et lance un calcul, de nombreuses variables intermédiaires sont calculées avant que le résultat final n'apparaisse sur son écran. Plusieurs de ces calculs intermédiaires font intervenir les mesures de température en entrée de ventilateur et dans la gaine (Figure 2).

La pression totale : cette grandeur est utilisée pour calculer le débit, puis le débit spécifique. Dans cette formule, c'est le ratio de la température dans la gaine sur la température ambiante qui détermine le résultat, et non la différence des deux valeurs.

L'hygrométrie dans la gaine de ventilation. Si la température de l'air varie après son passage dans le ventilateur, son hygrométrie varie également. Cela est pris en compte dans le calcul de la dose spécifique. Les calculs s'appuient sur des hypothèses de 60 % d'hygrométrie aux paliers 1 et 2 et 40 % d'hygrométrie pour le palier 3 (ou pour le palier 2 si l'espèce stockée est du maïs, du soja ou du sorgho).

Le réchauffage de l'air, c'est-à-dire la différence entre les deux températures. En interrogeant des bases de données météo, l'outil comptabilise les heures dont la température est inférieure à l'objectif du palier moins le réchauffage. C'est ainsi qu'on obtient les fenêtres disponibles pour ventiler.

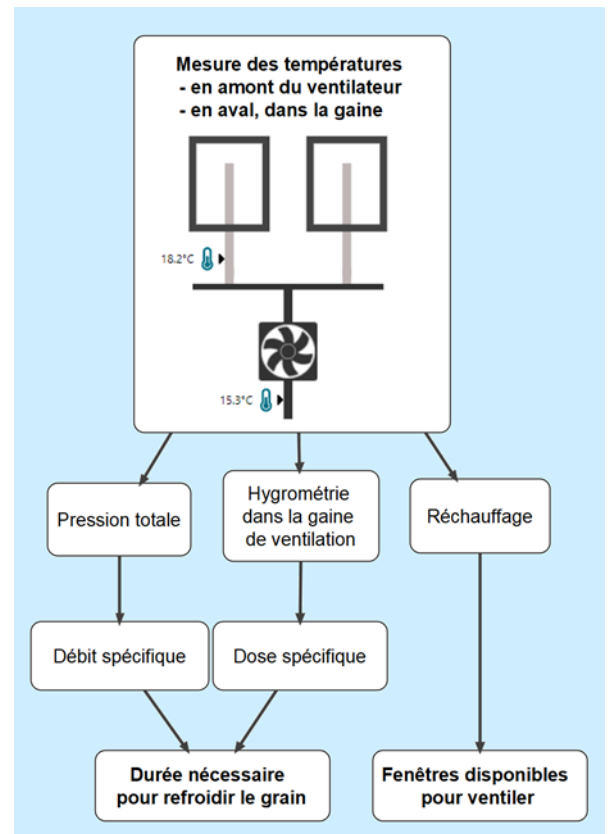


Figure 2 : Schéma de l'enchaînement des principaux calculs de l'outil Venti-LIS diagnostic

► Fiction ou réalité ? Les données passées au crible

Une première analyse de cette base de données a révélé de nombreuses données aberrantes. Une des variables qui nous a mis la puce à l'oreille est le débit spécifique. Pour la base de données brute, ses valeurs s'étendaient entre 0.4 et 15000 m³/h/m³, alors que cette grandeur est habituellement comprise entre 4 et 40 m³/h/m³.

Pour comprendre l'origine des valeurs extrêmes, le jeu de données a été inspecté dans son intégralité. Manifestement, certains utilisateurs ont saisi les dimensions de leurs gaines en centimètres ou en millimètres, alors que l'outil indique clairement qu'il faut saisir des valeurs en mètres. Lorsque les valeurs de gaines sont données en centimètres, la section aéraulique calculée est 100 fois supérieure à la section aéraulique réelle, et lorsqu'elle est donnée en millimètres, elle est 10 000 fois supérieure à celle-ci. La vitesse d'air dans la gaine et le débit sont ainsi surestimés de plusieurs ordres de grandeur. La correction de certaines dimensions de gaines et la suppression des diagnostics avec des gaines de 1 m de diamètre a permis de retrouver des débits spécifiques compris dans un intervalle plus raisonnable, entre 0.5 et 190 m³/h/m³.

D'autres éléments nous ont alertés quant à la qualité des données contenues dans la base : des cellules extrêmement petites (1 m³), des blés ayant un PS de 30 kg/hL et une teneur en eau de 10 %, des cellules alimentées par un nombre de gaines élevé, au point d'occuper une surface plus grande que celle de la cellule... Dans les cas où plusieurs diagnostics ont été faits pour un même site, il arrive parfois que les dimensions des cellules et/ou des gaines soient les seuls paramètres qui varient. 91 diagnostics ont ainsi été supprimés : il reste 339 diagnostics dans la base de données.

Les valeurs des mesures de températures en entrée de ventilateur et dans la gaine sont très étonnantes. En effet, 78 % des diagnostics ont des valeurs entières pour ces deux mesures. En supposant que tous les utilisateurs aient fait des mesures avec une précision de 0.1 °C, on pourrait s'attendre à avoir 1 % de diagnostics avec des valeurs entières pour les deux mesures. De plus, 28 % des diagnostics affichent des entiers multiples de 5 pour les températures en entrée de ventilateur et dans la gaine. Cela nous laisse penser que de nombreux diagnostics sont faits, au mieux sur la base d'une estimation, au pire sur des valeurs imaginaires sans lien avec la réalité.

Un bon diagnostic est une affaire de précision

La mesure de l'élévation de température doit être réalisée avec le plus de soin possible : il faut une précision de 0.1 °C. Ce niveau de précision peut facilement être obtenu avec n'importe quel thermomètre électronique du marché. Cependant, arrondir les valeurs mesurées en amont et en aval du ventilateur a des conséquences importantes sur les résultats. Le tableau ci-dessous illustre à travers un exemple* les variations qu'un tel arrondi peut engendrer :

T amont (°C)	T aval (°C)	Réchauffage de l'air (°C)	Débit d'air m ³ /h	Heures disponibles Palier 1	Durée ventilation Palier 1	Heures disponibles Palier 2	Durée ventilation Palier 1	Heures disponibles Palier 3	Durée ventilation Palier 1
14	18	4.0	5 350	334	245	341	343	392	405
13.5	18.4	4.9	6 365	264	201	266	281	261	336
14.4	17.5	3.1	4 284	423	313	472	441	554	515

Pour rappel, la nature des graines (espèce, PS et teneur en eau) ainsi que la hauteur de grain et le nombre de cases ou de cellules en ventilation font varier la pression de fonctionnement du système et donc le réchauffage de l'air. Il est donc très hasardeux de faire des simulations avec cet outil sans avoir réellement mesuré l'élévation de température pour chaque type de situation rencontrée. Il est conseillé de privilégier la mesure de la température directement en sortie de ventilateur car, sur le terrain, on peut observer des évolutions de température dans les galeries ou les réseaux de distribution d'air entre la sortie du ventilateur et l'entrée dans les gaines ou caniveaux.

A partir d'une mesure, il est possible de faire varier les dates de début et de fin de palier ainsi que les objectifs de température pour estimer à quelle date le refroidissement du site peut être réalisé.

*Exemple basé sur la ventilation à Boigneville d'une cellule diam=8m, h=35m comportant 1 gaine de diam 0.3m remplie de blé PS 80 T.E. 13 %. Plage de données de température : année passée. Plages de réalisation des paliers : valeurs par défaut

► Résolution de l'énigme : les utilisateurs parviennent-ils à refroidir leurs stocks ?

L'objectif principal de cette étude était d'obtenir des informations sur l'efficacité de la ventilation à l'air ambiant. Contrairement à l'étude présentée dans le premier article, cette fois-ci le réchauffage de l'air est pris en compte dans les calculs des fenêtres disponibles pour ventiler.

Pour savoir si les utilisateurs parviennent à refroidir complètement leurs stocks, l'indicateur le plus intéressant est la marge restant pour ventiler. Cet indicateur est la différence entre les fenêtres où la ventilation est possible et la durée nécessaire pour refroidir le stock. Une marge négative signifie que le grain ne peut pas être entièrement refroidi. Pour une première analyse des marges restant pour ventiler, nous avons retenu un groupe de 95 diagnostics correspondant à des stockages de blé qui ont

Palier	Objectif de température (°C)	Date de début	Date de fin
1	20	16/07	15/09
2	12	16/09	30/11
3	5	01/12	28/02

Tableau 1 : Valeurs par défaut pour le pilotage de la ventilation

exactement les mêmes objectifs de température et les mêmes dates de paliers. Ces objectifs de température et ces dates sont les valeurs par défaut proposées par Venti-LIS (Tableau 1).

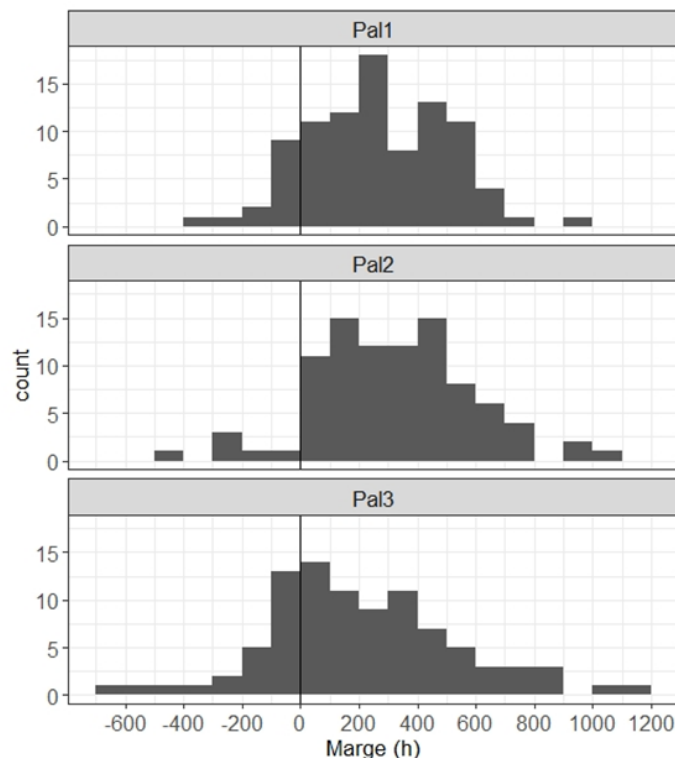
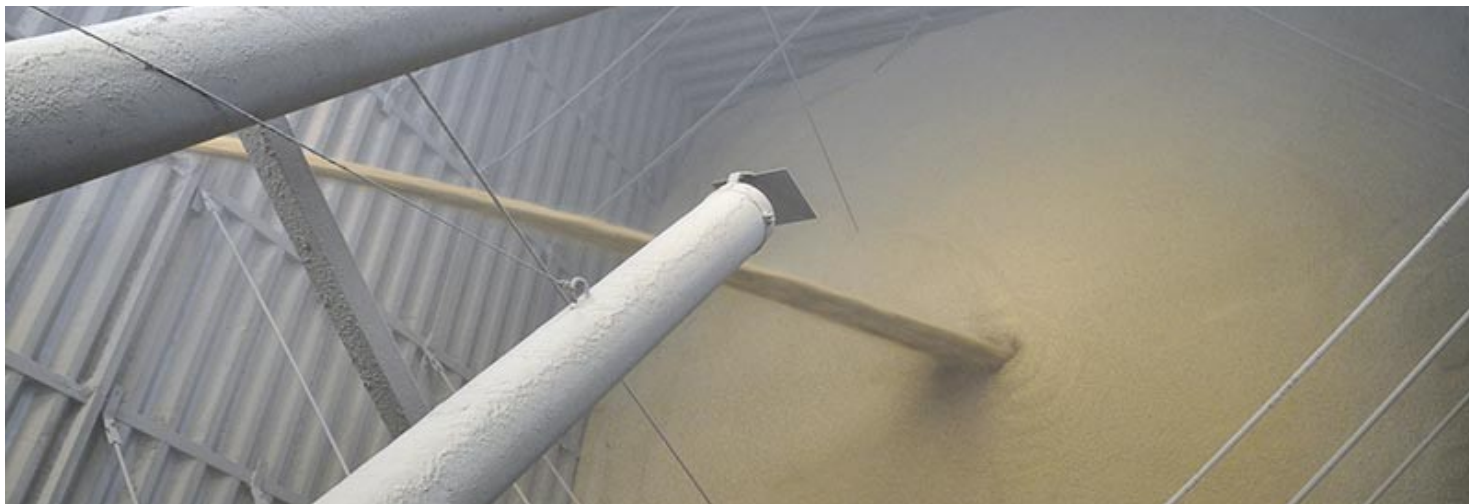


Figure 3 : Marges restant pour ventiler pour les trois paliers de refroidissement

En moyenne, les sites diagnostiqués disposent de 267 heures supplémentaires pour la réalisation du palier 1. Les marges moyennes pour les paliers 2 et 3 sont de 322 et 208 heures respectivement. La réalisation du palier 3 est la plus délicate : le premier quartile est de -11 heures, ce qui signifie qu'atteindre 5 °C avant le 28/02 est impossible dans 25 % des cas. En croisant

les résultats des marges avec le type de calcul demandé (sur la campagne passée ou sur 20 ans), on remarque que les marges sont plus restreintes lorsque le calcul est fait sur la campagne passée uniquement.



Conclusion

Depuis son lancement à la fin de l'année 2018, Venti-LIS diagnostic a été utilisé par de nombreux acteurs du stockage des céréales. Ces acteurs sont majoritairement des organismes stockeurs ou des consultants qui travaillent pour le compte de ces OS, ce qui correspond bien à la cible principale de Venti-LIS diagnostic. L'écrasante majorité des diagnostics concerne le blé. Dans la plupart des cas, les fenêtres où la ventilation est possible sont suffisantes pour refroidir entièrement le grain. Les fenêtres sont insuffisantes pour refroidir entièrement le grain dans 14 % des cas au palier 1, 6 % au palier 2 et 25 % au palier 3.

La présence de nombreuses valeurs aberrantes et d'incohérences entre les dimensions des sites et les valeurs de réchauffage montre que cet outil a été largement utilisé pour réaliser des simulations, ce qui n'est pas le but de l'outil. Si les mesures de température sont réalisées avec la précision requise (0.1 °C), les OS peuvent tirer profit des résultats fournis par Venti-LIS pour maintenir ou améliorer leurs installations de ventilation. Les deux types de calculs proposés ont chacun un objectif différent : faire un calcul sur une période de 20 ans permet d'estimer si en moyenne le système de ventilation est adapté au site, alors que réaliser un calcul avec les données météo de l'an passé permet d'expliquer des phénomènes liés à la caractéristique d'une année particulière.

La plate-forme Venti-LIS, qui héberge aujourd'hui deux outils gratuits, sera bientôt complétée par le lancement d'un outil d'audit destiné aux installations fermières. Venti-LIS audit, c'est son nom, a pour objectif de faire réfléchir les agriculteurs-stockeurs sur l'ensemble de leur installation et de leurs pratiques de stockage, dans une perspective de lutte intégrée contre les ravageurs et de maintien de la qualité du grain pendant le stockage. Ce troisième outil gratuit sera disponible en ligne pour la récolte 2022.



Accéder à la plateforme : <https://ventilis.arvalis-infos.fr/accueil>

Amélie TANGUY
a.tanguy@arvalis.fr