



SOMMAIRE

Deuxième année d'enquête sur les stockages fermiers :
quels enseignements sur les espèces présentes et les facteurs de
risque à ce stade ?.....Pages 1 - 4

Les différences d'offre climatique permettent-elles d'expliquer
les niveaux d'infestations ?.....Pages 5 - 7

INSCRIVEZ-VOUS

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

<https://www.arvalis.fr/contacter-arvalis>

DEUXIÈME ANNÉE D'ENQUÊTE SUR LES STOCKAGES FERMIS : QUELS ENSEIGNEMENTS SUR LES ESPÈCES PRÉSENTES ET LES FACTEURS DE RISQUE À CE STADE ?

Le stockage à la ferme représente une part importante des capacités de stockage en France (environ 30 %). Peu de données étaient disponibles jusqu'ici sur la présence d'infestations dans les silos fermiers, c'est pourquoi ARVALIS s'est donné pour objectif de dresser un état des lieux des espèces présentes à travers la collecte d'échantillons envoyés par des agriculteurs volontaires. Pour la deuxième campagne consécutive, entre octobre et décembre, il leur a été demandé de prélever un échantillon de blé tendre ou d'orge sur leur stock, selon un protocole défini, et d'en expédier un sous-échantillon de 3 kg environ à ARVALIS. Le protocole visait à sonder une partie du stock considérée à risque pour les infestations, selon l'appréciation de l'agriculteur.

▶ 195 échantillons analysés sur 2 campagnes

Ces deux premières années ont permis de collecter 154 blés et 41 orges, avec une représentativité assez satisfaisante des bassins de production de céréales françaises (figure 1). Il serait néanmoins intéressant de renforcer le nombre d'échantillons en provenance de l'Ouest de la France.

A réception de l'échantillon, ARVALIS a procédé à une première recherche d'insectes via 2 tamisages successifs de 3 minutes chacun, un premier dans un tamis simple en bois (2 x 2 mm), puis un second sur un double tamis métallique (1.7 x 1.7 et 0.5 x 0.5 mm). Les insectes extraits étaient identifiés et dénombrés puis l'échantillon était placé durant 42 jours à 25 °C et 70 % d'humidité relative, afin de permettre aux formes cachées d'émerger et d'être détectées lors d'une seconde recherche effectuée à l'issue de cette période d'incubation.

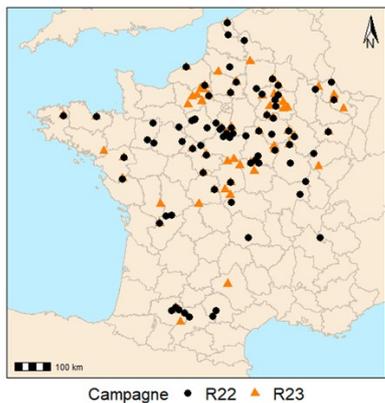


Figure 1 : Cartographie de la provenance des échantillons analysés (récoltes 2022 et 2023)

▶ Un risque d'infestation significatif dans les stocks fermiers sur ces 2 campagnes

Insectes primaires ou secondaires, de quoi s'agit-il ?

Si les contrats commerciaux exigent l'absence d'insectes vivants dans les grains, la détection et la maîtrise des populations d'insectes n'est pas similaire pour ces deux catégories. En effet, les insectes secondaires (triboliums, silvains, mycétophages...) effectuent tout leur cycle de développement à l'extérieur des grains et ne s'attaquent pas aux grains entiers. Les insectes primaires (charançons et capucins) en revanche effectuent leur développement à l'intérieur des grains entiers, et consomment leur réserve. Cela leur confère une protection vis-à-vis de certaines méthodes de lutte.



Parmi les 80 échantillons de blé tendre observés en 2022, 29 échantillons étaient non infestés à réception, soit 36 %. En cumulant les observations à réception et après incubation, ils n'étaient plus que 13 dépourvus d'insectes, soit 16 %. Aucun échantillon d'orge n'a été collecté sur 2022 (Lettre Stock@ge n° 21, mai 2023).

En 2023, parmi les 74 blés reçus, 17 étaient sains à réception, mais après incubation seuls 6 échantillons (8 %) se sont révélés dépourvus d'insectes (figure 2). Parmi les 41 orges analysées, 5 n'ont pas révélé d'insectes à réception. Finalement, une seule orge n'a fait l'objet d'aucune détection d'insectes après incubation (figure 3). Une part plus importante d'échantillons d'orges que de blés comporte des espèces primaires (63 % vs 40 %).

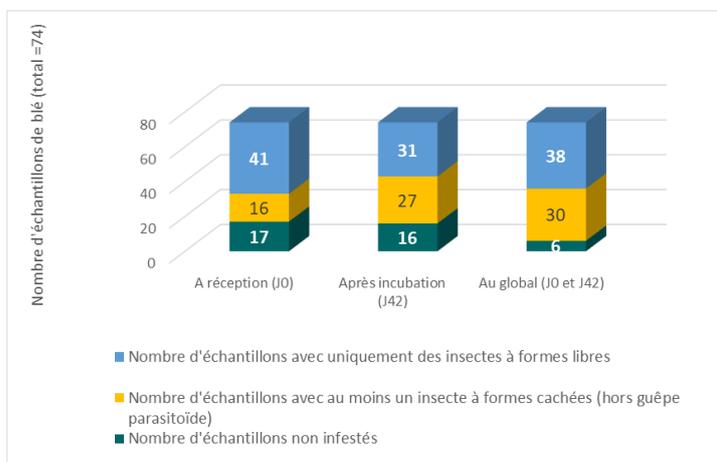


Figure 2 : Répartition des échantillons de blé selon leur infestation (enquête ferme 2023)

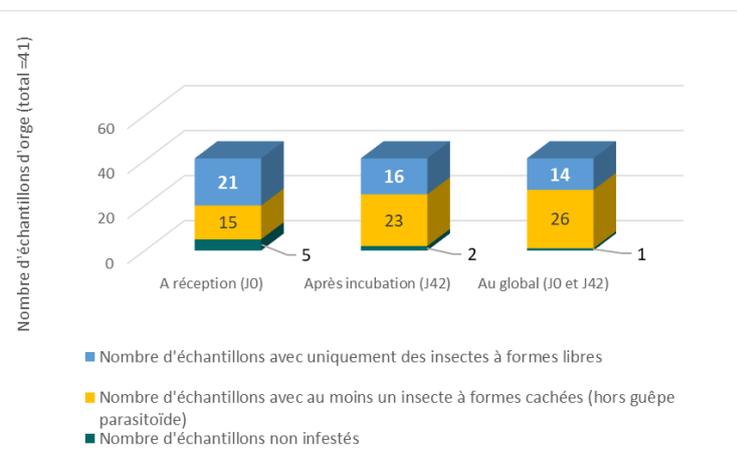


Figure 3 : Répartition des échantillons d'orge selon leur infestation (enquête ferme 2023)

Des profils d'infestation légèrement différents selon l'année et l'espèce végétale sondée

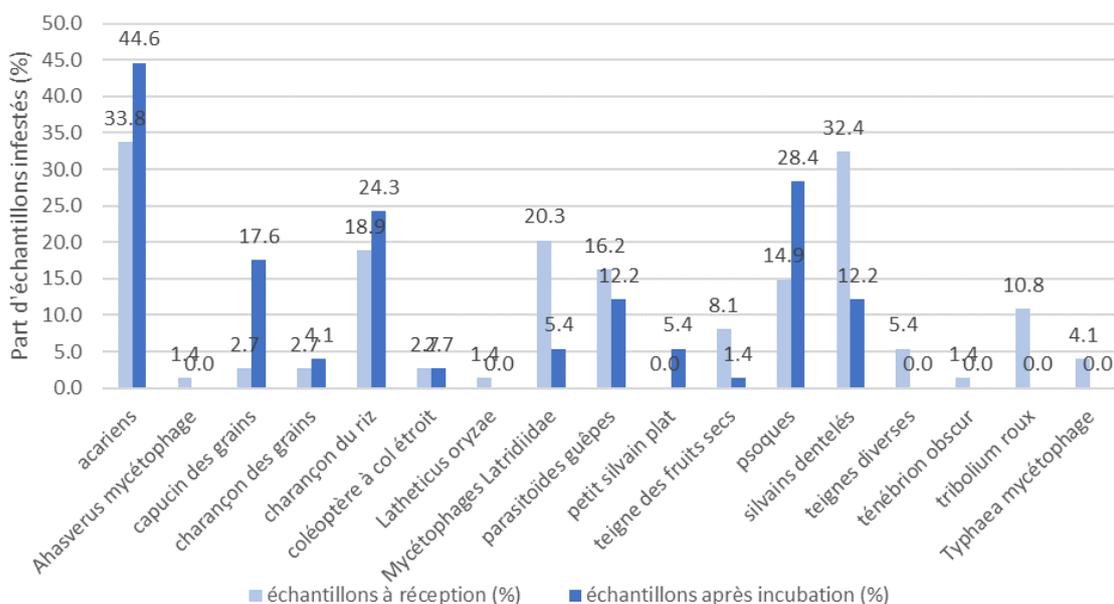


Figure 4 : Fréquence de détection des espèces, à réception (J0) et après incubation (J42), sur blés (récolte 2023)

Un échantillon comportait en moyenne 2 espèces d'insectes en 2022 et 3 espèces en 2023.

En 2023, les blés analysés ont révélé le plus fréquemment des silvains dentelés (32 % des échantillons) et des espèces mycétophages (20 % des échantillons), à réception (figure 4). Après incubation, des charançons du riz ont été observés dans près d'un quart des blés tamisés. Concernant les orges, on retrouve comme sur les blés une forte détection de sil-

vains dentelés à réception (44 % des échantillons), mais aussi une présence plus fréquente d'espèces primaires dès le premier tamisage (près d'un échantillon sur 5 comportait des charançons du riz ou des capucins des grains). Après incubation, la présence de primaires est confirmée ou révélée dans une part importante des orges observées : 44 % comportaient des charançons du riz et 34 % des capucins des grains (figure 5).

Nous pouvons noter que des psoques et acariens (mesurant moins de 1 mm donc difficiles à détecter au tamis sans loupe) ont aussi été vus dans une part importante des échantillons de blés comme d'orges.

En 2022, la détection de mycétophages était moins fréquente sur blé (<10 % des échantillons). En revanche, près d'un échantillon sur 4 comportait des triboliums roux à réception. Ces variations en termes de pressions en ravageurs au sein des échantillons collectés peuvent d'une part être expliquées par la variabilité du plan d'échantillonnage (sites volontaires en partie différents entre les 2 campagnes) mais aussi par des conditions météorologiques variables qui conditionnent la vitesse de refroidissement des stocks et pourraient être plus favorables à certaines espèces (conditions de température et d'hygrométrie).

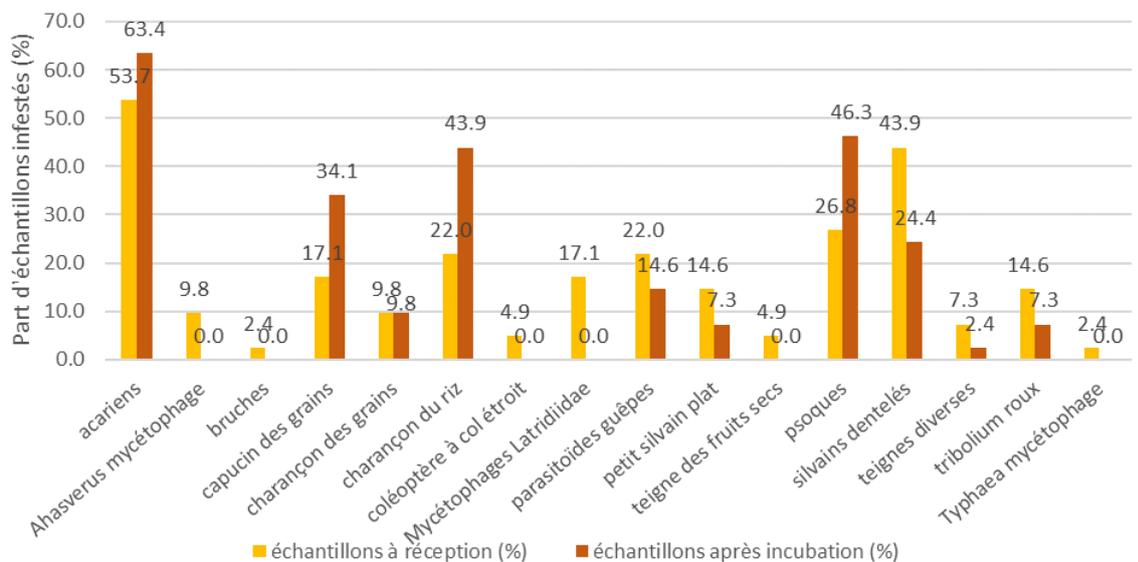


Figure 5 : Fréquence de détection des espèces, à réception (J0) et après incubation (J42), sur orges (récolte 2023)



Si l'on s'intéresse maintenant aux nombres d'insectes de chaque espèce comptabilisés dans l'ensemble des échantillons de l'enquête, c'est le silvain dentelé qui occupe plus de 60 % des individus identifiés lors des tamisages à réception (en 2022 comme 2023) (figure 6). Après incubation en revanche, le charançon du riz est l'espèce la plus abondante : il représentait 53 % des insectes comptabilisés après incubation en 2022 et 86 % en 2023 (figure 7) !

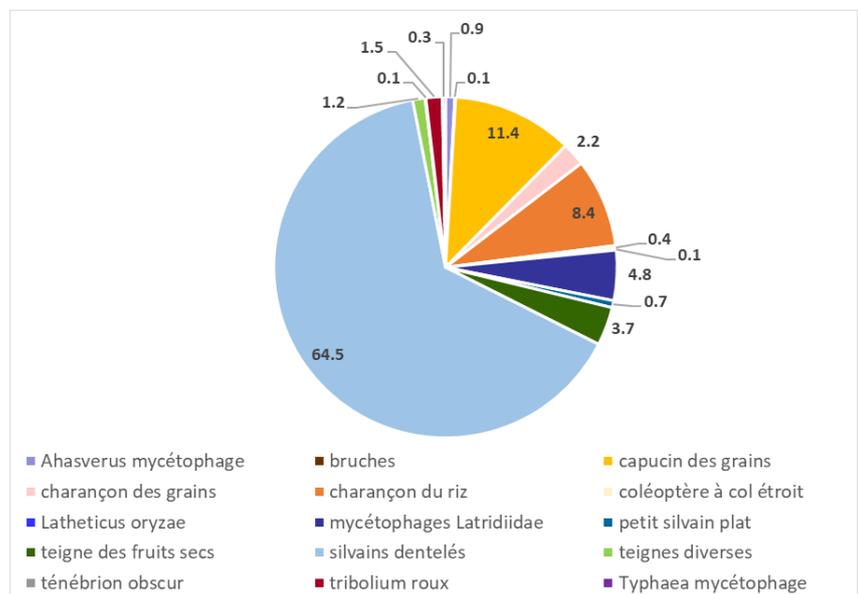


Figure 6 : Abondance des espèces à réception (J0), en pourcentage du nombre total d'insectes observés dans l'ensemble des échantillons de 2023

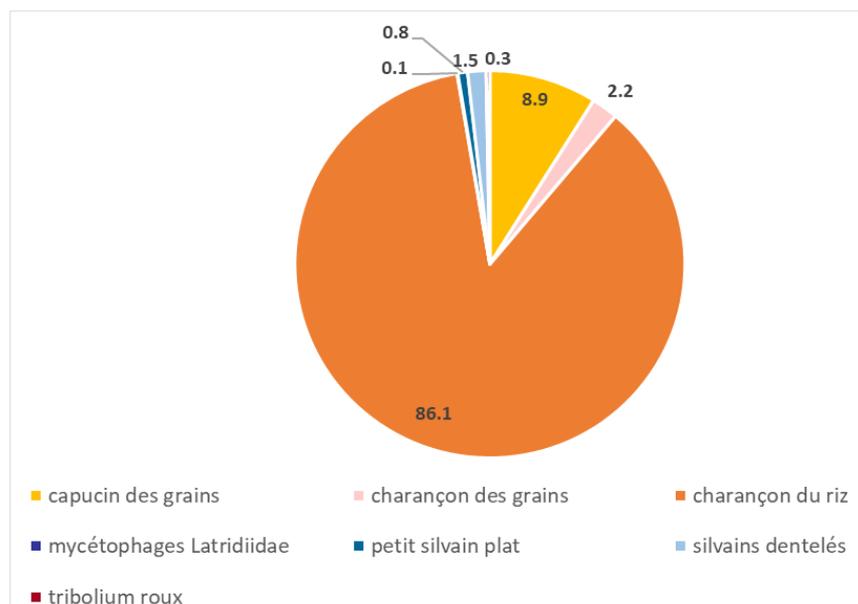


Figure 7 : Abondance des espèces après incubation (J42), en pourcentage du nombre total d'insectes observés dans l'ensemble des échantillons de 2023

▶ Ces résultats conduisent à renforcer le nettoyage des locaux de stockage et la surveillance des infestations

Les grains issus de la nouvelle récolte ne peuvent être infestés à leur entrée. Ces insectes sont acclimatés aux conditions des silos et nécessitent la présence de grains de céréales pour se reproduire. La biologie de ces insectes (seuils minimaux de température de développement) ne leur permet pas de passer l'hiver au champ. En stockage fermier, la présence d'infestations résulte principalement de reliquats de grains ou de brisures, dissimulés dans les bâtiments de stockage, parfois difficiles à atteindre et à éliminer, qui sont des substrats possibles pour le maintien d'une population d'insectes d'une récolte à l'autre. Il est donc souhaitable de renforcer les points zéros par le nettoyage dans la mesure du possible, afin de faire baisser la pression en ravageurs en début de campagne, avant l'ensilage.

Cette enquête a permis d'informer les participants sur la présence d'infestations sur leurs sites. Environ un participant sur trois a déclaré avoir observé une infestation dans son stockage, au cours des 3 dernières campagnes. Cette enquête a permis d'informer 51 % des participants, dont les échantillons transmis étaient infestés alors qu'ils avaient déclaré ignorer la présence d'infestation sur leurs sites (échantillons comportant uniquement acariens et psoques non pris en compte) (figure 8). Les silos pourraient être équipés de pièges à insectes de type tubes perforés afin d'anticiper ces détections sur sites, prévenir le développement d'éventuelles populations installées dans les grains et dicter la gestion des lots stockés.

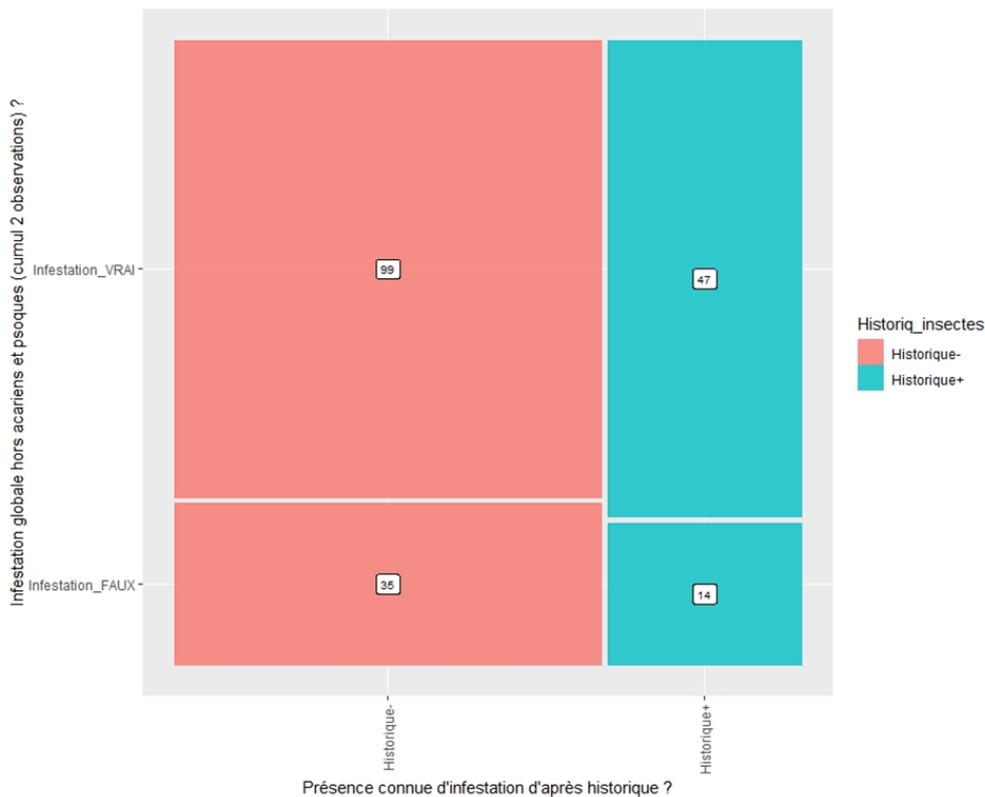


Figure 8 : Répartition des échantillons selon l'infestation observée et l'historique renseigné par l'agriculteur (infestation sur les 3 dernières campagnes)

campagne sur les infestations détectées. A ce stade, le charançon du riz et le silvain dentelé se révèlent être les espèces les plus répandues, en fréquence et en nombre, dans les stockages fermiers français.

A ce stade, en compilant les deux campagnes d'enquête, le suivi de la température semble être un facteur déterminant dans la gestion du risque insectes car les échantillons infestés, à réception ou après incubation, proviennent souvent de sites où la température du stock n'est pas suivie (environ 25 % des sites enquêtés). Lorsque les grains sont nettoyés, on observe moins d'infestations en secondaires et moins d'insectes vivants à réception dans les échantillons collectés. Enfin, l'orge semble plus sujette aux infestations que le blé, en particulier par des espèces primaires.

Suite de l'enquête...

Cette enquête sera reconduite a minima pour une campagne supplémentaire, afin d'augmenter le nombre d'échantillons d'orge collectés, renforcer la représentation de certaines régions françaises et pouvoir observer un nouvel effet

LES DIFFÉRENCES D'OFFRE CLIMATIQUE PERMETTENT-ELLES D'EXPLIQUER LES NIVEAUX D'INFESTATIONS ?

Les enquêtes sur l'infestation des silos fermiers ont révélé des différences entre les deux campagnes successives : davantage d'infestations en 2023, et un cortège d'espèces qui varie légèrement. La fréquence des infestations peut aussi varier selon les régions. Ces observations ont-elles un lien avec les conditions météorologiques des deux campagnes ? Les régions qui se caractérisent par des infestations peu élevées ou au contraire une présence d'insectes importante ont-elles des conditions météorologiques particulières ? Pour tenter d'établir un lien entre les résultats de l'enquête et les températures de chaque campagne, nous avons étudié deux indicateurs différents : les offres climatiques, qui sont les durées pendant lesquelles il est possible de ventiler, et les dates auxquelles un silo fermier de 5 cellules peut être refroidi à 20 °C, 12 °C puis 5 °C.

► *Un silo fermier fictif pour modéliser le refroidissement à l'air ambiant sur toute la France métropolitaine*

Le refroidissement des cellules à l'air ambiant est généralement réalisé par paliers de température successifs, calés sur l'évolution saisonnière des températures. Dans cette étude, nous supposons que le blé est ensilé au 15/07 et que la ventilation commence à cette date.

Nous devons également faire des hypothèses sur certaines caractéristiques des silos ventilés, (volume de grain ventilé, volume de grain stocké, débit d'air et élévation de température en sortie de ventilateur). Dans le but de déterminer les valeurs les plus appropriées, nous

avons utilisé les données d'une enquête réalisée en 2018 auprès de 896 agriculteurs-stockeurs (Lettre Stock@ge n° 11, novembre 2019) pour construire un silo-type.

Ce stockage-type est constitué de 5 cellules métalliques rondes, ce qui correspond aux installations de 60 % des agriculteurs-stockeurs du panel. Le nombre et les dimensions de ces cellules correspondent aux valeurs médianes selon cette enquête. Les cellules sont ventilées successivement, et un ventilateur adapté à la cellule a été choisi à partir de l'outil en ligne Venti-LIS agri. On suppose que le grain stocké est du blé tendre, avec un poids spécifique de 76 kg/hL. Le tableau 1 récapitule les principales caractéristiques de notre silo-type.

Tableau 1 : Caractéristiques principales du silo-type imaginé pour représenter les silos fermiers

Diamètre (m)	Hauteur (m)	Volume cellule (m ³)	Nombre de cellules	Volume stocké (m ³)	Cellules ventilées simultanément	Débit spécifique (m ³ /h/m ³)	Réchauffage (°C)
5	5	100	5	500	1	64	2

Le premier indicateur, l'offre climatique, est la durée, en heures, pendant laquelle la ventilation peut se déclencher, dans un laps de temps fixé à deux mois. On suppose que les ventilateurs sont asservis à un thermostat. Pour chaque palier, les dates de début, de fin, et les objectifs de température à atteindre dans le grain sont présentés dans le tableau 2. Les seuils de déclenchement de la ventilation diffèrent des objectifs de température car ils prennent en compte l'élévation de la température de l'air au niveau du ventilateur, estimée à 2 °C pour notre silo-type.

Dans la deuxième partie de l'étude, l'objectif est de savoir à quelle date le silo-type peut être refroidi à 20 °C, 12 °C et 5 °C. La date d'ensilage est toujours fixée au 15/07. Partant de là, on calcule la date à laquelle le cumul d'heures où la ventilation peut être déclenchée correspond à la durée nécessaire pour refroidir les 5 cellules successivement. Cette durée nécessaire varie selon les paliers, car elle dépend des caractéristiques de l'air insufflé à travers le grain. Nous estimons que pour refroidir successivement les cinq cellules du silo-type, il faut ventiler pendant 78 h, 109 h et 141 h pour atteindre les objectifs de 20 °C, 12 °C et 5 °C respectivement.

Tableau 2 : Les offres climatiques sont calculées pour trois paliers de refroidissement caractérisés par leurs dates de début, de fin, et leurs objectifs de température dans le grain

Palier	Début	Fin	Température à atteindre dans le grain en °C	Seuil de Déclenchement ventilation (°C)
1	15/07	14/09	20	18
2	15/09	14/11	12	10
3	15/11	14/01	5	3

Les données de température utilisées pour calculer les offres climatiques et les dates de réalisation des paliers proviennent de 669 stations de France métropolitaine, situées à moins de 800 m d'altitude.

▶ Les deux campagnes se distinguent par leurs possibilités de refroidissement à 20 °C

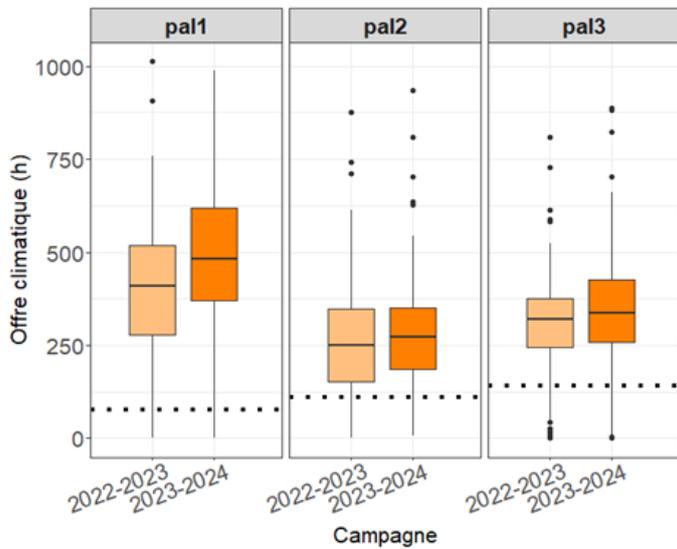


Figure 1 : Offres climatiques par palier de ventilation et par campagne (en pointillés : durée nécessaire pour refroidir 5 cellules fermières)

Entre le 15/07 et le 14/09, les offres climatiques ont varié entre 0 et 1014 heures. Les offres climatiques moyennes étaient de 387 et 487 heures pour les campagnes 2022/2023 et 2023/2024 respectivement. Les écart-types étaient de 167 et 183 heures respectivement. Dans la majeure partie des cas, l'offre climatique était largement suffisante pour refroidir 5 cellules de grain à 20 °C.

Entre le 15/09 et le 14/11, les offres climatiques étaient moins élevées que pour le palier précédent : elles variaient entre 0 et 935 heures (Les valeurs nulles sont obtenues à Nice (06) et à Plogoff (29)). En moyenne, la ventilation était possible pendant 256 et 273 heures pour les campagnes 2022/2023 et 2023/2024 respectivement. Les écart-types de ces deux campagnes étaient de 136 et 125 heures.

Entre le 15/11 et le 14/01, les offres climatiques variaient entre 0 et 887 heures, avec des moyennes de 299 et 342 heures pour les campagnes 2022/2023 et 2023/2024 respectivement. Les écart-types étaient de 111 et 124 heures respectivement.

▶ La partie Nord de la France offre davantage de possibilités pour refroidir à 20 °C entre le 15 juillet et le 14 septembre

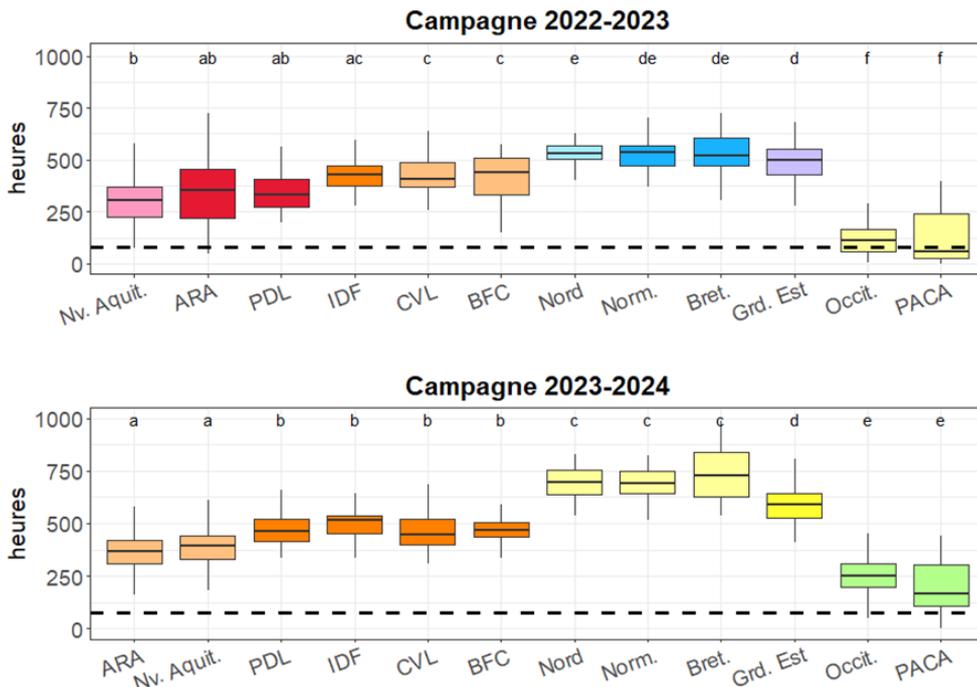


Figure 2 : Offres climatiques pour le premier palier ($T \leq 18 \text{ °C}$ entre le 15/07 et le 14/09) par campagne et par région. Les pointillés représentent la durée nécessaire pour refroidir les cinq cellules du silo-type (78 heures)

Le premier palier, à 20 °C, est critique pour réguler les populations d'insectes : avant qu'il ne soit atteint, les températures du grain sont en effet proches de la plage optimale pour le développement des insectes. C'est pourquoi nous nous sommes focalisés sur ce palier pour étudier les différences régionales d'offre climatique. Pour les deux campagnes, les groupes de régions statistiquement comparables (repérés sur le graphique par des lettres identiques) étaient sensiblement les mêmes : les régions du Nord de la France étaient les plus favorables à la ventilation, alors que l'Occitanie et la Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) étaient les moins favorables. Les autres régions étaient intermédiaires.

Dans les régions Occitanie et PACA, en 2022, une part importante des stations (20 à 50 %) présentaient des offres climatiques insuffisantes pour refroidir les 5 cellules de notre silo-type. Les différences entre régions étaient plus marquées pour la campagne 2023/2024. Les différences d'offre climatique observées ici ne permettent pas d'établir un lien avec les infestations d'insectes.

► En 2023, un refroidissement à 20 °C médian plus précoce de 5 jours... Mais 22 jours supplémentaires avant de refroidir à 12 °C

Le premier palier a été atteint entre le 19/07 et le 22/10. Les dates médianes sont le 28/07 pour la campagne 2022/2023 et le 23/07 pour la campagne 2023/2024. Les valeurs basses de la distribution (minima, 10^{èmes} percentiles et premiers quartiles) sont plus précoces de 2 à 5 jours pour la campagne 2023/2024. Les valeurs hautes de la distribution (troisièmes quartiles et 90^{èmes} percentiles) sont avancées de 11 à 25 jours.

Ces données suggèrent qu'en 2023/2024, le grain est resté moins longtemps au-dessus de 20 °C par rapport à la campagne précédente. L'écart-type est également moins élevé en 2023/2024.

Le grain a été entièrement refroidi à 12 °C entre le 30/08 et le 05/12. On observe un décalage de 22 jours entre les médianes des deux campagnes successives, qui sont le 08/10 et le 31/10 respectivement. En 2022/2023, la distribution est clairement bimodale, avec un groupe de stations qui refroidissent le grain à 12 °C entre mi-septembre et mi-octobre, et un groupe entre le 31/10 et le 05/12. Cette distribution bimodale est nettement moins marquée pour la campagne 2023/2024 : cette fois-ci les deux groupes sont rapprochés, le premier se trouve entre le 19/09 et le 31/10, et le deuxième entre le 31/10 et le 04/12.

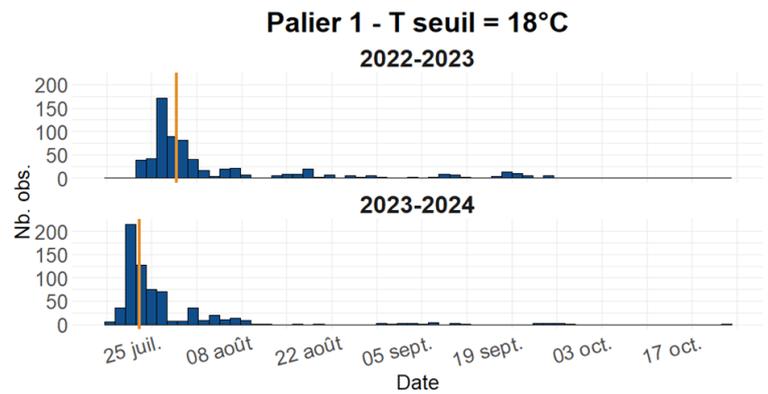


Figure 3 : Dates auxquelles 5 cellules peuvent être refroidies à 20 °C (en jaune : dates médianes)

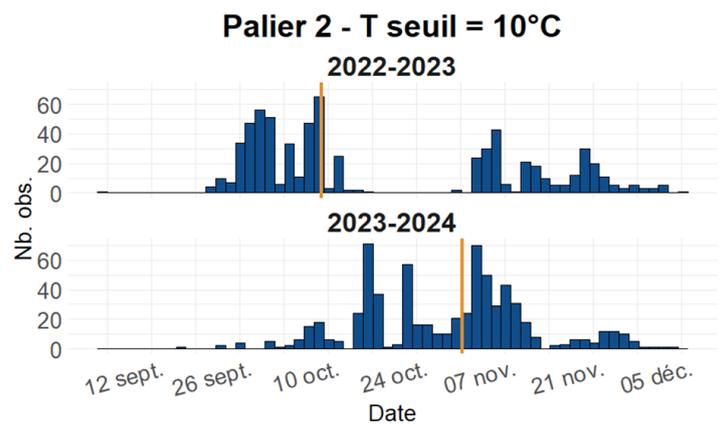


Figure 4 : Dates auxquelles 5 cellules peuvent être refroidies à 12 °C (en jaune : dates médianes)

Les distributions des dates où le grain est refroidi à 12 °C reflètent les événements météorologiques des deux derniers automnes. L'automne 2022 a été marqué par un épisode de chaleur tardif du 15 au 31 octobre, qui a concerné l'ensemble de la France : les stations où le grain n'avait pas été entièrement refroidi à 12 °C avant cet épisode de chaleur ont dû attendre qu'il se termine avant de pouvoir reprendre la ventilation. Quant à l'automne 2023, il a été l'automne le plus chaud depuis 1900. Bien que les offres climatiques du palier 2 aient été comparables à celles de la campagne précédente, le grain est resté au-dessus de 12 °C pendant 10 jours supplémentaires, en moyenne.

► Une relation entre les durées de stockage au-dessus de 12 °C et la fréquence de détection d'insectes ?

La campagne 2023/2024 a révélé davantage d'infestations que la campagne précédente. Côté météo, ce qui pourrait être lié à cet effet campagne serait la durée de stockage à une température supérieure à 12 °C, qui s'est allongée de 10 jours en moyenne, par rapport à la campagne 2022/2023. Cette variable semble particulièrement intéressante pour étudier le lien entre les infestations d'insectes et les conditions météo, car elle correspond au seuil en-deçà duquel la plupart des populations d'insectes cessent de croître.

La fréquence de détection et l'abondance de certaines espèces a varié entre les deux campagnes, notamment celles des triboliums. Ceux-ci étaient plus fréquents et plus abondants en 2022 qu'en 2023. Ont-ils été davantage favorisés par l'allongement de la durée de stockage au-dessus de 20 °C (5 jours de plus en médiane) ? Cela serait cohérent avec les données de la littérature, selon lesquelles les espèces *Tribolium confusum* et *Tribolium castaneum* cessent de se reproduire en dessous de 20 à 21 °C (Stejskal et al., 2019).

🔍 Référence

V. Stejskal, Tomas Vendl, Zhihong Li, Radek Aulicky, Minimal Thermal Requirements for Development and Activity of Stored Product and Food Industry Pests (Acari, Coleoptera, Lepidoptera, Psocoptera, Diptera and Blattoidea) : a Review, *Insects*, 2019, 10, 149 (doi:10.3390/insects10050149)

Amélie TANGUY
a.tanguy@arvalis.fr