



### SOMMAIRE

Efficacité d'un traitement partiel d'un silo de blé avec de la terre de diatomées SilicoSec® .....Pages 1 - 4

La fumigation des grains à la phosphine : principes et évolutions des LMR .....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>

## EFFICACITÉ D'UN TRAITEMENT PARTIEL D'UN SILO DE BLÉ AVEC DE LA TERRE DE DIATOMÉES SILICOSEC®

Si l'utilisation des poudres minérales en traitement des locaux se répand dans les silos français (10,3 % des cellules d'après l'enquête ARSAN 2023, FranceAgriMer), leur utilisation sur grains reste anecdotique du fait de la difficulté d'application et d'une perte de poids spécifique des grains significative de 3 à 5 %. Le distributeur français de SilicoSec®, Andermatt France, propose une alternative au traitement intégral : mettre en place une couche traitée suffisamment épaisse pour empêcher les insectes d'atteindre la partie du lot non traitée. ARVALIS l'a testée dans des boisseaux de 10 t de blé tendre, à la récolte 2023.

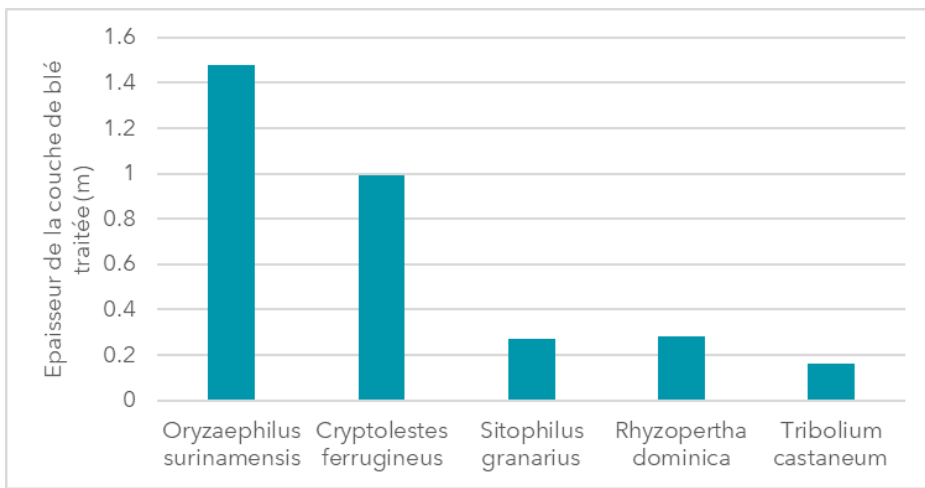


Différentes poudres minérales cohabitent sur le marché pour les usages traitements des locaux de stockage et des céréales stockées. Seule l'une d'entre elle, SilicoSec® (BIOFA, distribuée par Andermatt France), est un insecticide de biocontrôle homologué (avec AMM). A base de terre de diatomées, une substance active naturelle, elle entraîne l'adsorption des lipides de la cuticule et la déshydratation des fluides corporels par contact avec l'insecte et offre une efficacité très satisfaisante sur l'ensemble des ravageurs du silo 7 à 14 jours après l'application sur parois ou grains (Crépon et Cabacos, 2020). L'efficacité de cette poudre est d'autant plus forte que la température est élevée et l'hygrométrie faible, accélérant la dessiccation de l'insecte.

### ▶ Une stratégie d'application validée au laboratoire

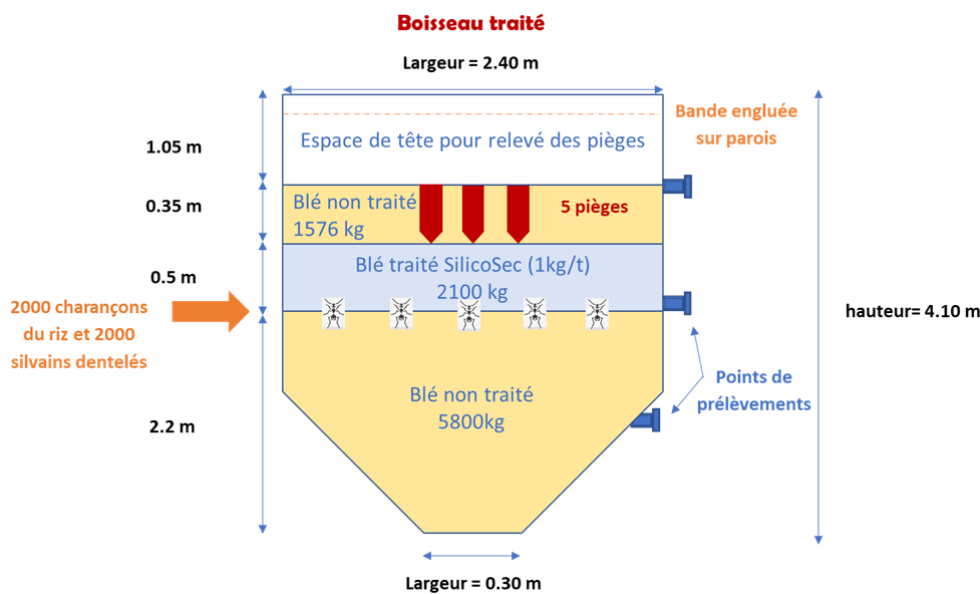
Une application partielle de terre de diatomées sur un lot de céréales stockées est une technique à laquelle se sont déjà intéressés certains chercheurs, à l'échelle du laboratoire (contenants de 10 à 30 cm de diamètre). Allens (2000) a observé que la hauteur de couche de grains à traiter est variable selon la mobilité des espèces étudiées. Une couche de 20 cm est suffisante pour contenir une population de triboliums (*Tribolium castaneum*) alors que des espèces plus mobiles comme le

petit silvain plat (*Cryptolestes ferrugineus*) ou le silvain dentelé (*Oryzaephilus surinamensis*) requièrent une couche traitée d'au moins 1 m (figure 1). Korunić et Mackay (2000) conseillent une épaisseur de grains traitée de 50 cm pour une bonne prévention contre les insectes les plus fréquents. Ces essais ont néanmoins été conduits à l'étranger avec des formulations de terre de diatomées différentes de celle homologuée en France.



**Figure 1 : Épaisseur de la couche de blé traité nécessaire pour éliminer diverses espèces de ravageurs des grains stockés (d'après Allens, 2000)**

L'essai a été mis en place à la récolte 2023 sur 6 boisseaux d'environ 10 t de blé tendre, dont les parois ont été préalablement nettoyées et traitées avec SilicoSec®. Les boisseaux, d'abord partiellement remplis, ont été infestés avec 2 000 insectes de chaque espèce en partie médiane. Trois boisseaux servant de témoins ont été complétés avec du blé non traité. Les trois autres l'ont été avec une couche de 50 cm de blé traité au SilicoSec® (soit 2,1 t de blé ici), à la dose de 1 kg/t (dose homologuée pour un traitement préventif), puis une couche superficielle de 35 cm de blé non traité (figure 2).



**Figure 2 : Configuration d'un boisseau de blé partiellement traité au SilicoSec® (couche médiane de 50 cm d'épaisseur)**



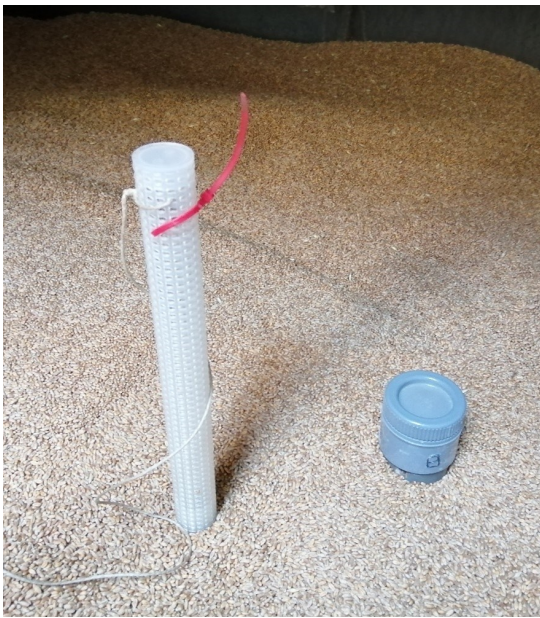
**Figure 3 : Traitement du blé tendre sur le circuit de manutention de la plateforme d'Arvalis avec SilicoSec®, à l'aide d'une trémie vibrante (matériel Andermatt)**

Le blé a été traité sur une bande de transport lors de son transilage jusqu'aux boisseaux, à l'aide d'une trémie vibrante (fournie par Andermatt) (figure 3), dont l'ouverture de la trappe avait été réglée pour obtenir la dose souhaitée compte tenu du débit des grains (40 t/h).

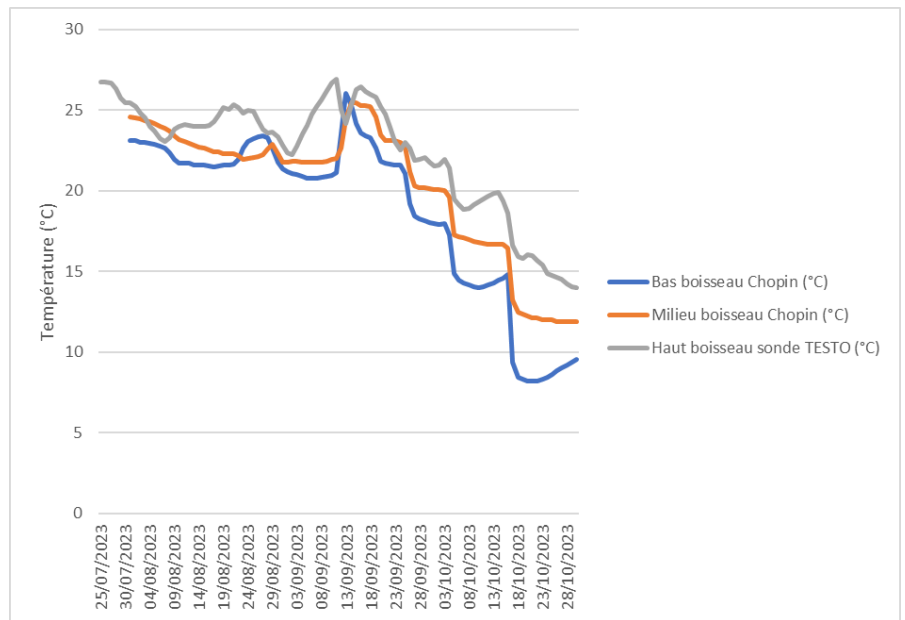
L'application de cette solution alternative de type poudre nécessite le port d'équipements de protection individuelle par l'opérateur, adaptés à l'usage du produit.

voir le détail sur <https://ephy.anses.fr/ppp/silicosec>

L'objectif de l'essai était de vérifier que les insectes introduits sous la couche traitée étaient incapables de survivre en migrant vers le haut du boisseau. C'est pourquoi des pièges tubes perforés STORGARD® Trécé II® avaient été positionnés sur la couche superficielle des grains (figure 4). La migration des insectes dans cette direction était favorisée par la ventilation des boisseaux durant l'essai, visant à refroidir les grains du bas vers le haut (cf. suivi de l'évolution des températures des grains d'un boisseau de l'essai représenté à la figure 5). La partie haute des boisseaux était alors la plus favorable à leur développement. Durant 14 semaines, des relevés hebdomadaires des individus capturés dans les cinq pièges de chaque boisseau ont permis de suivre les migrations d'insectes.



**Figure 4 : Piège perforé pour détecter les insectes étant parvenus à traverser la couche de grains traités**

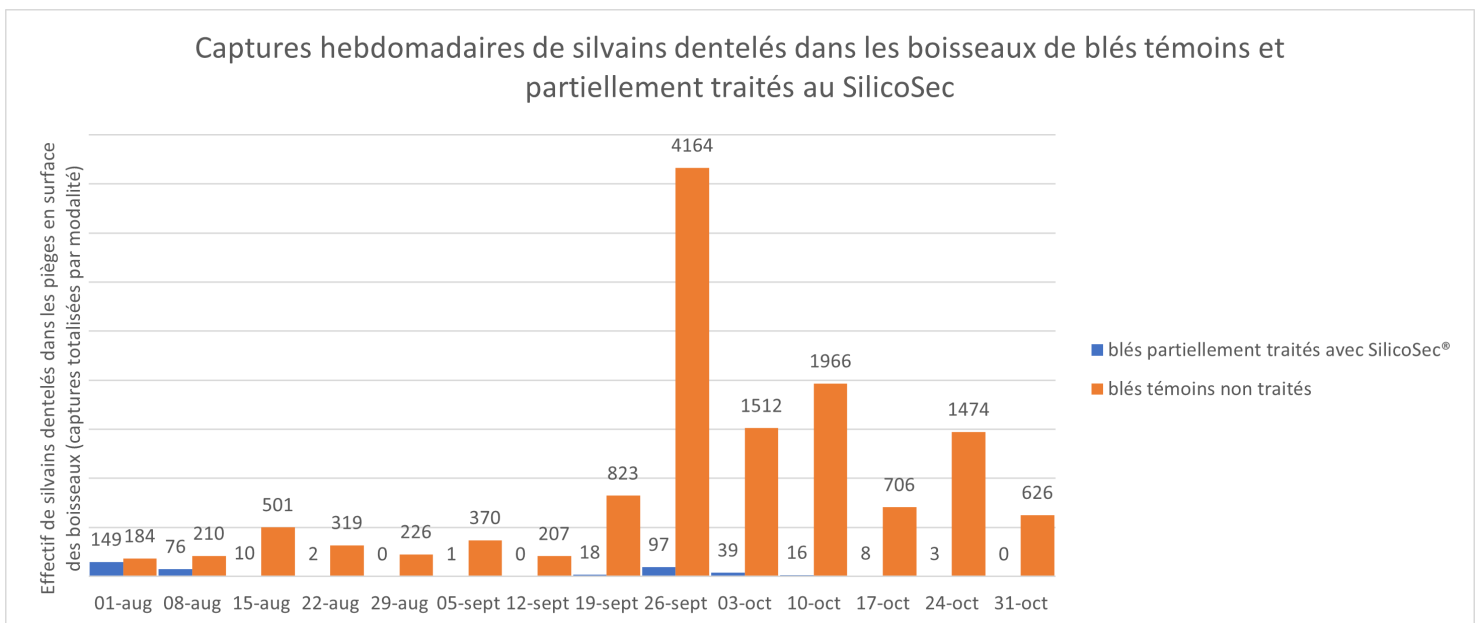


**Figure 5 : Suivi des températures à différents niveaux d'un boisseau (B1), durant l'essai. Un gradient de température de 2°C environ en début d'essai puis 5°C en fin d'essai a été mis en place pour inciter une migration des insectes à travers la couche de grains traités. Concernant l'humidité relative, elle était suivie uniquement dans la couche superficielle de grains et elle a varié de 45 % à 35 % environ au fil de l'essai. Ce faible taux était favorable à la dessiccation des insectes par SilicoSec®**

### ▶ Des résultats très satisfaisants sur le silvain dentelé

Des captures de silvains dentelés sont survenues dès la 1<sup>re</sup> semaine de suivi et ont perduré durant les 14 semaines de l'essai illustrant la migration des silvains vers les conditions d'environnement plus favorables en haut de cellule. Le nombre d'individus capturés (vivants et morts) chaque semaine était significativement différent entre les boisseaux comportant une couche de grains avec SilicoSec® et ceux avec du blé non traité : - 97 % de captures dans les boisseaux traités et - 99 % en ne comptabilisant que les individus vivants (figure 6). Cela témoigne qu'un effectif réduit de silvains dentelés est parvenu à la couche superficielle des boisseaux, après la traversée de la couche de grains traités.

Une épaisseur de couche traitée de 50 cm avec SilicoSec® est donc efficace pour maîtriser la prolifération de cette espèce, largement répandue dans les silos français.



**Figure 6 : Nombre de silvains dentelés capturés dans les pièges en surface des boisseaux traités ou témoins durant les 14 semaines de suivi - essai 2023 sur la plateforme Métiers du grain de Boigneville (91)**

## ▶ Des charançons trop peu mobiles dans les boisseaux en essai pour évaluer l'efficacité du traitement

En revanche, aucune conclusion n'a pu être tirée concernant les charançons du riz. Cette espèce s'est avérée peu mobile malgré le delta de température maintenu dans les boisseaux (entre 1 et 5 °C supplémentaires mesurés entre le

haut et le bas du volume stocké). Le nombre d'individus capturés est resté très faible dans les boisseaux témoins durant la totalité de l'essai, ce qui n'a pas permis d'évaluer l'efficacité de cette technique sur cette deuxième espèce.



**Figure 7 : Un silvain dentelé, espèce secondaire très répandue dans les silos français**



## ▶ Une perte de poids spécifique réduite mais significative à l'échelle des boisseaux

Malgré les traitements partiels mis en œuvre pour cet essai, une baisse de poids spécifique moyenne de l'ordre de 4,3 kg/hl a été mesurée entre l'ensilage (avant traitement partiel) et le désilage des boisseaux traités. Toutefois, il est possible que dans le cas d'une cellule de plus grande capacité, le rapport de masse entre blé traité et stocké soit très inférieur (ici 2,1 t traités sur 10 t stockés soit 1/5) et que la perte de poids spécifique soit plus faible.

## Conclusion

Cet essai a confirmé l'efficacité d'une stratégie de traitement partiel avec Silicosec® pour éviter toute propagation de silvains dentelés, espèce parmi les plus mobiles, dans les lots de céréales stockées. Cette stratégie semble particulièrement intéressante en début de campagne, pour prévenir une colonisation d'un lot stocké par les réservoirs d'insectes qui peuvent persister dans les locaux de stockage. Dans cet essai, pour tester l'efficacité du traitement partiel des grains, l'infestation artificielle a été réalisée au cœur des boisseaux car le relevé des pièges (indicateur de suivi) n'était possible qu'en surface des grains. Néanmoins, dans la réalité il est plus probable que le départ d'une infestation se fasse là où les grains sont moins vite refroidis (surface) vers le cœur du stock. Une épaisseur de 50 cm de la couche de grains traités dans la cellule a été validée à travers cette démonstration à l'échelle pilote sur silvains dentelés. En considérant que le lot stocké est indemne d'insectes à l'ensilage, cette couche barrière préservera ainsi l'intégralité des grains. A l'inverse, dans le cas d'une réception de grains ayant déjà été stockés sur un autre site, si un départ d'infestation est déjà présent à l'intérieur d'un lot, le positionnement des couches traitées et leur efficacité vis-à-vis des insectes les moins mobiles reste à déterminer.

## ➤ Références bibliographiques

- Allen, S., 2000. Integration of inert dust into control of storage pests in bulk grain in storage in Australia. In Proceedings of the International Conference Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products, Fresno, CA, USA, 279-284.
- Crépon K. et Cabacos, 2020. Méthodes de lutte physique dans un itinéraire de stockage sans insecticide : intérêts et limites. In : Phloème - 2èmes biennales de l'innovation céréalière - 29 et 30 janvier 2020, Paris, Ed. ARVALIS.
- Korunić, Z., et Mackay, A., 2000. Grain surface-layer treatment of diatomaceous earth for insect control. Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 51 (1), 1-11.

## ► Intérêts et principes

La fumigation des grains à la phosphine est une technique de désinsectisation qui se réalise par voie gazeuse. Le gaz n'est pas directement injecté dans la masse de grain, il est généré par des phosphures métalliques, d'aluminium ou de magnésium, qui au contact de la vapeur d'eau présente dans l'air, s'hydrolysent pour former la phosphine également appelée phosphure d'hydrogène, hydrure de phosphore ou phosphane. L'intérêt principal de l'usage de la phosphine est d'obtenir un traitement insecticide sans résidus sur les produits fumigés, mais le gaz phosphine est hautement toxique tant pour les insectes que pour l'ensemble des mammifères y compris les humains et son emploi nécessite plusieurs précautions. Les difficultés de mise en œuvre sont de deux ordres : maintenir un niveau de concentration en gaz suffisamment élevé pendant toute la durée de la fumigation, et gérer les reliquats de phosphures métalliques en fin de fumigation avant leur destruction par incinération.

Cette technique de désinsectisation est autorisée en France, et réglementée par l'arrêté du 4 août 1986 qui précise les modalités de sa mise en œuvre. Le grand principe qui régit l'usage des fumigants en France est la protection des personnes. Les traitements doivent être réalisés :

- ▶ Par des personnes formées et habilitées possédant des protections individuelles, masque et cartouches adaptés ainsi que des appareils de mesure de concentration en gaz permettant de garantir le respect des valeurs limites d'exposition au gaz ;
- ▶ Dans les meilleures conditions d'étanchéité possible, à une certaine distance des lieux de travail et/ou d'habitation, afin d'éviter l'exposition au gaz des tierces personnes ;
- ▶ Après déclaration aux services de la DRIAFF.

Le traitement comporte trois phases, une phase de mise sous gaz, une phase d'exposition au gaz et une phase de dégazage. Le produit est ensuite libéré lorsqu'il n'y a plus de gaz dedans.

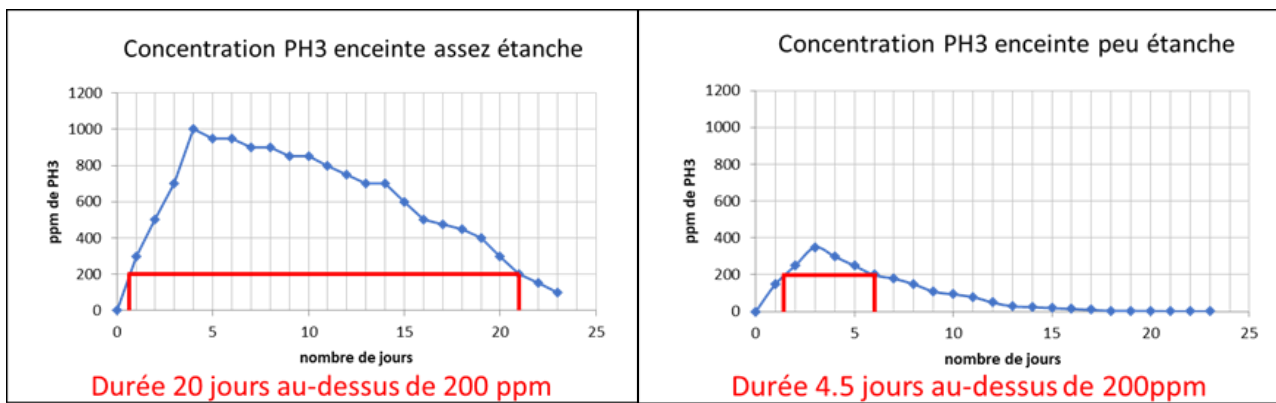
## ► Le fonctionnement de la phosphine

Contrairement aux insecticides de contact, la phosphine n'est pas un neurotoxique qui bloque la transmission de l'influx nerveux au niveau des synapses. Le gaz agit par voie respiratoire, il bloque au niveau cellulaire les échanges d'oxygène dans la mitochondrie en inhibant deux enzymes, la catalase et la cytochrome oxydase, ce qui entraîne la destruction de la cellule. Ce mode d'action induit une contrainte d'utilisation : il est nécessaire que l'insecte respire pendant la phase d'exposition. Or dans le cycle de vie d'un insecte, deux stades ne sont pas ou très peu respirants, les œufs et les jeunes nymphes. La durée d'exposition au gaz devra donc correspondre à la durée que met un œuf à éclore et que met une jeune nymphe à se métamorphoser en adulte. Ces durées sont dépendantes de la température du grain. En conditions optimales, à une trentaine de degrés (Celsius), la durée d'exposition devra être de 5 à 7 jours, cette durée s'allongera progressivement au fur et à mesure que les températures baisseront pour arriver à une trentaine de jours à 15°C. En dessous de ce seuil de température, la réalisation d'une fumigation n'a plus vraiment de justification, les insectes ne sont plus en mesure de se reproduire et l'efficacité du traitement deviendra partielle. Seuls les adultes et les larves seront tués, la prolifération reprendra lorsque les températures redeviendront favorables.

Le niveau de concentration en gaz est le deuxième facteur de réussite pour les fumigations. Il doit être suffisamment élevé pendant toute la durée nécessaire au traitement. Le niveau minimal de concentration en gaz dépend essentiellement du niveau de résistance des insectes à la phosphine. Ce niveau de résistance dépend du respect des bonnes pratiques, concentration en gaz et durées d'exposition, mais également de la fréquence de l'usage des fumigants dans les différents pays <sup>1</sup>. Plus l'usage est fréquent et mal maîtrisé, plus le niveau de résistance risque d'être important. À ce jour en France le niveau de résistance est pratiquement nul car la phosphine est peu utilisée en routine dans les silos et les importations de céréales, donc potentiellement de populations d'insectes résistants, sont faibles.

Le dosage initial en phosphure métallique devra permettre de garantir une concentration en phosphine tout au long du traitement en prenant en considération deux phénomènes concomitants lors de la formation du gaz. D'une part les installations ne sont que très rarement étanches à 100 %, une partie du gaz va s'échapper de l'enceinte de fumigation (voir figure 1), d'autre part, une partie du gaz va être adsorbée par le grain faisant de ce fait baisser la concentration en phosphine dans l'atmosphère de l'enceinte traitée. Ces phénomènes de sorptions peuvent être très importants (voir tableau 1).

<sup>1</sup> Bareil N. (2017). Retour sur la 11e conférence de l'organisation internationale de la lutte biologique et intégrée (OILB) sur la protection intégrée des denrées stockées. Lettre Stock@ge n°7, novembre 2017. [https://www.arvalis.fr/sites/default/files/imported\\_files/stockage\\_n7\\_novembre\\_6615522081049930827.pdf](https://www.arvalis.fr/sites/default/files/imported_files/stockage_n7_novembre_6615522081049930827.pdf)



**Figure 1 :** Exemple de l'évolution des concentrations en PH3 pour un dosage initial à 1.5g/m3 en fonction de l'étanchéité des enceintes

**Tableau 1: Phénomène de sorption, pourcentage de la concentration initiale de PH3 restant en gaz libre après une période donnée dans un système étanche contenant différentes denrées, conditions : température 25 °C HR 60 %, taux de remplissage de l'enceinte de 95 %.**

|           | % de PH3 restant en gaz libre dans une enceinte étanche |         |
|-----------|---|---------|
|           | 1 jour  | 5 jours |
| Blé       | 78  | 56      |
| Orge      | 74  | 55      |
| Riz paddy | 44  | 9       |
| Sorgho    | 59  | 29      |
| Fève      | 44  | 13      |
| Pois      | 84  | 62      |
| Colza     | 64  | 28      |

Source : manuel de l'opérateur en fumigation des denrées stockées

Face à ces deux phénomènes (étanchéité imparfaite du compartiment et sorption du gaz par le grain), le seul moyen de garantir le succès d'une fumigation est de faire du monitoring sur les concentrations, et la température dans l'enceinte de fumigation.

### La phosphine un traitement sans résidus ?

Les Limites Maximales de Résidus (LMR) sont fixées au niveau européens et disponibles sur le site de la Commission européenne<sup>2</sup>. Les principales valeurs des LMR pour la phosphine sont exprimés en phosphine et sel de phosphures de magnésium ou d'aluminium.

L'hydrolyse des comprimés de phosphore d'aluminium n'est jamais complète. En effet, pour limiter la vitesse de la réaction de la formation du gaz au contact de la vapeur d'eau, de la paraffine est introduite dans la formulation des comprimés. En fin d'hydrolyse, les restes des comprimés décomposés peuvent contenir un peu de phosphures métalliques, de 1 à 5 % selon les estimations. C'est pourquoi il faut les collecter et les inactiver en les mélangeant avec de l'eau additivée de détergent en fin de traitement. C'est également la cause de la modification de l'usage de ces comprimés annoncé par l'ANSES en 2023, qui désormais précise que les comprimés ne doivent plus être en contact direct avec le grain, ce qui ne permet pas d'éliminer ces résidus avec certitude. Une exception a toutefois été prévue par l'ANSES pour l'export de céréales vers les pays tiers dont le contrat stipule expressément le traitement par comprimés en contact avec le grain. Dans ce cas le niveau de LMR n'est plus celui de l'Union Européenne, mais celui du pays importateur (point 3 de l'article 2 du règlement CE 396/2005 du 23 février 2005).

Les LMR de la phosphine ont évolué en 2016, elles sont encore en vigueur au 28 août 2024. Ces valeurs sont en cours de révision au niveau de l'EFSA (tableau 2). Les données complémentaires qui lui ont été fournies vont entraîner une modification des LMR sur céréales et oléagineux. Celles sur céréales devraient baisser tandis que celles sur oléagineux devraient augmenter<sup>3</sup>. Les nouvelles valeurs ainsi déterminées sont compatibles avec les valeurs de résidus mesurés lors des essais fournis à l'EFSA dans le cadre des bonnes pratiques agricoles. Ces modifications des LMR ne devraient pas entraîner de modifications des pratiques actuellement autorisées.

Les niveaux de résidus de phosphine dans les grains et graines traités sont très faibles car les phénomènes de sorption du gaz par les grains sont réversibles. Une infime partie de la phosphine peut rester fixée, mais elle va finir par réagir avec la denrée pour donner des dérivés du phosphore<sup>4</sup>. Les évolutions des LMR prennent en considération les résidus mesurés sur les différents substrats.

Le traitement des lots de céréales à la phosphine n'est actuellement pas remis en cause dans l'Union Européenne, l'usage de spécialités emballées sous forme de bande de sachets est tout à fait adapté. Dans ce cas la récupération des résidus est simple. En revanche l'usage de ce type de formulation pose le problème de l'homogénéité de la répartition de la phosphine dans l'ensemble de la masse de grain. Des ventilateurs étanches couplés à un circuit de recirculation permettent de pallier cette difficulté.

<sup>2</sup> European Commission, EU pesticides database : [https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database\\_en](https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en)

<sup>3</sup> EFSA (2024). Evaluation of confirmatory data following the Article 12 MRL review and modification of the existing maximum residue levels for aluminium phosphide and magnesium phosphide <https://doi.org/10.2903/efsa.2024.8446>

<sup>4</sup> Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (2022). Manuel des opérateurs en fumigation des denrées et des locaux en agriculture

Tableau 2 : Extrait des LMR de la phosphine au 28/08/2024 et leurs évolutions possibles. Source : EFSA, 2024

| Code number | Groupes et exemples de produits auxquels s'appliquent les LMR (a) | Phosphane et sels de phosphures (exprimés en phosphane), en mg/kg |   |
|-------------|---|---|---|
|             |   | Actuel : Reg. (EU) 2016/1785, Annex II                            | LMR proposées, source Journal de l'EFSA |
| 300000      | LEGUMINEUSES  | 0.01*   | N. C.                                   |
| 401000      | OLEAGINEUX  | 0.05  | 0.3                                     |
| 500000      | CEREALES  |   |   |
|             | Blé, orge, seigle, avoine   | 0.05  | 0.02                                    |
| 500030      | Maïs  | 0.7   | 0.2                                     |
| 500060      | Riz   | 0.05  | 0.15                                    |
|             | Sorgho, millet, sarrasin et pseudo céréales                       | 0.7   | 0.15                                    |



### Évolution de l'usage de la phosphine en France

Entre 2013 et 2022, sur la base des données de la Banque Nationale des Ventes - Distributeurs (BNV-D), on note une augmentation des ventes de générateurs de phosphine, de 34,4 t de substance active en 2013 à 58.0 t en 2024. La très grande majorité de ces volumes concerne un usage insecticide, l'usage comme taupicide représente moins de 5 % du volume des ventes. 95 % des formulations sont des phosphures d'aluminium, cette proportion est stable entre 2013 et 2022. Les spécialités sous forme de pilules et de comprimés sont proportionnellement moins présentes en 2022 (77.4 %) qu'en 2013 (94 %), au profit des sachets et bandes de sachets.

Figure 3 : Bande de sachets de générateurs de phosphine accrochés en haut d'une cellule, image : Queensland country life

## Conclusion

Le traitement des grains à la phosphine représente une solution insecticide curative intéressante car efficace et presque sans résidus. Cependant, contrairement aux traitements avec des insecticides liquides, la phosphine ne permet que des traitements curatifs. En fin de traitement, une fois le dégazage effectué, le grain n'est plus protégé les ré-infestations sont possibles. La difficulté de mise en œuvre (étanchéité des silos, manque de personnel qualifié) ainsi que la dangerosité du produit pour le personnel sont les deux principaux freins identifiés à la mise en œuvre de cette technique d'après une enquête réalisée auprès des organismes stockeurs en 2013. Sakka et Al. (2017)<sup>5</sup> ont publié une étude sur la résistance biologique des insectes à la phosphine en Europe incluant une centaine d'échantillons en France. Les résultats ne font pas état de résistances marquées à la phosphine des principaux insectes ravageurs des grains en France contrairement à de nombreux autres pays dans le monde. Les bonnes pratiques, en termes de concentration en gaz et de durée d'exposition, sont primordiales pour limiter l'apparition des phénomènes de résistance. Seul un monitoring efficace des températures ainsi que des concentrations en gaz est garant d'une fumigation réussie.

Jean-Yves MOREAU

[jy.moreau@arvalis.fr](mailto:jy.moreau@arvalis.fr)

<sup>5</sup> Sakka (2017). Evaluation of phosphine tolerance in stored product insects in Europe ». In Proceedings of the 11th International Working Conference on Stored-Product Protection, Ljubljana, Slovenia, 3-5 July 2017.