



Edition 2017

ALGERIE: usage de la terre de diatomée de Sig.

Utilisation de la diatomite contre les insectes des céréales stockées en silos. باستخدام دياتومي ضد الحشرات.



ENOF de Sig.



Grottes menant vers les galeries de diatomées massives.



L'épaisseur de la roche est indiquée par les flèches rouges.



Echantillons de diatomite.

Ce produit peut être utilisé pour protéger les céréales dans les silos.

Djamel BELAID.

مهندس زراعي

Analyse structurale de la diatomite naturelle algérienne

Une analyse quantitative des phases amorphes et cristallines.

ANALYSE STRUCTURALE DE LA DIATOMITE NATURELLE ALGERIENNE

A.Hamouda^{1*}, H. Meradi¹, A. Balaska¹ and S. Bouhouche¹

¹Iron and Steel Applied Research Unit-Welding and Control Center, URASM-CSC,

BP 196 Annaba 23000 Algeria

*E-mail : [hamouda_ assia@yahoo.fr](mailto:hamouda_assia@yahoo.fr)

ANALYSE STRUCTURALE DE LA DIATOMITE NATURELLE ALGERIENNE

Auteurs : A.HAMOUDA, H. MERADI, A. Balaska and S. Bouhouche Année : 2010

Domaine : Sciences des matériaux

Type : Communication

Conférence: 1ere conférence internationale sur les mines et la métallurgie

Mots clés : diatomite, DRX, isolation thermique.

Résumé :

La diatomite appelée aussi terre à diatomées et kieselguhr est une roche sédimentaire légère constituée de coquilles fortement poreuses. Les diatomées sont des micro-organismes unicellulaires de type algue de taille généralement comprise entre 10 et 15 μm , ayant une coque fortement siliceuse. Ce matériau chimiquement inerte présente un grand intérêt lié à ces propriétés : une

très grande porosité et un grand pouvoir d'absorption, cette matière première trouve donc différentes applications en développement durable et environnement : purification des eaux potables, agent de filtration, absorption des pesticides, fabrication des antibiotiques...L'objectif de ce travail est l'étude structurale de la diatomite naturelle algérienne provenant du dépôt de Sig-Mascara pour son utilisation dans l'isolation thermique dans les aciéries. La poudre de diatomite est donc analysée par diffraction des rayons x, le diagramme ainsi obtenu est affiné avec le programme MAUD basé sur la méthode d'affinement Rietveld.

ZOOM

Cette méthode nous a permis d'identifier les phases présentes et d'analyser quantitativement les phases amorphes et cristallines.

CONSEILS

Nous conseillons de préciser les effets précis de la diatomite de Sig sur les parasites des grains stockés. En effet, de par sa composition en micro-fossiles, chaque gisement de diatomite est particulier et son action insecticide spécifique

Quels usages industriels?

Ressources locales, de nombreux usages industriels possibles.

LA VALORISATION DES RESSOURCES NATURELLES: CAS DE LA DIATOMITE DE LA REGION DE SIG.

Hazem MERADI1, L'hadi ATOUI2, A. BALASKA3

1 : Unité de Recherche en Technologie Industrielle (URTI / CSC), BP 1037, Annaba, Algérie ;
meradi213@yahoo.com

2 : Université Badji Mokhtar, Dpt de Métallurgie et Génie des Matériaux; Laboratoire de Métallurgie et Génie des Matériaux; Annaba, Algérie ;
atouilhadi@yahoo.fr

3 : Unité de Recherche Appliquée en Sidérurgie et Métallurgie (URASM / CSC), BP 176
El-Hadjar / Annaba, Algérie ; balaskaa@yahoo.fr

Résumé :

La diatomite encore appelée kieselguhr est une roche formée par l'accumulation dans d'anciens lacs, de carapaces de diatomées qui sont des algues fossiles à squelette siliceux amorphes. L'importance industrielle et scientifique de la diatomite, matériau naturel assez abondant en Algérie, nous a conduit à entreprendre une étude sur sa composition physico-chimique, son comportement thermique et texturale pour son utilisation dans l'isolation thermique des poches à acier.

ZOOM

Les résultats obtenus ont révélé la présence dominante de silice amorphe de coeur poreux.

Mots clés: diatomite, diffraction, DSC/ATG, caractérisation.

1. Introduction:

La diatomite est un produit naturel bien connu, il porte plusieurs appellations à savoir: kieselguhr, diatomée, farine fossile, terre d'infusoire, tripoli et farine de diatomée.

C'est une roche de couleur claire constituée principalement de silice et d'impuretés (composés organiques, sable, argile, carbonate de calcium et magnésium, sels,...). Ces algues unicellulaires sont entourées d'une carapace en silice.

La diatomite est utilisée principalement dans la filtration des liquides (45 %, sous forme calcinée), comme charge dans les peintures et les plastiques (25 à 30 %), dans l'isolation thermique (15 à 20 %), enfin comme absorbant (moins de 5 %) [1].

2. Exploitation et traitement :

Le gisement de Diatomite est situé à 5 Kms au Sud-est de Sig (ville de Mascara, Algérie). Les réserves géologiques sont estimées à 6 500 000 t [2].

Le minerai de diatomite est extrait manuellement en souterrain. Il est transporté vers l'usine de traitement, qui comprend deux processus relatifs à deux produits différents: Diatomite de charge industrielle et de filtration. (extraits).

CONSEILS

Nous conseillons d'étudier les spécificités de la diatomite de Sig dans la lutte contre les insectes des céréales stockées en silos. Ndlr.

Exploitation de la diatomite à Sig.

NoUne visite sur le site d'exploitation de Sig.

LIEN:

<https://sites.google.com/site/lmesmusto/home/phototheque-lmesm/visites-du-labo>

Entreprise Nationale ENOF

Vidéo

1/ Galeries Diatomées : video

2/ Pierre de Lité : video

Position géographique du Site de Diatomite de Sig wilaya de Mascara.

1/ Visite du site de Kieselguhr à Sig, Wilaya de Mascara, la Société ENOF exploitant de la diatomée algérienne. Le site contient deux points d'extraction : la diatomée pierre de lité (la marne) et la diatomée massive.



De la droite vers la Gauche HAMZAOUI, Directeur de l'ENOF, Bouziane, Doctorante chez ENOF, Doctorante chez LMESM

Photo prise avec le Directeur de l'entreprise ENOF.

Site 1 (Extraction de la pierre de lité)

Ouvriers d'ENOF creusant des galeries pour extraire la roche de Lité.

Cette dernière est composée d'une succession de couches de diatomées et de marnes.

Site 2 (Extraction de la diatomée massive)

Grottes menant vers les galeries de diatomées massive, l'épaisseur de la roche est indiquée par les flèches rouges.

Roche de diatomée massive offerte au LMESM par les ouvriers d'ENOF.

La société ENOF embauche 10 ouvriers sur site afin d'extraire la pierre lité et la roche massive.

La production annuelle avoisine les 3500 tonnes par an.

(c) copyright laboratoire de Microscopie Electronique et Sciences des Matériaux.

Lutte contre les insectes au stockage.

Ce qu'il faut savoir de la terre de diatomée.

26 janvier 2017

Lutte contre les insectes au stockage

Ce qu'il faut savoir sur la terre de diatomée

Nicolas BAREIL (ARVALIS.fr - Institut du végétal)

La terre de diatomée est une des solutions pour lutter contre les insectes au stockage, disponible en France depuis 2015. Quelle efficacité en attendre ? Comment l'utiliser ? Revue bibliographique des connaissances acquises sur ces micro-algues fossilisées.

La terre de diatomée est une substance active autorisée dans l'Union Européenne depuis 2009. Une formulation insecticide et acaricide à base de terre de diatomée s'est vue délivrer une autorisation de mise sur le marché par l'ANSES le 21 septembre 2015. Ce produit, dénommé Silicosec®, est fabriqué par la société Allemande BIOFA AG et distribué en France par Kreglinger. Il peut être appliqué en traitement des grains ou en traitements des locaux.

Une action par dessiccation

Les diatomées sont des micro-algues unicellulaires enveloppées par un squelette externe majoritairement composé de silice amorphe (transparent et rigide). On appelle terres de diatomées les dépôts fossiles de squelettes de diatomées.

La terre de diatomée agit par abrasion des voies digestives et de la cuticule (exosquelette des insectes) et surtout par adsorption des corps gras de cette dernière, via le dioxyde de silicium qu'elle contient. Lors de leurs déplacements, les insectes rentrent en contact avec le produit, rendant leur cuticule perméable aux échanges hydriques : ils meurent par dessiccation.

Des insectes plus ou moins sensibles

Toutes les espèces d'insectes ravageurs des denrées stockées n'ont pas la même sensibilité à la terre de diatomée : le petit silvain plat semble être la plus sensible alors que les triboliums sont les plus résistants. En général, les adultes sont plus résistants que les formes larvaires.

Pour obtenir un bon niveau d'efficacité insecticide, le grain doit être relativement sec (teneur en eau < 14 %). De la même manière, en situation de milieu « ouvert », plus l'hygrométrie de l'air est élevée, moins le traitement sera efficace. De plus, plus la température est

élevée - favorable aux déplacements des insectes -, plus le traitement sera efficace.

Un effet dépressif sur le PS

La limite majeure pour l'utilisation de la terre de diatomée pour un traitement sur grain est la réduction du PS engendrée. Des essais réalisés par ARVALIS – Institut du végétal ont démontré que des applications de Silicosec® à 0,5 ou 1 kg/t de blé tendre pouvaient engendrer une perte de PS allant de 3 à 5 kg/hl. Ces résultats sont extrapolables à la dose homologuée du produit (2 kg/t).

Ce désavantage limite fortement le potentiel d'utilisation de la terre de diatomée. En Australie, elle est bien plus utilisée en traitement des locaux et, plus récemment, en traitement de la partie superficielle du lot.

Un levier à combiner avec d'autres actions

Sauf à traiter l'ensemble d'un lot à forte dose, la terre de diatomée n'est pas adaptée pour un traitement curatif, elle est davantage un outil de protection préventive des infestations.

Il s'agit d'un levier efficace dans certaines conditions d'utilisation (températures élevées et faible humidité), qui ne doit pas être utilisé seul mais en combinaison avec d'autres mesures au sein d'une stratégie de protection Intégrée : nettoyage préalable pour un traitement des locaux ou aération de la masse de grains pour un traitement par couche.

Enfin, il faut garder à l'esprit que ce type de traitement reste relativement onéreux, son prix allant de 7,5 à 10 €/kg.

ZOOM

Pour en savoir plus, téléchargez la lettre Stock@ge n°5 consacrée à la terre de diatomée. Au sommaire : origine et description, impact sur la qualité, efficacité en traitement sur grains, efficacité en traitements des locaux.

CONSEILS

Nous conseillons d'utiliser la terre à diatomée produite par l'ENAFOR de Sig. Ndlr.

Quelle efficacité pour le stockage?

Une utilisation possible dans les silos de céréales.

https://www.arvalis-infos.fr/file/galleryelement/pj/61/b5/e2/ac/stockage_n5_novembre_671383004444985001.pdf

https://www.arvalis-infos.fr/file/galleryelement/pj/61/b5/e2/ac/stockage_n5_novembre_671383004444985001.pdf

Stock@ge est distribué gratuitement par voie électronique sur simple demande à la rédaction et téléchargeable sur www.arvalis-infos.fr.

**Terre de diatomée au stockage: Quelle efficacité?
Comment l'utiliser?
Silicosec®: Terre de diatomée autorisée en France**

I. La terre de diatomée

1. Composition

Les diatomées sont des micro-algues unicellulaires enveloppées par un squelette externe majoritairement composé de silice amorphe (transparent et rigide). Selon les sources, le nombre d'espèces de diatomées se situe entre 3000 et 12000. Chaque espèce de diatomée possède un squelette aux caractéristiques uniques:

- Forme;
- Masse volumique;
- Superficie;
- Capacité de rétention d'huile/d'eau.

On appelle terres de diatomées les dépôts fossiles de squelettes de diatomées. Ces dépôts datent en majorité d'il y a 30 à 80 millions d'années (Z. K. Korunić et al. 2016; P. G. Fields 1998), sont répartis sur toute la planète et peuvent s'accumuler sur plusieurs centaines de mètres de profondeur (Vincent, Panneton, et Fleurat-Lessard 2001). Une terre de diatomée correspond donc à une origine géographique, c'est-à-dire un gisement, lequel contient un ensemble d'espèces fossilisées. Les propriétés d'une terre de diatomée seront donc dépendantes de l'espèce majoritairement présente dans le gisement d'origine. Toutes les terres de diatomées ne sont pas les mêmes, et n'ont donc pas les mêmes propriétés insecticides. En plus de ces caractéristiques, la teneur en dioxyde de silicium de la terre de diatomée impacte également son efficacité (Vincent, Panneton, et Fleurat-Lessard 2001).

Selon l'origine l'efficacité insecticide de la terre de diatomée peut varier dans un rapport de 20. La majorité des terres de diatomées ont des particules de taille comprises entre 10 et 50 µm (Z. K. Korunić et al. 2016). Silicosec® est une terre de diatomée issue de la fossilisation d'espèces en eau douce qui contient approximativement 92% de SiO₂, 3% de Al₂O₃, 1% de Fe₂O₃ et 1% de Na₂O, avec une taille moyenne des particules entre 8 et 12µm (Vayias et Athanassiou 2004).

Toutes les terres de diatomées ne sont pas les mêmes, et n'ont donc pas les mêmes propriétés insecticides.

2. Modes d'actions

Les insectes meurent quand ils ont perdu approximativement 60% de leur eau ou environ 30% de leur poids (Ebeling 1971). Il est donc vital pour eux de maintenir leur équilibre hydrique, ce qu'ils font principalement grâce à la partie la plus externe de leur exosquelette, la cuticule, constituée de corps gras (hydrophobes).

La terre de diatomée agit via le dioxyde de silicium qu'elle contient. Ce composé chimiquement inerte agit par abrasion de la cuticule et des voies digestives (Z. K. Korunić et al. 2016; Jackson et Webley 1994), par obstruction des spiracles (orifices respiratoires) (Jackson et Webley 1994) et par adsorption des corps gras. Lors de leur déplacement les insectes rentrent en contact avec le produit, rendant leur cuticule perméable aux échanges hydriques (Zlatko Korunic 1998). Les insectes meurent donc par dessiccation.

Lors de leur déplacement les insectes rentrent en contact avec le produit, rendant leur cuticule perméable aux échanges hydriques. Les insectes meurent donc par dessiccation.

ZOOM

CONSEILS Nous.

Facteurs impactant l'efficacité?

Espèce et stade de l'insecte.

3. Modes d'application

La terre de diatomée peut être appliquée par poudrage de l'ensemble d'un lot, mais cela entraînera un coût important et une perte de poids spécifique (PS) de l'ordre de 5 Kg/hL. En Australie, par exemple, elle est surtout utilisée en traitement des locaux. Aux Etats-Unis souvent seule la partie supérieure (10-20%) de la masse de grain est traitée (P. Fields et Korunic 2002).

L'application sur la partie supérieure de la masse de grain présente notamment l'intérêt de diminuer le coût du traitement d'un lot stocké, ainsi que l'impact sur le PS (P. G. Fields 1998).

La terre de diatomée peut être appliquée en traitement des locaux par poudrage via un atomiseur compatible, mais cela génère beaucoup de poussière. Il est également possible de disperser la poudre via un pistolet à air comprimé réglé entre 5 et 8 bars (pistolet de sablage) (Allen 2000). Il est possible, comme cela se fait beaucoup en Australie, d'appliquer la terre de diatomée en suspension dans l'eau, par pulvérisation

Il est également possible de disperser la poudre via un pistolet à air comprimé réglé entre 5 et 8 bars (pistolet de sablage).

Bien qu'elle diminue considérablement l'émission de particules, cette méthode diminue aussi l'efficacité du traitement (Vincent, Panneton, et Fleurat-Lessard 2001; P. Fields et Korunic 2002). Il est également possible d'appliquer ce produit via le système d'aération dans un silo vide.

Figure 2: vue au microscope à balayage électronique d'une diatomée.

Source: <http://www.thenaturelabs.com>

Stock@ge est distribué gratuitement par voie électronique sur simple demande à la rédaction et téléchargeable sur

www.arvalis-infos.fr. Copyright © ARVALIS –Institut du végétal 2014. Reproduction interdite sans autorisation et citation de la source.

II. Facteurs impactant l'efficacité de la terre de diatomée

1. Espèce et stade d'insecte

Toutes les espèces d'insectes ravageurs des denrées stockées n'ont pas la même sensibilité à la terre de diatomée. Fields et Muir (1995) classent les espèces de la plus à la moins sensible (lors de traitement sur la masse totale de grain): le Petit Silvain plat (*Cryptolestes ferrugineus*), le Silvain (*Oryzaephilus surinamensis*), les Charançons (*Sitophilus* spp.), le Capucin des grains (*Rhyzopertha dominica*) et les Triboliums. Il est d'ailleurs établi que le Tribolium brun (*Tribolium confusum*) est l'une des espèces les plus résistantes à la terre de diatomée (Vayias et Athanassiou 2004).

La tolérance à la sécheresse peut intervenir mais n'est pas systématiquement corrélée à la sensibilité des insectes (Vincent, Panneton, et Fleurat-Lessard 2001). L'hydrophobie, et donc la composition de la cuticule, jouerait un rôle important. De même la capacité de rétention de la terre de diatomée par la cuticule rendrait l'espèce plus sensible. Ainsi l'espèce la plus sensible, le Petit silvain plat, retient bien plus la poudre qu'une espèce beaucoup plus résistante, le Tribolium roux (*Tribolium castaneum*) (Vincent, Panneton, et Fleurat-Lessard 2001). Le comportement des insectes jouerait également un rôle dans leur sensibilité: les espèces les plus mobiles comme le Petit silvain plat entreraient plus en contact avec la terre de diatomée que des espèces plus «sédentaires» comme le Capucin des grains. Le stade de développement des insectes impacte l'efficacité du traitement, en général les adultes sont plus résistants que les formes larvaires (Baldassari et Martini 2014; Shayesteh et Ziaee 2007).

Le Tribolium brun (*Tribolium confusum*) est l'une des espèces les plus résistantes à la terre de diatomée.

Facteurs impactant l'efficacité?

La température, un facteur primordial.

2. La tolérance des insectes

La résistance des insectes ravageurs des céréales stockées aux insecticides de synthèse est un facteur ayant fortement motivé la recherche de solutions alternatives. Il a cependant été démontré en laboratoire qu'au bout de 5 à 7 générations du Tribolium roux, du Petit silvain plat et du Capucin des grains la sensibilité des insectes à la terre de diatomée diminuait significativement (Z. Korunic et Ormesher 1998). Sans en expliquer l'origine, les auteurs suggèrent le développement de mécanismes physiologiques et comportementaux.

En laboratoire qu'au bout de 5 à 7 générations du Tribolium roux, du Petit silvain plat et du Capucin des grains la sensibilité des insectes à la terre de diatomée diminuait significativement.

En comparant différentes souches de Tribolium roux Rigaux, Haubruge, et Fields (2001) ont démontré que les insectes pouvaient générer une tolérance nécessitant de quasiment doubler la dose de terre de diatomée pour tuer 50% de la population. Il a notamment été déterminé que les insectes tolérants étaient plus légers, se déshydrataient moins vite, et se déplaçaient plus lentement que les insectes sensibles. Il a également été noté que les insectes tolérants évitent les zones traitées, même à très faibles doses, tandis que les souches susceptibles ne présentent pas ce comportement même à forte concentration.

3. Teneur en eau et hygrométrie

Pour obtenir un bon niveau d'efficacité insecticide, le grain doit être relativement sec (Vincent, Panneton, et Fleurat-Lessard 2001; P. G. Fields 1998; P. Fields et Korunic 2002). La présence d'humidité va, en effet, réduire l'efficacité du traitement via 3 mécanismes:

(1) en réduisant la capacité d'adsorption des lipides de l'épicuticule des insectes; (2) en réduisant la capacité de la terre de diatomée à se disperser (tendance à l'agglomération) et donc à rentrer en contact avec les insectes; (3) la capacité des insectes à contrebalancer les pertes en eau subies

augmente avec le degré d'humidité (Z. K. Korunic et al. 2016). Une teneur en eau supérieure à 14% permettrait aux insectes de contrebalancer la déshydratation engendrée par le traitement (Baldassari, Martini, et others 2014; Quarles 1992; Zlatko Korunic 1998). De la même manière, en situation de milieu «ouvert», l'hygrométrie de l'air impacte fortement l'efficacité du traitement (Z. K. Korunic et al. 2016). Plus elle est élevée, moins le traitement sera efficace (P. G. Fields 1998)

4. Température

La température est un facteur prédominant dans la détermination de l'efficacité insecticide de la terre de diatomée (P. Fields et Korunic 2002; P. G. Fields 1998; Z. K. Korunic et al. 2016; Quarles 1992). Cela s'explique simplement par le fonctionnement biologique des insectes et le mode d'action de la terre de diatomée (Ciesla et Guery 2014). La terre de diatomée agit au contact des insectes par abrasion de la cuticule et des voies digestives, et par adsorption des corps gras de cette dernière. Les insectes sont des organismes dont la température interne, et donc l'activité métabolique, dépend de la température de leur milieu. Ainsi lorsque la température augmente les insectes se déplacent et se nourrissent davantage ce qui favorise fortement l'action insecticide de la terre de diatomée.

Les insectes sont des organismes dont la température interne, et donc l'activité métabolique, dépend de la température de leur milieu.

5. Culture stockée

La nature de la culture impacte également l'efficacité du traitement (P. G. Fields 1998; Z. K. Korunic et al. 2016). Ainsi le riz blanc est la culture nécessitant la plus forte dose, puis viennent le tournesol, le maïs, le riz paddy, l'avoine, l'orge, le blé tendre puis le blé dur (Vincent, Panneton, et Fleurat-Lessard 2001).

III. Impact sur la qualité

La limite majeure pour l'utilisation de la terre de

diatomée pour un traitement sur grain est la réduction du PS engendrée. Ainsi appliquer 2Kg/t peut réduire d'environ 4 Kg/hL le PS du maïs et d'environ 6Kg/hL le PS du blé (P. G. Fields 1998). Cependant l'impact sur le PS varie selon le type de terre de diatomée, il n'est donc pas possible de généraliser ces valeurs. La réduction du PS engendrée par l'application de la terre de diatomée peut varier d'un facteur 4 selon son origine (P. G. Fields 1998). Des essais réalisés par Arvalis–Institut du végétal ont démontré que des applications de Silicosec® à 0,5 ou 1 Kg/t de blé tendre pouvaient engendrer une perte de PS allant de 3 à 5 kg/hL (Losser 2012). Ces résultats sont extrapolables à la dose homologuée de 2 Kg/t pour Silicosec® car il a été démontré qu'au-delà d'une certaine dose, se situant autour de 0,5 Kg/t, la diminution du PS engendrée par l'augmentation de la dose est minime (Zlatko Korunic, Cenkowski, et Fields 1998).

Ce désavantage limite fortement le potentiel d'utilisation de la terre de diatomée. Par exemple DryAcide®, disponible depuis 1986 en Australie, n'y est quasiment pas utilisé sur les lots de grains entiers. Il est bien plus utilisé en traitement des locaux et, plus récemment, en traitement de la partie superficielle du lot (Allen 2000). Il n'y aurait cependant pas d'impact de la terre de diatomée sur la qualité boulangère du blé tendre, sur les propriétés de l'orge de brasserie et sur le blé dur (P. G. Fields 1998; Z. Korunic et al. 1996).

Il n'y aurait pas d'impact de la terre de diatomée sur la qualité boulangère du blé tendre, sur les propriétés de l'orge de brasserie et sur le blé dur.

IV. Efficacité en traitement sur grain

1. Application de Silicosec® sur lot entier

• Efficacité sur les Tribolium

Vayias et Athanassiou (2004) ont étudié en laboratoire l'efficacité de SilicoSec® contre les larves et les adultes du Tribolium brun à plusieurs températures, teneurs en eau (11% et 13%) et doses lors d'un traitement sur blé tendre. Il a ainsi été démontré que les larves du Tribolium brun sont plus sensibles que les adultes, et que pour ces dernières 24 et 48h après un traitement à 32°C les mortalités atteintes sont respectivement d'environ 65 et 95%. Une semaine de contact permanent des larves de Tribolium brun avec du grain traité, entre 27 et 32°C, est nécessaire pour obtenir une mortalité quasi-totale. Pour les adultes une semaine de contact permanent à 32°C avec le grain traité n'entraîne qu'environ 85% de mortalité, et allonger cette durée à deux semaines ne

permet pas de dépasser 95% de mortalité en moyenne, même à la plus forte dose de 1,5 g/Kg. Peu importe le stade, passer de 32 à 22°C divise par deux l'efficacité du traitement. De même, traiter sur un grain plus humide (13% contre 11%) diminue considérablement l'efficacité du traitement sur les deux stades, avec une baisse moyenne de mortalité de 10% pour les adultes. A titre de comparaison, d'autres essais réalisés à 30 et 32°C sur du blé tendre à 11,3% de teneur en eau avec une dose de 1,5 Kg/t de Silicosec® ont permis d'obtenir 100% de mortalité des adultes du Tribolium brun après 14 jours d'exposition (C. G. Athanassiou et al. 2005). L'efficacité de SilicoSec® sur le Tribolium roux a été testée sur du blé tendre à 11,4% de teneur en eau et 27°C (Shayesteh et Ziaee 2007). D'abord, il été constaté que les adultes sont plus tolérants que les larves à la terre de diatomée. Ensuite, plus la dose appliquée et la durée de contact augmentent, plus la mortalité des insectes croît. Enfin, les auteurs concluent sur le fait que 2 semaines de contact des adultes du Tribolium roux avec 1,7 Kg/t de SilicoSec® permettent d'atteindre un taux de mortalité de 100%. A titre de comparaison, 10 jours de traitement à 1,6 Kg/t de lots de maïs à 11% de teneur en eau et à 27°C ne permet d'atteindre qu'environ 85% de mortalité du Tribolium roux (Mohitazar et al. 2009).

• Efficacité sur Charançons et Silvains

L'efficacité de SilicoSec® a également été étudiée sur le seul stade du charançon du riz susceptible d'être en contact avec le produit : les adultes (Ciesla et Guery 2014). Des lots de blé tendre à 13% de teneur en eau

ont été traités à 1 ou 2 Kg/t de SilicoSec® et infestés à hauteur de 200 insectes/Kg régulièrement durant 3 mois avec, pour chaque date, 14 jours de contact entre les insectes et le blé traité. Cela dans deux conditions de température : 15°C et 25°C. **Cet essai a permis de constater deux faits marquants :**

le rôle crucial de la température lors du traitement et la persistance d'action de la terre de diatomée au fil du temps.

Deux semaines de contact à 25°C entre le charançon du riz et le blé traité ont permis d'obtenir en moyenne 97,5% de mortalité à 1Kg/t et 99,9% à 2Kg/t. A 15°C les mortalités sont bien moindres, avec en moyenne 11% et 41%. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Baldassari et Martini (2014) qui sur du blé tendre, à 26,7°C et 12% de teneur en eau, traité à 1Kg/t de SilicoSec® constatent 99% de mortalité après deux semaines.

Comme précédemment évoqué, la teneur en eau de 14% est communément admise comme le seuil à partir duquel les insectes peuvent contrebalancer la déshydratation engendrée par le traitement (Baldassari, Martini, et others 2014; Quarles 1992;

Zlatko Korunic 1998). Ainsi il n'a pas été observé une différence significative d'efficacité de SilicoSec® lors d'un traitement sur le charançon du riz à 1Kg/t et à 27-30°C sur du blé à 11% et 13% de teneur en eau (Christos G. Athanassiou et al. 2006).

Les taux de mortalités obtenus étaient alors de 100% après 14 jours d'exposition. Cependant, des essais réalisés par Arvalis-Institut du végétal ont permis d'observer l'efficacité sur le charançon du riz de SilicoSec® appliqué à 1Kg/t et à environ 27°C sur du blé à 14,5-15% de teneur en eau.

Ainsi après 14 jours de traitement, seuls 60% des insectes sont morts (Losser 2012). La teneur en eau des céréales lors de l'application de la terre de diatomée, et notamment le respect du seuil de 14%, semble donc être un facteur conditionnant fortement l'efficacité du traitement.

L'augmentation de la mortalité avec la dose et la durée de contact des insectes avec SilicoSec® a également été reportée sur le Silvain (Mohitazar et al. 2009). Lors de cet essai sur maïs à 11% de teneur en eau et à 27°C, une plus grande sensibilité du Silvain par rapport au Tribolium roux a été constatée. Après une exposition de 10 jours à 2,5 Kg/t de SilicoSec®, 90 % des Silvains adultes sont morts. L'efficacité à taille réelle a été testée sur le charançon des grains, le Silvain et le Petit silvain plat, lors d'un traitement de l'ensemble d'un lot de 10 t blé à 0,7 ou 2Kg/td de SilicoSec® par tonne de grain.

Si à 0,7kg/t de haut niveaux de mortalité peuvent être atteints pour le Silvain et le Petit silvain plat (90% et 95%, respectivement), seuls environ 60% des charançons sont morts (17,5 °C et 12% de teneur en eau). Cependant à pleine dose toutes ces espèces présentent le même niveau de mortalité avoisinant 95% (21,6°C et 11,5% de teneur en eau).

•Efficacité sur le Capucin des grains

La sensibilité des Capucins des grains adultes à 1Kg/t de SilicoSec® a été étudiée sur du blé tendre à 11% de teneur en eau et à 26,7°C (Baldassari et Martini 2014). Sur ce blé sec la mortalité observée après 2 semaines de contact est de 97,7%. Ici encore, nos résultats obtenus sur du blé plus humide à 27°C et à 1Kg de SilicoSec® par tonne de blé ne permettent d'observer que 65% de mortalité pour cette espèce, après 2 semaines (Losser 2012).

A retenir: Efficacité du traitement sur grains

L'application de SilicoSec® sur l'ensemble d'un lot permet d'atteindre de très haut de niveau de mortalité des insectes si deux conditions sont respectées (1) le grain doit être sec (11-13%) et (2) le lot doit être chaud (25-30°C). Dans ces conditions des taux de mortalités compris entre 90 et 100% seront atteints après 2 semaines. Cependant, après 2 semaines, en conditions plus fraîches (15°C) la mortalité chute à environ 40% (charançon du riz, blé à 13% traité à

2Kg/t) et sur du blé relativement humide (14,5-15%) elle passe à 60% (charançon du riz, blé à 27°C traité à 1Kg/t). Figure 3: Application de SilicoSec® sur grain. Source: <http://www.biofa-profi.de/de/>

2. Traitement de la couche superficielle du lot

Cette stratégie visant à minimiser l'impact de la terre de diatomée sur le PS de la denrée a été premièrement conçue en complément du refroidissement par aération à air ambiant (Nickson, Desmarchelier, et Gibbs 1994). **L'idée est que la surface du lot est plus encline à se réchauffer et donc à héberger un départ d'infestation, et qu'elle est plus vulnérable aux infestations par le milieu environnant** (Allen 2000; E. A. Vardeman et al. 2006). Ainsi, des essais en laboratoire ont été menés afin de déterminer la profondeur de traitement nécessaire pour empêcher le passage des insectes dans la couche non-traitée sous-jacente.

•Sensibilité des insectes: **un classement bouleversé**

Un essai mené en Australie avec le produit Dryacide® a permis un constat surprenant : les espèces habituellement les plus sensibles à la terre de diatomées lors de traitement du lot entier ou lors de traitement des locaux requièrent la profondeur de traitement la plus importante (1m pour le Silvain et 1,5m pour le Petit silvain plat) (Allen 2000). Cela s'expliquerait par leur mobilité.

En effet celle-ci les désavantage lors d'un traitement de la masse entière du lot, cependant dans le cas d'un traitement de la couche superficielle cela leur permet de passer plus rapidement dans la couche non-traitée sous-jacente. Pour une espèce plus sédentaire, comme le capucin des grains la profondeur nécessaire n'est ici que de 30cm. Cependant, lors de cet essai le charançon des grains qui est une espèce ayant pourtant une bonne mobilité ne requiert que 30 cm de profondeur de traitement.

•Effet de la profondeur du traitement

Une autre étude réalisée en laboratoire s'est intéressée à la profondeur de traitement nécessaire pour empêcher le capucin des grains de franchir la zone traitée (E. A. Vardeman et al. 2006). Ainsi la formulation Protect-it®, à base de terre de diatomée, a été appliquée à 0,4Kg/t sur 15,2, 22,9 et 30,5cm sur du blé tendre à 27-30°C et environ 11% de teneur en eau, dans des colonnes de 90 cm de hauteur. 100 insectes adultes ont été introduits sur le dessus de la masse de grains, et des suivis des populations ont été réalisés après 7, 10 et 14 jours. Contrairement aux résultats d'Allen (2000) avec DryAcide®, aucune de ces profondeurs de traitement n'a empêché le passage des insectes. Cependant une augmentation de la profondeur de traitement augmente de façon significative la

mortalité sur l'ensemble de la colonne, avec à 15,2, 22,9 et 30,5 cm de profondeur 49,1, 73,8 et 85,2% de mortalité, respectivement. De plus l'analyse de la répartition des insectes morts indique bien qu'augmenter la profondeur de traitement ne fait pas qu'allonger le contact des insectes avec la couche traitée, ces derniers mourant dans la couche sous-jacente. En effet, passer d'une profondeur de 15,2-22,9 cm à 30,5 cm permet de faire passer la proportion d'insectes dont la mort est survenue au sein de la couche traitée de 75-75,9% à 83,4%.

•Effet de la formulation de terre de diatomée

Les mêmes auteurs ont utilisé le même matériel et mode opératoire pour comparer différentes formulations

de terre de diatomée, à leur dose homologuée respective, à l'unique profondeur de 30,5cm sur le Capucin des grains (Erika A. Vardeman et al. 2007). Les résultats de cette étude montrent à quel point l'efficacité de cette pratique peut différer selon la formulation utilisée. Ainsi pour le produit InsectoTM (0,5Kg/t) la mortalité moyenne constatée est de 72,6%, pour Protect-It® (0,4Kg/t) elle est 83,4% et pour Dryacide® (1Kg/t) elle est de 98,1 % (avec la quasi-totalité des insectes morts retrouvés dans la couche traitée).

Ce dernier résultat est entériné par une autre étude ayant constaté une efficacité totale de la technique sur le Capucin des grains en traitant à plus forte dose (2Kg/t) du blé sur 30,5cm de profondeur avec Dryacide® (Allen 2000).

•Conclusion à échelle pilote

Un essai à l'échelle pilote a permis de comparer sur du blé à 21-28°C et de 14,2-15,1% de teneur en eau, l'efficacité de deux doses de la formulation Protect-It® (0,5 et 0,75 Kg/t) sur deux profondeurs de traitement (0,5 et 1m), dans des cellules de 1,5m de hauteur, sur le Tribolium roux, le Capucin des grains et le Charançon du riz (Z. Korunić et Mackay 2000). Après traitement des quantités de grains nécessaires, 400 insectes de chaque espèce ont été introduits sur le dessus de chaque cellule et le suivi des populations a eu lieu après 59 jours.

Les résultats de cette étude indiquent qu'à la dose de 0,75 Kg/t une profondeur de traitement de 50 cm permet une prévention quasi-totale de la pénétration des insectes dans le lot sous-jacent. A 0,5Kg/t une profondeur de 1m est cependant nécessaire.

• Dilution de la couche traitée: impact sur le PS

Enfin l'impact sur le PS de la dilution d'une couche superficielle traitée, à l'ensemble du lot a été déterminé. Ainsi pour ne pas dépasser une perte de 2-3 Kg/hL, la couche traitée à 0,5 ou 0,75 Kg/t ne devrait pas dépasser 20 et 10% du lot, respectivement (Z. Korunić et Mackay 2000).

A retenir: Traitement de la couche superficielle

Des essais de laboratoire et à l'échelle pilote ont permis de démontrer l'efficacité possible d'une application superficielle de la terre de diatomée permettant de limiter l'impact du traitement sur le PS du lot. Aucune référence sur ce thème n'est cependant connue pour la formulation Silicosec®. De plus, depuis les travaux menés par Nickson, Desmarchelier, et Gibbs (1994) l'intérêt de l'association du traitement de la couche superficielle du lot à la terre de diatomée avec la ventilation de refroidissement à air ambiant n'a plus été étudié. Il y est pourtant mentionné la mise en œuvre pratique et réussie par des industriels australiens de cette pratique.

Il est par ailleurs suggéré que la combinaison de ces deux leviers permet de réduire la profondeur de la couche traitée (Allen 2000).

De plus les résultats de modélisations effectuées par Arvalis-Institut du Végétal (non-publié), sur la sensibilité des insectes du stockage au froid, et l'analyse des résultats de la bibliographique semblent indiquer une complémentarité des deux moyens de lutte (cf. Figure 5).

Figure 4: Perte de PS observée après dilution de la couche superficielle (représentant 5 à 100% du lot), traitée avec la formulation Protect-It® à des doses allant de 0 à 0,75 Kg/t

Figure 5: Modélisation des probabilités de désinsectisation totale d'un silo via le refroidissement et mortalités moyennes (+écart type) des insectes adultes exposés à des doses de Silicosec allant de 1 à 2 Kg/t pour des températures moyennes d'au moins 22°C, des teneurs en eau allant de 11 à 12% et des durées d'expositions comprises entre 1 et 3 semaines

V. Efficacité de Silicosec® en traitement des locaux

• Nettoyage des locaux: le préalable indispensable

Afin de vérifier l'utilité d'un nettoyage préalable avant traitement des locaux, un essai de laboratoire a été mené en exposant le Tribolium roux, le Silvain et le Capucin des grains à 5g/m² de Silicosec® à 27°C et 55% d'humidité relative (Ziaee et Khashaveh 2007). De plus, afin de simuler le déplacement des insectes dans des zones refuges (non-traitées avec ou sans source d'alimentation) ces derniers ont été maintenus 1 jour sur la surface traitée, puis transférés sur des surfaces non-traitées avec ou sans produits céréaliers. Après une semaine d'exposition à une situation de «locaux non-nettoyés» (avec source d'alimentation) 81,6% des Tribolium, 93,3% des Capucins et 100% des Silvains sont morts. En revanche, en situation de «locaux nettoyés» (sans source d'alimentation) la mortalité des Tribolium atteint 96,6%, celle des autres espèces est de 100%.

Ces résultats sont entérinés par ceux de Ziaee, Safaralizadeh, et Shayesteh (2006) qui constatent 100% de mortalité du Tribolium roux et du Capucin des grains suite à l'application de 10 g/m² de Silicosec®, en absence de source d'alimentation.

• Essai de Silicosec® à échelle pilote: homogénéité de l'application et efficacité insecticide à court termes

Un essai pilote a été réalisé en Allemagne (où SilicoSec® est disponible depuis 1997) afin d'étudier la répartition du produit, et l'efficacité insecticide sur plusieurs types de surfaces d'une application en traitement des locaux de Silicosec® sous forme de poudre, à l'aide d'un compresseur équipé d'un pistolet de sablage (Schöllner et Reichmuth 2010). Un traitement avec un objectif de 20g/m² a été réalisé dans une salle d'une surface totale de 145m² dont 41,12m² au sol. Afin d'atteindre cette dose sur la surface totale 3Kg de Silicosec® ont été appliqués. A hauteur de 2 points d'échantillonnage par mètre carré de sol, les résultats mettent en lumière une très forte hétérogénéité de la répartition de la terre de diatomée. Avec une concentration moyenne de 15,4 g/m², la densité de produit varie de 2,6 à 49,5 g/m². Les auteurs relèvent qu'une grande majorité de la terre de diatomée a été retrouvée au sol, malgré l'objectif de traiter les parois, entraînant ponctuellement des taux de 73g/m² (soit plus de 3 fois la dose voulue).

Afin d'évaluer l'efficacité insecticide du traitement, des plaques dispersées dans la précédente salle ont été traitées, puis 50 Tribolium roux et 100 Petits silvains plats y ont été déposés. Avec un dispositif empêchant leur fuite, la mortalité engendrée a été observée après 14 jours de contact. Malgré la plus grande résistance communément admise des Tribolium par rapport au Silvain ou au Petit silvain plat lors de traitements sur grains, seuls 65,4% des Petits silvains plats ont été tués contre 94,2% des Tribolium roux (73% d'hygrométrie et 15,4°C en moyenne durant le traitement).

• Une étude de longue durée pour des recommandations pratiques

En Grande Bretagne, où Silicosec® est disponible depuis les années 2000, une étude de longue durée a été menée en 3 étapes afin d'aboutir à des recommandations pratiques d'utilisation pour des applications en poudre ou en suspension liquide (Cook, Collins, et Collins 2004).

Deux essais préliminaires pour choisir la dose, les espèces et le mode d'application

Un premier screening en laboratoire a permis de comparer la réponse de 3 espèces d'insectes (Tribolium roux, Charançon des grains et Silvain) à 3 doses (5, 10 et 20g/m²) dans des conditions représentatives du climat local, relativement loin des conditions optimales des études de laboratoires habituelles (15°C et 80% HR). Le Charançon des

grains a été identifié comme le plus résistant à Silicosec® avec au bout de 2 semaines 88% de mortalité en moyenne avec l'application de la suspension liquide, et 96% avec l'application sous forme de poudre. De plus, il n'a pas été noté d'augmentation d'efficacité avec l'accroissement de la dose appliquée, la dose optimale semblant être 10g/m². Cette absence de réponse à la dose de produit en traitement des locaux a été constatée lors d'autres travaux (Cook et others 2003; Mewis et Ulrichs 2001), et serait due au fait que la cuticule des insectes n'est capable de capter qu'une quantité limitée de terre de diatomée, laquelle aurait tendance à y adhérer durablement (Le Patourel, Shawir, et Moustafa 1989). Ainsi, une fois le corps des insectes recouvert, une augmentation de la quantité de produit aurait peu d'effet.

**De plus, il n'a pas été noté
d'augmentation d'efficacité avec
l'accroissement de la dose
appliquée, la dose optimale
semblant être 10g/m².**

Une deuxième phase de test (dans les mêmes conditions contrôlées) a permis de tester plus en profondeur la sensibilité du charançon des grains à 10g/m² de Silicosec® (appliqué en poudre ou en suspension liquide) et, en même temps, la persistance d'action du produit durant 3 mois sur une surface offrant davantage de zones de refuge: le bois. Les résultats obtenus confirment la plus grande efficacité d'une application sous forme de poudre. Ainsi 2 semaines après l'introduction des insectes sur les surfaces traitées, les taux de mortalité moyens sont 86% si Silicosec® est appliqué sous forme de poudre, et de 40% s'il l'est sous forme de suspension liquide. Il a également été démontré que, peu importe le type d'application, le niveau de protection ne baisse pas au fil du temps.

Validation en conditions réelles: importance du nettoyage, traitement des parois difficiles, délai avant réception de 2 mois

Enfin une dernière phase de test visait à valider l'efficacité immédiate (après nettoyage des locaux en début d'été) et prolongée (jusqu'au printemps suivant) de l'application de 10 g/m² de Silicosec® en poudre, en conditions réelles, à la fois contre l'espèce identifiée comme la plus résistante (ici Charançon des grains) et la moins résistante (Silvain). Pour cela une aire de stockage de 120t en cellules sous abri a été traitée fin Juillet, après un nettoyage approfondi. Durant toute la durée de l'essai, les activités de

réception et expéditions du site ont continué normalement. Une semaine avant le traitement (réalisé fin-juillet), 60000 Charançons et 30000 Silvain y ont été dispersés. Une deuxième infestation a eu lieu l'année suivante en Mars. Sur 12 points répartis dans la zone de stockage, les conditions ambiantes ainsi que les quantités de poudre déposées ont été suivies (plaques de suivi au sol et suspendues). Sur ces mêmes points, des essais «contrôlés» d'efficacité ont été mis en place. Pour cela 2 paires de récipients ont été déposées, une pour chaque date d'infestation (été ou printemps), dont l'une de chaque paire servant de témoin non-traité (couverte pendant le traitement). 100 insectes de chaque espèce y ont été introduits aux mêmes périodes que les lâchers d'insectes. Enfin, l'efficacité du traitement sur les insectes errants a été suivie en positionnant 1 piège de type PCTM floor traps (Insects limited) à chaque point de suivi.

Ces derniers ont été relevés hebdomadairement jusqu'à ce que l'efficacité de l'essai contrôlé soit de 100%, puis mensuellement.

Les conditions ambiantes ont fortement fluctué durant l'essai avec des températures moyennes allant jusqu'à 20°C en début d'essai, 10°C mi-octobre puis 5 et 0°C en Novembre puis Décembre.

La remontée des températures n'a commencé qu'en Mars, pour atteindre 10°C fin Avril puis 15°C début Juin. Concernant l'hygrométrie des pics à 100% ont fréquemment été atteints durant les mois d'hiver, et le niveau 65% a été ponctuellement atteint en été et au printemps.

Le suivi des quantités de terre de diatomée appliquée a permis d'observer une dose moyenne appliquée de 7,7 g/m² au sol et de 1,1 g/m² sur les parois, malgré l'objectif de 10g/m².

De plus là encore une forte hétérogénéité de la répartition du produit a été constatée, la densité de produit

variant au sol de 3,7 à 14,1 g/m² et sur les surfaces verticales métalliques de 0,2 à 1,3 g/m².

Les récipients à infestation contrôlée révèlent qu'en été (températures de 14,4°C à 19,3°C) 1 semaine d'exposition du Silvain à Silicosec® permet d'atteindre 100% de mortalité, contre 3 semaines pour le Charançon des grains. Au printemps suivant, ces durées s'allongent d'une semaine (températures de 7,3°C à 11,6°C), portant le délai minimum avant réception à 1 mois, toute espèce et saison confondue.

Cependant, les suivis des captures d'insectes dans l'aire de stockage contrastent avec les précédentes conclusions. En effet, une semaine après le traitement (en été) les captures indiquent une absence de charançons. Les niveaux de captures des Silvains baissent considérablement indiquant une éradication de cette espèce 2 mois plus tard.

Au printemps suivant, aucun Charançon des grains n'est détecté, mais des Silvains subsistent. Après le

second lâcher d'insectes, au printemps, 2 mois d'exposition permettent de diminuer significativement le nombre de captures des 2 espèces mais n'entraînent pas une mortalité totale.

Figure 6: Emissions de particules lors d'un traitement des locaux avec Silicosec®.
Source: (Cook, Collins, et Collins 2004)

Plusieurs aspects, mentionnés par les auteurs de l'étude, sont à souligner. Tout d'abord, lors de l'application de Silicosec® en poudre de fortes émissions de particules ont été constatées (Cf. Figure 6), formant un brouillard assez épais pour diminuer la visibilité. Ainsi, l'application ayant duré plus de 2h le port d'une protection respiratoire semble indispensable, et le port de lunettes de protection préférable. Ensuite, il a été noté qu'une quantité non-négligeable d'insectes lâchés sont morts avant même l'application du produit, ce qui permet de penser que le seul effet du nettoyage approfondi des locaux permet de réduire significativement le niveau des populations présentes. Enfin, la différence de réponse des insectes entre les essais réalisés sur le terrain et ceux réalisés en laboratoire demande d'appréhender les résultats de ces derniers avec précaution.

A retenir:

Efficacité de Silicosec® en traitement des locaux Ces études traitant de l'efficacité et la qualité de l'application de Silicosec® lors d'un traitement des locaux de

stockage permettent d'aboutir aux recommandations pratiques suivantes

(Cook, Collins, et Collins 2004):

- 1) Nettoyer les locaux de manière approfondie
 - 2) Appliquer la formulation de terre de diatomée Silicosec® au minimum un mois et de préférence 2 mois avant réception du grain. A titre de comparaison, en Australie la formulation Dryacide® est appliquée en traitement des locaux après nettoyage, 6 semaines avant réception du grain (Allen 2000)
 - 3) Appliquer à l'aide d'un atomiseur compatible poudrage
 - 4) N'appliquer la terre de diatomée sous forme de suspension liquide que si nécessaire (parois métalliques verticales, nécessité absolue de limiter les émissions de poussières etc.)
 - 5) Veiller à conserver par agitation la terre de diatomée en suspension dans l'eau durant le traitement
 - 6) Allonger la durée de traitement en cas de pulvérisation d'une suspension liquide
 - 7) Toujours porter une protection respiratoire adaptée, et y ajouter de préférence une protection oculaire
- Nicolas BAREIL n.bareil@arvalisinstitutduvegetal.fr

VI. Conclusion

La terre de diatomée est une des solutions disponibles pour lutter contre les insectes au stockage. Elle l'est

maintenant en France avec la formulation Silicosec® de la société Allemande Biofa AG. Sauf à traiter l'ensemble d'un lot à forte dose, la terre de diatomée n'est pas adaptée pour un traitement curatif, elle est davantage un outil de protection préventive des infestations (Z. Korunić et Mackay 2000).

Il s'agit d'un levier efficace dans certaines conditions d'utilisation (températures élevées et faible humidité), qui ne doit pas être utilisé seul mais en combinaison avec d'autres mesures au sein d'une stratégie de Protection Intégrée : nettoyage préalable pour un traitement des locaux ou aération de la masse grain pour un traitement par couche.

Enfin il faut garder à l'esprit que ce type de traitement reste relativement onéreux, son prix allant de 7,5 à 10€/Kg.

Editeur : ARVALIS -Institut du végétal 3 rue Joseph et Marie Hackin -75116 PARIS
www.arvalisinstitutduvegetal.fr Comité de rédaction :
Amandine Bonnery, Katell Crépon, Nicolas Bareil, Jean-Yves Moreau.

VII. Bibliographie

Allen, Sylvia. 2000. «Integration of inert dust into control of storage pest in bulk grain in storage in Australia».

<http://www.ftic.co.il/2000FresnoPDF/28.pdf>.

Baldassari, Nadia, et Antonio Martini. 2014. «The efficacy of two diatomaceous earths on the mortality of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus oryzae*». *Bulletin of Insectology* 67 (1): 51–55.

Ciesla, Y, et B Guery. 2014. «EFFICACITE DE LA TERRE DE DIATOMEES MELANGEE AUX GRAINS POUR LA LUTTE CONTRE LE CHARANCON DU RIZ». In . MONTPELLIER.

Cook, D. A., D. A. Collins, et L. E. Collins. 2004. «Efficacy of diatomaceous earths, applied as structural treatments, against stored product insects and mites». HGCA PROJECT REPORT.

Cook, D. A., et others. 2003. «The efficacy of high temperature and diatomaceous earth combinations against adults of the red flour beetle *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and the grain weevil *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae)». In *The BCPC International Congress: Crop Science and Technology, Volumes 1 and 2. Proceedings of an international congress held at the SECC, Glasgow, Scotland, UK, 10-12 November 2003.*, 445–450. British Crop Protection Council.

Fields, Paul G. 1998. «Diatomaceous earth: Advantages and limitations». In *Proceedings of the 7th international working conference on stored-product protection*. Vol.

1.<http://home.cc.umanitoba.ca/~fieldspg/fields/fields-DE-1998.pdf>.

Fields, Paul, et Zlatko Korunic. 2002. «Post-harvest insect control with inert dusts». *Encyclopedia of Pest Management* 48: 650–653. IARC, éd. 1997. Silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. 68. Lyon: World Health Organization.

Korunic, Z., et Peter Ormesher. 1998. «Evaluation and standardised testing of diatomaceous earth». In *Proceedings of the Seventh International Working Conference on Stored-product Protection*, 14–19.

Korunic, Zlatko. 1998. «Diatomaceous earths, a group of natural insecticides». *Journal of Stored Products Research* 34 (2): 87–97.

Korunić, Zlatko Korunić, Vlatka Rozman, Anita Liška, et Pavo Lucić. 2016. «A review of natural insecticides based on diatomaceous earths». *POLJOPRIVREDA* 22 (1): 10–18.

Korunić, Zlatko, et Andrew Mackay. 2000. «Grain surface-layer treatment of diatomaceous earth for insect control». *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* 51 (1): 1–11.

Le Patourel, G. N. J., M. Shawir, et F. I. Moustafa. 1989. «Accumulation of mineral dusts from wheat by *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae)». *Journal of stored products research* 25 (2): 65–72.

Mewis, I., et Ch Ulrichs. 2001. «Action of amorphous diatomaceous earth against different stages of the stored product pests *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor*, *Sitophilus granarius* and *Plodia interpunctella*».

Journal of Stored Products Research 37 (2): 153–164.

Quarles, William. 1992. «Diatomaceous earth for pest control». *IPM Practitioner* 14 (5/6): 1–11.

Rigaux, Marilyn, Eric Haubruge, et Paul G. Fields. 2001. «Mechanisms for tolerance to diatomaceous earth

between strains of *Tribolium castaneum*». *Entomologia Experimentalis et Applicata* 101 (1): 33–39.

Schöller, M., et Ch Reichmuth. 2010. «Field trials with the diatomaceous earth SilicoSec® for treatment of empty rooms and bulk grain». *Julius-Kühn-Archiv*, no425: 899.

Shayesteh, N., et Mahsomeyeh Ziaee. 2007. «Insecticidal efficacy of diatomaceous earth against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae)». *Caspian Journal of Environmental Sciences* 5 (2): 119–123.

Vayias, B.J., et C.G. Athanassiou. 2004. «Factors Affecting the Insecticidal Efficacy of the Diatomaceous Earth Formulation SilicoSec against Adults and Larvae of the Confused Flour Beetle, *Tribolium Confusum* DuVal (Coleoptera: Tenebrionidae)». *Crop Protection* 23 (7): 565-73.

doi:10.1016/j.cropro.2003.11.006.

Vincent, Charles, Bernhard Panneton, et Francis

Fleurat-Lessard. 2001. Physical control methods in plant protection. Springer Science & Business Media. https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=DQNJCAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=physical+control+methods+in+plant+protection&ots=3tb3WeN3Ir&sig=0yNsRbrJx2kF1NiMm9_EFC6cHL0.

Ziaee, Masumeh, et Adel Khashaveh. 2007. «Effect of five diatomaceous earth formulations against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera:

Silvanidae) and *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae)». *Insect Science* 14 (5): 359–365.

Ziaee, Masumeh, Mohammad Hasan Safaralizadeh, et Nouraddin Shayesteh. 2006. «Effects of temperature and exposure interval on the toxicity of Silico Sec® against two stored products insects». *Pakistan Entomologist* 28 (1): 45–50.