



SOMMAIRE

La terre de diatomées en traitement des grains pour éviter la colonisation du silo par la teigne des fruits secsPages 1 - 3

Évolution de la flore fongique en cours de stockage : des premières observations en conditions réelles de stockagePages 4 - 6



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>

LA TERRE DE DIATOMÉES EN TRAITEMENT DES GRAINS POUR ÉVITER LA COLONISATION DU SILO PAR LA TEIGNE DES FRUITS SECS

► *Une méthode de biocontrôle ayant fait ses preuves contre les principaux insectes rampants infestant les céréales stockées*

La terre de diatomées est une substance active naturelle, à base de microalgues fossiles, dont l'action par abrasion et adsorption des corps gras de la cuticule de l'insecte rend son utilisation intéressante pour la désinsectisation des silos. Le SilicoSec, poudre à base de terre de diatomées fabriquée par BIOFA et distribuée en France par sa filiale Andermatt, est homologuée pour deux usages au silo : le traitement des parois de cellules et le traitement des céréales stockées. Cette solution de biocontrôle a déjà largement été testée et est efficace sur les principaux coléoptères ravageurs rencontrés au silo : charançons, capucins et silvains¹. La désinsectisation totale est obtenue en 7 à 14 jours selon les conditions auxquelles sont confrontés les insectes à partir de l'application. L'action insecticide est d'autant plus rapide que la température est élevée et l'hygrométrie faible, accélérant la dessiccation de l'insecte.

Si cette solution de biocontrôle est assez répandue pour le traitement des locaux (18,8 % d'application d'une poudre minérale pour le traitement de locaux parmi les sites de stockages fermiers enquêtés, enquête ARVALIS 2022-2024), elle reste peu utilisée directement sur les grains stockés. Cela s'explique en partie par une méconnaissance de la méthode d'application d'un produit sous forme de poudre, mais surtout par la perte de poids spécifique irréversible occasionnée par le traitement^(2,3).

Néanmoins, la teigne des fruits secs est difficile à éradiquer une fois installée sur un site. Une combinaison de leviers est donc la bienvenue pour réduire autant que possible les populations installées. L'installation de diffuseurs de confusion sexuelle est une première solution de régulation de la multiplication de ce type d'insectes⁴. Le traitement des grains stockés avec de la terre de diatomées constituait un autre levier intéressant à tester. En effet, quelques études relatées dans la littérature livrent de premières évaluations concluantes en conditions de laboratoire. Ces études montrent aussi que le 1^{er} stade larvaire de cette teigne est bien plus sensible aux terres de diatomées appliquées en traitement de surface, par rapport aux stades larvaires plus avancés (Mewis et Ulrichs, 2001 ; Subramanyam et al. 1998). Timlick et Fields (2010) ont constaté que selon la denrée traitée, la dose de terres de diatomées à appliquer pour obtenir une efficacité maximale était variable (dose plus forte sur maïs que sur blé par exemple).



¹ Consulter les lettres stock@ges n°5 et n°8 pour en savoir plus sur les essais antérieurs à propos de l'efficacité des terres de diatomées

² Consulter la lettre Stock@ge n°12 pour en savoir plus sur le nettoyage du blé traité avec de la terre de diatomée

³ À noter que l'application de poudres minérales au silo nécessite le port d'EPI appropriés (se référer à la fiche produit)

⁴ Consulter la lettre stock@ge n°22 pour en savoir plus sur la mise en œuvre de confusion sexuelle contre les teignes au silo

La teigne des fruits secs est très répandue dans les silos et facilement identifiable



Plodia interpunctella (Hübner) (*Pyralidae*: *Lepidoptera*) est une espèce présentant des adultes qui virevoltent dans tout l'espace disponible dans les installations de stockage, et des chenilles capables de s'introduire par le moindre orifice sur leur passage pour les conduire à des denrées ciblées. Les chenilles se développent en général dans la couche superficielle d'un lot de grains stockés et correspondent aux stades de développement les plus voraces, s'attaquant directement aux germes des grains stockés ou à des brisures. Elles laissent aussi des voiles blanchâtres, parfois très denses, visibles à la surface des stocks. Cette espèce présente des stades synchronisés : on observe en général des vagues d'adultes par période (détectables par piège à entonnoir suspendu avec phéromones attractives), en général à partir d'avril lorsque la température journalière dépasse 15 °C. Ilsensemencent les stocks de grappes d'œufs puis disparaissent au bout de 7 à 14 jours avant l'apparition d'une nouvelle vague.

La teigne des fruits secs n'est pas spécifique aux céréales stockées, on peut la rencontrer sur graines oléagineuses et fruits secs également. On reconnaît facilement l'adulte (7 à 9 mm) par ses ailes bicolores marron cuivré et beige (figure 1), la différenciant des autres teignes du silo. Les chenilles sont beige rosé (figure 2) et mesurent jusqu'à 1,5 cm de long au stade larvaire le plus avancé.



Figure 1 : Deux adultes de teignes des fruits secs



Figure 2 : Une teigne des fruits secs au stade de chenille

► Des essais ARVALIS au laboratoire confirment l'efficacité du SilicoSec contre les chenilles de teignes des fruits secs

Un premier test au laboratoire d'ARVALIS a été conduit afin d'évaluer l'efficacité du SilicoSec, appliqué à la dose curative de 2 g/kg de blé, sur des stades larvaires L2 et L3 de teignes des fruits secs (cette espèce présente en général 5 stades larvaires). 3 unités expérimentales ont été constituées avec 250g de blé traité et 3 autres avec du blé témoin non traité. Ce blé présentait une teneur en eau initiale de 14 %. Chaque échantillon a été infesté avec 60 chenilles et conservé en conditions contrôlées, à 28,0±0,01 °C et 59,8±0,08 % d'humidité relative, dans une enceinte climatique. À l'issue de 25j de traitement, le nombre d'individus ayant atteint le stade adulte a été comptabilisé dans chaque unité expérimentale (tableau 1), à l'aide d'un aspirateur à insectes.

Tableau 1 : Dénombrement des teignes dans les unités expérimentales traitées ou non par du SilicoSec (infestation par de jeunes chenilles)

	J0 (infestation)	J+25
	Nb chenilles L2 et L3	Nb adultes
Témoin 1	60	35
Témoin 2	60	27
Témoin 3	60	41
Traité 1	60	0
Traité 2	60	0
Traité 3	60	0

Aucune des chenilles de teignes introduites dans les seaux comportant le blé traité au SilicoSec n'a poursuivi son développement, à l'inverse des chenilles introduites dans les seaux témoin (tableau1). L'efficacité observée pour ce traitement sur jeunes stades larvaires de teignes des fruits secs est donc de 100 %.

L'étude au laboratoire a été répétée (selon la même méthodologie) sur des stades plus avancés de chenilles (L4 et L5). Un effectif de 42 chenilles a été introduit dans chaque unité expérimentale (lié à la disponibilité de ces stades dans les élevages). Le nombre d'adultes ayant pu se développer a été comptabilisé 21j après l'infestation (tableau 2).

Ces résultats montrent que 95,2 % des chenilles de *Plodia* L4 à L5 introduites dans les seaux comportant le blé traité au SilicoSec n'ont pas poursuivi leur développement, alors que seuls 9,5 % des individus introduits n'ont pas poursuivi leur développement jusqu'au stade adulte dans les témoins.

Ces résultats concordent avec les observations d'autres études : la dose curative de SilicoSec sur grains est très efficace pour éliminer les jeunes chenilles de teignes des fruits secs (100 % de mortalité observée), mais les stades les plus avancés L4 et L5 semblent moins sensibles (une mortalité satisfaisante de 95,2 % à tout de même été observée).

Tableau 2 : Dénombrement des teignes dans les unités expérimentales traitées ou non par du SilicoSec (infestation par des chenilles à un stade avancé)

	J0 (infestation)	J+21
	Nb chenilles L4 et L5	Nb adultes
Témoin 1	42	36
Témoin 2	42	40
Témoin 3	42	38
Traité 1	42	2
Traité 2	42	3
Traité 3	42	1

ÉVOLUTION DE LA FLORE FONGIQUE EN COURS DE STOCKAGE : DES PREMIÈRES OBSERVATIONS EN CONDITIONS RÉELLES DE STOCKAGE

Durant une période de stockage longue, la température, la teneur en eau et l'humidité relative dans les grains évoluent au gré des phases successives de ventilation. Ces modifications entraînent une évolution de la flore fongique, à la fois en quantité et en qualité. Les conditions optimales de croissance des différentes flores présentes sur les grains à la récolte sont connues, ainsi que les grands principes de succession de ces flores durant le stockage (voir encart). Néanmoins, nous n'avions encore jamais mesuré, en conditions réelles, leurs évolutions sur toute une période de stockage.

▶ Deux campagnes successives de mesures

Durant deux campagnes successives, nous avons effectué des prélèvements de grains tous les mois, sur différentes hauteurs d'une cellule contenant 45 tonnes de blé tendre, récolté sur la ferme de Boigneville (91) et stocké de juillet à avril ou mai sur la plateforme d'essai d'ARVALIS, soit 10 à 11 mois de stockage. Le refroidissement des grains sur cette cellule était conduit en trois paliers successifs. Le déclenchement des ventilateurs était asservi à un thermostat avec des seuils définis à 20 °C, 12 °C puis 5 °C. Chaque échantillon prélevé a fait l'objet d'une analyse de teneur en eau et d'un dénombrement de flore fongique dans les laboratoires d'ARVALIS. La température du grain et l'humidité relative de l'air interstitiel ont été suivies en continu durant toute la période, des capteurs étant positionnés dans la cellule aux hauteurs correspondant aux points de prélèvement des grains (figure 1). Ce dispositif permettait de relier les facteurs environnementaux aux mesures de qualité des grains prélevés régulièrement.

▶ Évolution de l'environnement en cours de stockage

La température des grains a évolué régulièrement durant les phases de ventilation, de juillet jusqu'à décembre¹ (figure 2). Dès le deuxième mois de stockage, la variabilité des températures sur la hauteur de grains s'est réduite en raison de la ventilation pratiquée. Parallèlement, la teneur en eau des grains a évolué à la hausse. L'élévation moyenne de teneur en eau sur l'ensemble de la cellule a été de 1 point (quelle que soit la campagne), elle a été progressive dans le temps (figure 3) et plus importante sur les couches les plus basses de la cellule, correspondant aux piquages 0 et 1 (figure 4). À l'inverse de la température, la variabilité des teneurs en eau sur l'ensemble de la cellule s'est donc accrue au fur et à mesure de la ventilation. On remarque sur cet indicateur un fort impact de la campagne, traduisant des conditions de récolte et de ventilation très différentes entre 2023 et 2024.

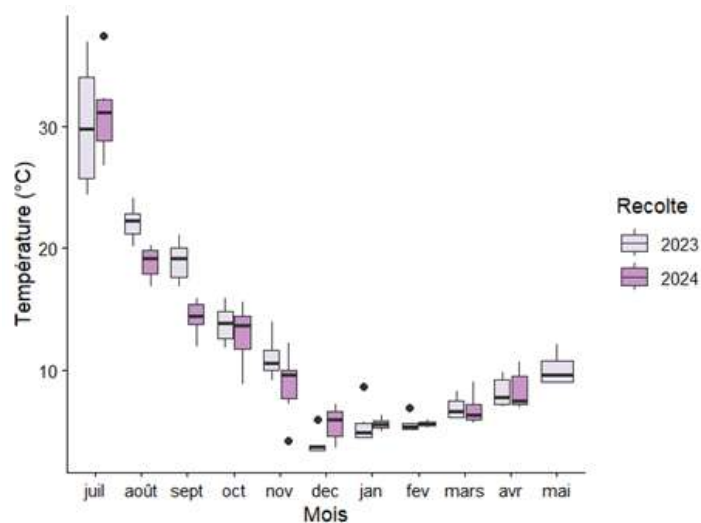


Figure 2 : Évolution de la température de la cellule par mois (5 points de mesure) pour les deux campagnes

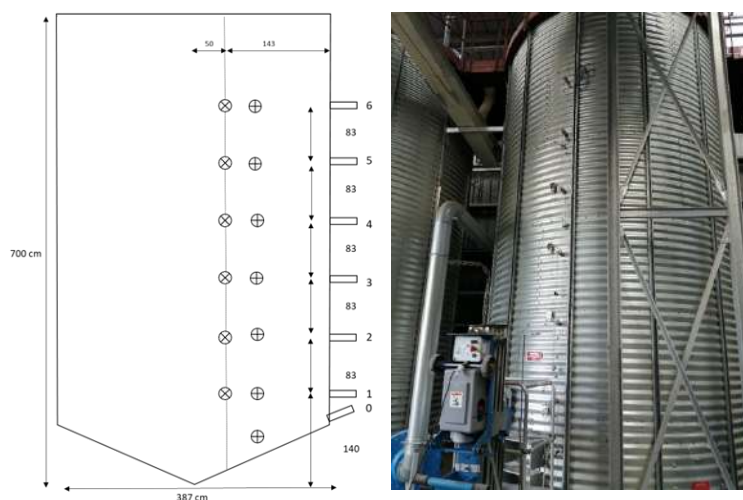


Figure 1 : Points de prélèvement (piquages 0 à 6) et de mesure de Température (x) et de température et hygrométrie (+) dans la cellule

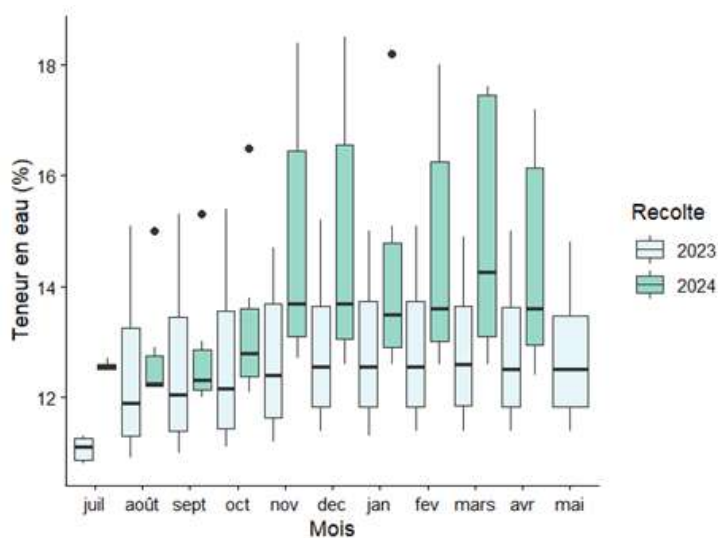


Figure 3 : Évolution de la teneur en eau par mois et par campagne

¹ Le 3^{ème} palier s'est achevé le 04/12 en 2023 et le 22/11 en 2024

Évolution de la flore pendant la période de stockage

La flore totale est mesurée sans désinfection préalable des grains de blé, ce qui permet à toutes les flores d'être identifiées, même si elles ne se trouvent qu'en surface du grain. Elle est exprimée en unité formant colonie (UFC) pour 100 grains. La flore totale correspond à la somme des UFC des différentes flores identifiées, à savoir : *Fusarium spp*, Bactéries (sans précision), Levures (sans précision), *Penicillium spp*, *Aspergillus spp*, *Alternaria spp*, *Rhizopus spp* et flore non identifiée (NI).

Pour mesurer l'effet de la durée de stockage (variable « Mois »), du positionnement dans la cellule (« Piquage ») et de la récolte sur la flore totale, un modèle linéaire généralisé de type binomial négatif a été utilisé. Durée de stockage et positionnement dans la cellule ont un impact significatif sur la flore totale, ce qui n'est pas le cas de l'année de récolte (figure 5). Ainsi, en confondant les deux années et tous les prélèvements réalisés sur le même piquage, on constate que les dénombrements de flore totale mesurés en piquage 1 (c'est-à-dire en bas de cellule) et en piquage 5 (en haut de cellule) sont supérieurs de 10 % à ceux réalisés en piquage 0, et que cette différence est significative, ce qui n'est pas le cas sur les autres piquages. Concernant l'effet de la durée de stockage, les dénombrements de flore totale augmentent pour des durées de stockage longues. Ainsi, ils sont significativement supérieurs aux dénombrements réalisés en juillet juste après la récolte (Mois 1) dès août (+10 %) puis à partir de janvier, soit au 7^{ème} mois de stockage. Juste avant le désilage, en avril, les dénombrements de flore totale sont supérieurs de 20 à 50 % à ceux effectués en juillet.

On constate donc un effet important de la durée de stockage sur l'évolution de la flore totale, ainsi qu'un effet, bien que moindre, du point de piquage. Compte tenu de l'évolution de la température et de la teneur en eau constatée, on fait l'hypothèse que l'effet de temps s'apparente à un effet de la température alors que celui du point de piquage s'apparente à un effet de la teneur en eau ou de l'humidité relative. Toutefois, la mesure de la flore totale masque en réalité des évolutions de flore qui peuvent être contradictoires, chacune ayant des conditions de développement différentes en termes de température et d'humidité relative. Pour mieux comprendre les phénomènes en jeu, il faut donc réaliser l'analyse par flore.

Composition de la flore totale

En moyenne, la flore est majoritairement composée d'*Alternaria spp*² et d'*Aspergillus spp*. *Fusarium spp* reste minoritaire (Tableau 1). Les mêmes analyses statistiques que celles utilisées sur flore totale sont effectuées, sur ces trois espèces.

Concernant *Fusarium spp*, la variable la plus importante est la récolte. 2024 présente un dénombrement très supérieur à celui de 2023 (+90 %). La teneur en eau est un facteur très favorisant : 1 point de plus de teneur en eau s'accompagne en moyenne de +0,6 UFC pour 100 grains. En revanche la durée de stockage n'a pas d'influence significative.

Comme *Fusarium spp*, les dénombrements d'*Alternaria spp*. dans notre suivi ne sont influencés significativement que par la récolte, 2024 étant en revanche moins favorable à *Alternaria spp* (-10 % en 2024 qu'en 2023).

Concernant *Aspergillus*, là encore, l'impact de la récolte est significatif, avec des dénombrements supérieurs en 2024 par rapport à 2023 (+80 %). La durée de stockage est très favorisante : à partir du 8^{ème} mois, les dénombrements sont deux fois supérieurs à ceux du premier mois et ils continuent d'augmenter jusqu'au 10^{ème} mois (+240 %). Or, cette période correspond aux mois post-ventilation où la température du grain remonte lentement (figure 1). Notons toutefois que, même en fin de stockage, la présence d'*Aspergillus spp*. est loin des niveaux susceptibles d'occasionner un risque de présence d'aflatoxines³.

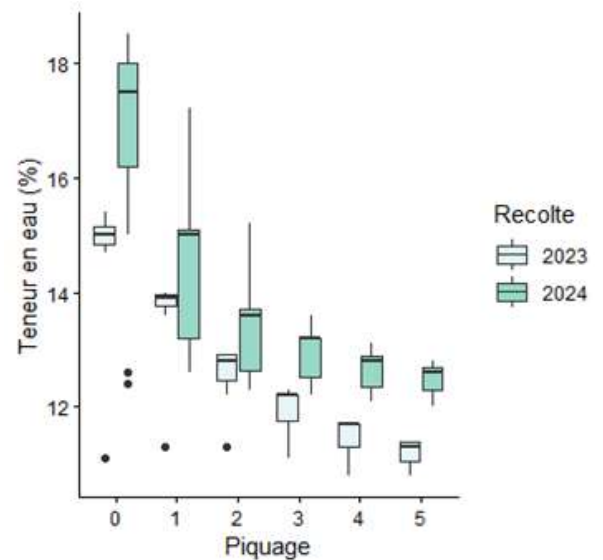


Figure 4 : Teneur en eau moyenne par piquage et par campagne

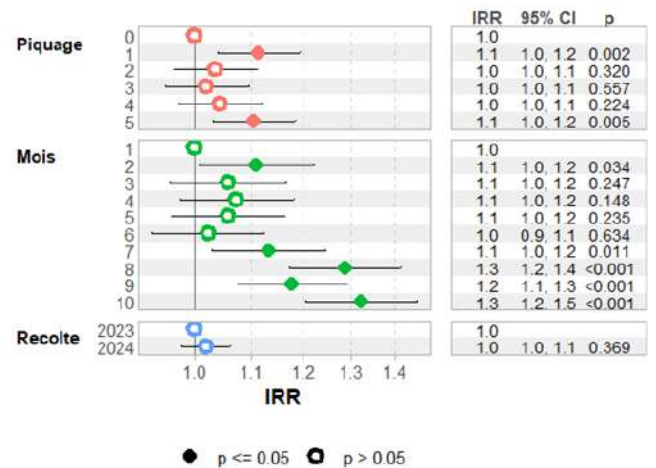


Figure 5 : Effet des trois variables "Piquage", "Mois" et "Récolte" sur la flore totale sur le rapport de risque d'incidence (IRR). Comment lire ce graphique ? Les modalités significativement différentes de la référence sont figurées par un point plein. Par exemple, au mois 10, indépendamment des autres variables, le dénombrement de flore totale est supérieur de 30 % (entre 20 % et 50 %, avec une confiance de 95 %) à celui du mois 1 de référence. La référence est toujours la modalité citée en premier (en haut).

²Les toxines d'*Alternaria spp*. font l'objet d'une recommandation (EU 2022/553) pour plusieurs denrées telles que les produits à base de tomates, certaines graines et huiles. Pour la filière céréalière, seul le baby-food est concerné.

³Une contamination par *Aspergillus* de 10⁴ UFC/g, soit 4.10⁴ pour 100 grains, pourrait représenter le seuil à partir duquel le risque de contamination du lot par des aflatoxines est élevé (Bailey, S.; El Mahgubi, A.; Puel, O.; Lorber, S.; Bailey, J.-D.; Orlando, B. Implantation of *Aspergillus Section Flavi* in French Maize and Consequences on Aflatoxin Contamination of Maize at Harvest: Three-Year Survey. *Toxins* 2025, 17, 155. <https://doi.org/10.3390/>

