



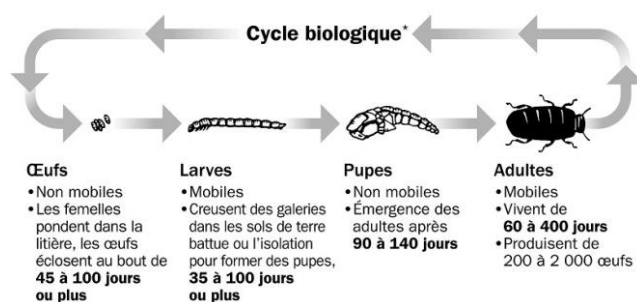
Petit ténébrion : quels moyens complémentaires et/ou alternatifs aux insecticides de synthèse ?

Résumé

Le petit ténébrion (*Alphitobius diaperinus*) est un insecte nuisible majeur des élevages de volailles de chair. Il est responsable de nuisances économiques, sanitaires et écologiques. Depuis des années, la lutte contre le petit ténébrion repose exclusivement sur l'utilisation de quelques familles d'insecticides chimiques favorisant l'apparition de résistances comportementale, physiologique et biochimique au sein des populations de petits ténébrions. Face à ces problématiques et le souhait des pouvoirs publics de réduire l'utilisation et la dépendance des éleveurs aux pesticides chimiques, d'autres moyens de contrôle émergent. Ceux-ci sont basés sur des mécanismes et des interactions naturels, ce sont des méthodes de biocontrôle. L'efficacité de ces alternatives a été testée lors de tests en laboratoire. Certaines d'entre elles semblent être prometteuses, c'est notamment le cas du champignon *Beauveria bassiana*. Cependant, ces alternatives sont complexes à utiliser et l'utilisation d'une seule d'entre-elle ne permettra pas de lutter contre le petit ténébrion. Ces méthodes doivent être combinées et réfléchies au global dans un plan de lutte intégrée incluant également des modifications du bâtiment et des pratiques d'élevage. Certains produits de biocontrôle sont déjà commercialisés, il reste cependant à évaluer leur durabilité et leur innocuité pour les santé humaine et animale ainsi que pour l'environnement.

1. Contexte

Le petit ténébrion (*Alphitobius diaperinus*) est un coléoptère originaire d'Afrique sub-saharienne (Geden et Hogsette 1994, Lambkin 2001) arrivé en France à la faveur des échanges commerciaux (Huber et al, 2005). Il a été observé pour la première fois en Bretagne en 1977 (Renault, 2015). La larve est vermiforme et de couleur beige à brune. La phase larvaire comprend 6 à 11 stades selon la température. Au dernier stade larvaire, la larve mesure jusqu'à 10 mm. Les adultes ont une forme ovale et sont de couleur brune à noire. Ils ont généralement une apparence brillante. L'adulte mesure entre 5,8 et 6,3 mm. Les femelles pondent jusqu'à 2000 œufs (figure 1).



*Les durées dépendent de la température et de l'humidité

Figure 1 Cycle de développement du petit ténébrion (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales du Canada)

On peut observer des différences phénotypiques selon les populations (Geden et Hogsette 1994, Lambkin 2001). Le cycle de vie d'*A. diaperinus* peut varier d'un à trois mois en fonction des conditions environnementales (température, humidité et disponibilité alimentaire), et les adultes peuvent survivre jusqu'à plus d'un an (Gazoni et al, 2011). Au sein des bâtiments d'élevages claustrés, la température élevée, l'accumulation de matières organiques dans la litière et

l'obscurité favorisent son développement. Cependant, la persistance des caractères tropicaux, et notamment ses capacités de survie réduite aux basses températures dans les populations d'insecte implantées dans les poulaillers limite actuellement l'extension d'*A. diaperinus* dans des habitats naturels en climat tempéré (Salin, 1999). Le petit ténébrion est aujourd'hui le coléoptère le plus rencontré dans les bâtiments de volailles de chair et y constitue une nuisance majeure (Gazoni et al, 2011). En effet, cet insecte est responsable de dommages structuraux sur les bâtiments. Les larves et adultes creusent les matériaux isolants, entraînant un vieillissement prématuré du bâtiment et des surcoûts de chauffage (Huber et al, 2005). Le petit ténébrion est, de plus, responsable de problèmes sanitaires. C'est un réservoir et vecteur zoonotique, et il joue également un rôle dans la transmission d'agents pathogènes aux volailles (Huber et al, 2005). Ainsi, les virus responsables de la maladie de Marek, de la maladie de Gumboro (Falomo, 1986), de la maladie de Newcastle, de l'influenza aviaire (Hosen et al., 2004) et du coronavirus du dindon (Calibeo 2002, Watson et al. 2000) sont susceptibles d'être véhiculé par cet insecte. Il est également vecteur des bactéries *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* et *Staphylococcus spp.* (Chernaki-Leffer, 2002). Enfin, il véhicule des protozoaires tels que *Eimeria spp.*, agent responsable de la coccidiose (Goodwin et Waltman 1996, Hosen et al. 2004), des helminthes, des cestodes (Elowni et Elbihari, 1979) et plus rarement des champignons des genres *Aspergillus* et *Candida* (De Las Casas et al. 1972, Eugenio et al. 1970). De plus, la consommation d'insectes par les oiseaux serait susceptible d'être responsable d'obstructions intestinales puisque l'exosquelette de l'insecte est indigestible par les volailles. En effet, les volailles ne produisent pas de chitinases, les enzymes capables de dégrader la chitine (Elowni et Elbihari, 1979). Un autre sujet de préoccupation portant sur *A. diaperinus* concerne les problèmes de santé

chez l'Homme. Outre le fait qu'il contribue à la diffusion d'agents zoonotiques, la famille des coléoptères ténébrionidés à laquelle le petit ténébrion appartient produit des benzoquinones comme moyens de défense contre les prédateurs (Tschinkel, 1975). Les benzoquinones entraînent des risques pour la santé si les personnes sont exposées à de fortes concentrations sur une période prolongée. Les symptômes associés sont entre autres, des maux de tête, des dermatites et des érythèmes (rougeurs) (Falomo 1986, Schroeckenstein et al. 1988, Tseng et al. 1971). L'exposition aux vapeurs de quinones peut également entraîner conjonctivites et ulcérations de la cornée (Falomo 1986, Schroeckenstein et al. 1988). Cependant, en élevage, les éleveurs ne sont que très rarement exposés à des concentrations susceptibles d'affecter leur santé. Pour lutter contre le petit ténébrion en élevage de volailles de chair, le recours aux insecticides de synthèse par les éleveurs est encore aujourd'hui presque systématique (Szczepanik et al, 2012). Cependant, après des années d'utilisation répétée d'un nombre réduit de molécules insecticides, on observe dans les élevages des phénomènes de résistances physiologique, comportementale et biochimique des ténébrions aux insecticides (Szczepanik et al, 2012). La première résistance d'*A. diaperinus* a été décrite en élevage de dindes de chair au Royaume-Uni (Cogan et Wakefield 1996). En 1999, une étude australienne a mis en évidence une perte d'efficacité du fénitrothion dû au phénomène de résistances physiologique et comportementale (Lambkin et Cameron, 1999). Plus récemment, la résistance des petits ténébrions à la cyfluthrine et aux pyréthrinoides a été montrée puisque les insectes résistaient à 79 fois la DL₅₀ (Lamkin, 2001). De plus, de par leur nature toxique sur les organismes vivants, l'utilisation d'insecticides de synthèse pose des problèmes sanitaires relatifs aux santés animale, humaine et de l'environnement. La famille d'insecticides des pyréthrinoides serait susceptible d'avoir un effet reprotoxique sur l'Homme (Hénault-Ethier, 2016).

Dans ce contexte, la recherche et le développement commercial de méthodes de lutte complémentaires voire d'alternatives à l'utilisation d'insecticides chimiques prend toute son importance afin de remplacer ou du moins réduire la dépendance des aviculteurs aux insecticides de synthèse et les quantités utilisées. Il convient cependant de s'assurer que l'utilisation de ces méthodes ne présente pas, elles aussi, des risques pour les santés animale et humaine et mais aussi d'évaluer leurs impacts sur l'environnement.

2. Le biocontrôle, une autre voie de lutte

Les méthodes de « biocontrôle » s'appuient sur des mécanismes existant dans la nature et des interactions interspécifiques (prédation, parasitisme...etc). A l'origine,

le biocontrôle a été développé en production végétales et notamment en viticulture, arboriculture et maraîchage où il a fait ses preuves malgré un développement modeste sur le terrain. Ainsi, le concept de biocontrôle a été établi sur la production végétale, comme en témoigne sa définition officielle qui en exclue la production animale. Ce concept reste néanmoins transposable aux productions animales. En avril 2019, l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, organisait une journée sur le thème « Et si on parlait de biocontrôle animal ? », preuve de l'intérêt du secteur pour ces méthodes. Le principe du biocontrôle est basé sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication. C'est-à-dire maintenir les populations de nuisibles à des seuils acceptables (au-dessous du seuil de nuisibilité). Pour être efficace, le biocontrôle, s'insère généralement dans une stratégie globale de gestion des nuisibles. Il s'agit d'associer tous les moyens de lutte disponibles (chimiques, biologiques, mécaniques ...etc), offrant ainsi de nouvelles opportunités de gestion des nuisibles, complémentaires aux insecticides de synthèse. Cette approche globale vise à réduire les phénomènes de résistances et diminuer les impacts environnementaux (Herth, 2011).

On distingue 4 principaux types d'agents de bio-contrôle (Herth, 2011) :

- **Les micro-organismes**, (aussi appelés biopesticides) regroupent les champignons, bactéries et virus entomopathogènes. Ce sont des parasites, ils infectent leurs hôtes ce qui **entraîne la mort des hôtes**.
- **Les macroorganismes**, d'un point de vue réglementaire il s'agit de « *tout autre organisme qu'un micro-organismes* » (Article 3 du RCE 1107/2009), ils regroupent les insectes, acariens et nématodes. Ces organismes **tuent les nuisibles soit par prédation soit en les parasitant**.
- **Les médiateurs chimiques** regroupent les molécules sémiochimiques. Ce sont des molécules émises dans l'environnement permettant les communications intraspécifique et interspécifique, on peut citer entre autres les kairomones et phéromones d'insectes. On distingue deux modes d'action au sein des médiateurs chimiques permettant de contrôler les populations d'insectes : premièrement, la réponse comportementale (répulsion, attraction) permettant ainsi optimiser les pièges ou de limiter la présence des insectes sur certaines zones. Et deuxièmement, la perturbation du cycle de reproduction qui conduit à la mort de l'insecte (Briand, 2009).
- **Les autres substances d'origine naturelle (ex : terre de diatomée, huiles essentielles...)** ont des effets insecticide et comportemental. Elles agissent directement par contact (cutané, respiratoire, digestif) ou indirectement en induisant chez l'insecte une réponse comportementale (répulsion, attraction...).

Au sein des moyens de biocontrôle, on peut donc distinguer deux modes d'action : Les produits à effet insecticide qui ont tué directement l'insecte ou qui *in fine* conduisent à sa mort et les produits à effet comportemental qui déclenchent une réponse du comportement chez l'insecte.

2.1. Les agents à effet insecticide

2.1.1. Les bactéries

Les bactéries entomopathogènes appartiennent surtout à trois grandes familles qui sont les *Bacillaceae*, *Enterobacteriaceae* et *Pseudomonaceae* (Greathead et al., 1994). Aujourd'hui, *Bacillus thuringiensis* (B.t) est l'espèce la plus utilisée en agriculture, horticulture et en foresterie pour lutter contre les Lépidoptères (Kouassi, 2001). En 2005, il représentait plus de 90 % du marché des bioinsecticides, (Fargues et Bourguet 2005). L'action insecticide de B.t, réside en la production de protoxines, appelées toxines Cry au moment de sa sporulation. Ces toxines agissent en détruisant les cellules de l'intestin de l'insecte atteint par ces toxines, ce qui aboutit à la mort de l'insecte, qui est ensuite consommé par la bactérie. (Kouassi, 2001). Une nouvelle souche active contre les Coléoptères a été découverte en 1988 (Sick et al, 1991). Seuls les stades larvaires sont sensibles à la bactérie. Des produits à base de *Bacillus thuringiensis* sont vendus en jardinerie contre les chenilles (larves de Lépidoptères) mais pas contre les larves de Coléoptères.

2.1.2. Les virus

Les virus entomopathogènes appartiennent à sept familles, les *Baculoviridae*, *Reoviridae*, *Poxviridae*, *Iridoviridae*, *Parvoviridae*, *Picornoviridae* et les *Rhabdoviridae* (Faulkner et Boucias, 1985; Arata et al., 1978). La surcharge virale au sein d'une cellule entraîne l'hydrolyse de celle-ci. Une fois infectés les insectes cessent de s'alimenter et meurent liquéfiés (Kouassi, 2001). Un des premiers insecticides viraux à avoir été utilisé est la carpovirusine (virus de la granulose du carpocapse) contre le carpocapse du pommier (papillon de nuit) mais des phénomènes de résistance ont été mis en évidence (Lopez, 2015). Les virus sont peu résistants dans l'environnement, ainsi ils ne semblent pas représenter la piste la plus intéressante parmi les moyens de biocontrôle. Ainsi, on ne trouve pas de biopesticides à base de virus contre le petit ténébrion dans le commerce.

2.1.3. Les champignons

On recense plus de 700 espèces de champignons pathogènes pour les insectes (Starnes et al.; 1993). Ils font partie de 4 sous-taxons : *Mastigomycotina*, *Zygomycotina*, *Ascomycotina* et *Deuteuromycotina*. Les espèces des genres *Beauveria*, *Metarhizium*, *Verticillium*, *Erynia*, *Hirsutella*, *Entomophthora* et *Entomophaga* sont les plus couramment utilisées en lutte biologique (Wraight et Roberts, 1987). Les microchampignons entomopathogènes sont des agents de lutte très

intéressants du fait de leur aptitude à infecter l'hôte par ingestion ou par simple contact rendant tous les stades, œuf, larve, adulte sensibles (Carruthers and Soper, 1987). Lorsque les spores du champignon entrent en contact avec le corps de l'insecte hôte, elles germent sur l'insecte et pénètrent à l'intérieur du corps, tuant finalement l'insecte. Puis une moisissure blanche se développe sur l'insecte mort, produisant de nouvelles spores. L'insecte contaminé véhicule le champignon lors de son déplacement jusqu'à sa mort (Kouassi, 2001). La pathogénicité des spores et la spécificité du champignon sont deux paramètres importants dans le choix de la souche fongique. *Beauveria bassiana* semble être le champignon entomopathogène le plus développé, c'est l'agent pathogène responsable de la muscardine blanche. Il a été découvert une souche de *Beauveria bassiana* spécifique aux Coléoptères (figure 2), pour autant, il ne semble pas que des biopesticides à base de *Beauveria bassiana* soient commercialisés.

2.1.4. Les protozoaires

Quatre phyla (embranchements) englobent des organismes pathogènes des insectes, les *Ciliophora*, *Sarcomastigophora*, *Apicomplexa* et *Microspora* (Dent, 1991), dont aucun n'est spécifique à *Alphitobius diaperinus*. Ce sont des parasites intra-cellulaires obligatoires qui forment des spores caractéristiques. L'infection de l'hôte se fait par ingestion des spores, celles-ci germent dans le tube digestif de l'insecte et traversent les tissus épithéliaux (Kouassi, 2011). Dans le cytoplasme, le protozoaire se multiplie en produisant d'autres spores qui vont contaminer l'insecte et peuvent par transmission verticale infecter les générations suivantes. Les protozoaires provoquent des maladies chroniques à évolution lente ou des enzooties, qui affaiblissent et affectent la croissance ou la fécondité de leur hôte plutôt que d'entraîner une mort rapide (Kouassi, 2011). Cependant l'hôte infecté devient souvent plus sensible à d'autres infections d'origines virales, bactériennes ou fongiques (Kouassi, 2011). Il n'y a pas de produit insecticide vendu sur le marché à base de protozoaires contre le petit ténébrion.

2.1.5. Les nématodes

Il existe plusieurs espèces de nématodes parasites d'insectes dont *Steinernema feltiae* et *Heterorhabditis bacteriophora*, ces deux espèces vivent en symbiose non-obligatoire avec une bactérie du genre *Xenorhabdus* (Kouassi, 2011). Ces deux espèces sont efficaces contre le petit ténébrion. Les larves de nématodes pénètrent les insectes par les orifices naturels et même par la cuticule où elles libèrent des bactéries qui tuent rapidement l'hôte. Les nématodes se reproduisent dans l'insecte puis une nouvelle génération de larves de nématodes quitte l'hôte pour la litière et réinfecte de nouveaux insectes. Tous les stades physiologiques du petit ténébrion sont sensibles aux nématodes mais les adultes y sont moins sensibles (Jeden et al, 1985). Actuellement, la société APPI,

commercialise un produit contre le petit ténébrion à base de nématodes, vendu sous le nom de Darwin® composé à 90.5% de *Steinernema* sp. Ce produit s'applique dilué sur la litière des bâtiments d'élevage à l'aide d'un pulvérisateur à main ou à tracteur.

2.1.6. Les huiles essentielles

On appelle huile essentielle un liquide concentré et hydrophobe contenant les composés odorants volatils d'une plante. Il est obtenu par distillation. Contrairement à ce que suppose leur nom, ces extraits ne sont pas forcément lipidiques. Les huiles essentielles sont des substances complexes qui contiennent une grande diversité de molécules : esters, alcools, terpènes, cétones, aldéhydes etc. mais généralement deux ou trois molécules sont majoritaires dans l'huile et représentent de 20 à 70% du liquide (Wang et al, 2014). Dans les végétaux, les huiles essentielles jouent un rôle majeur de protection contre les agresseurs phytophages, elles ne sont donc pas spécifiques. Les huiles essentielles peuvent avoir de propriétés antibactériennes, antivirales, antifongiques et insecticides (Wang et al, 2014). Les huiles essentielles peuvent avoir des effets anti-appétents, affectant ainsi la mue, la croissance, la fécondité et le développement des Arthropodes. Ce sont donc des molécules insecticides au pouvoir adulticide et larvicide. Certaines huiles essentielles agissent également sur l'octopamine (Chiasson et Beloin, 2007) qui est un neuromodulateur spécifique des Arthropodes. Cette molécule a un effet régulateur sur la ventilation, la motricité, les battements de cœur, le vol et le métabolisme des Arthropodes. En général, les huiles essentielles sont connues comme des neurotoxiques à effets aigus pour les Arthropodes (Wang et al, 2014). On trouve sur le marché, des solutions à bases d'huiles essentielles (principalement de *Chrysanthemum cinerariaefolium*) vendues contre le petit ténébrion. Ces produits d'appliquent comme des insecticides chimiques mais peuvent être utilisés en présence d'animaux, bien que la pulvérisation des volailles soit à éviter. Cependant, cette huile essentielle soulève un problème, la molécule insecticide contenu dans l'huile essentielle de *Chrysanthemum cinerariaefolium* est une pyrèthrine d'origine végétale. Par conséquent, il est possible que cette molécule soit inefficace contre les populations d'*Alphitobius diaperinus* résistantes aux pyrèthrinoides, leur homologue de synthèse.

2.1.7. La terre de diatomée

La terre de diatomée est une substance minérale (Bonnery et al, 2016). Elle est constituée de squelettes de diatomées fossilisés, les diatomées étant des algues unicellulaires du genre *Bacillariophyta*. Elles sont enveloppées par un squelette externe qui est majoritairement composé de silice (oxyde de silicium). Il existe entre 12000 et 13000 espèces nommées diatomées dont chacune a un squelette différent et qui est caractérisé par sa forme, sa taille, sa masse et sa capacité de rétention. L'efficacité insecticide

d'une terre de diatomée seront donc liées à l'espèce de diatomée principalement présente dans la carrière (Bonnery et al, 2016). La terre de diatomée peut être appliquée en traitement des bâtiments d'élevage à la main ou à l'aide d'un atomiseur, ce qui génère cependant beaucoup de poussière en suspension. La terre de diatomée tue les insectes par dessiccation. L'abrasion de la cuticule et des voies digestives de l'insecte entraîne sa mort lorsqu'il a perdu au moins 60% de sa masse hydrique ou 30% de sa masse totale (Bonnery et al, 2016). Le dioxyde de silicium que contient la terre de diatomée est très abrasif. Les insectes rentrent en contact avec la terre de diatomée lors de leurs déplacements. Actuellement, on trouve de la terre de diatomée commercialisée pour les élevages avicoles. Ces produits sont vendus comme insecticides et acaricides non spécifiques.

2.1.8. Les hormones juvéniles

Les hormones juvéniles sont des hormones qui contrôlent le développement larvaire chez les insectes. Ces hormones interviennent également chez l'adulte où elles régulent la reproduction. Elles doivent leur nom au fait qu'elles maintiennent les caractères juvéniles, en favorisant les mues larvaires et en retardant la métamorphose (Fernando et Noriega, 2014). Des molécules analogues à ces hormones ont été découvertes. Celles-ci sont issues d'extraits végétaux ou synthétisées. Les larves traitées aux hormones juvéniles continuent à muer mais meurent sous forme de larves déformées, de pupes anormales ou de formes intermédiaires larves-nymphes et nymphes-adultes (Singh, 2013). Des produits à base de molécules de synthèse analogues aux hormones juvéniles sont actuellement vendues sur le marché contre le petit ténébrion, ce sont les larvicides.

2.2. Les agents à effet comportemental

2.2.1. Les phéromones d'agrégation

Les phéromones d'agrégation sont des molécules produites par les insectes sociaux ou les insectes grégaires. Elles constituent un des moyens de communication entre les individus d'une même espèce (communication intra-spécifique) et provoquent des comportements déterministes (comme par exemple, l'attraction) (Bartelt et al, 2009). Elles sont perçues par le système olfactif de l'insecte (Jacquin-Joly, 2015). Chez les petits ténébrions, seuls les mâles produisent des hormones d'agrégation qui attirent mâles et femelles, larves et adultes. Ils produisent cinq molécules : le limonène, le β -ocimène, le linalol, le daucène et le 2-nonanone (Bartelt et al, 2009). En induisant un comportement d'attraction chez le petit ténébrion, ces phéromones sont utilisées dans des pièges pour augmenter l'efficacité de ceux-ci. Un piège contre le petit ténébrion de ce type est vendu dans le commerce sous le nom de TeneCapt®.

2.2.2. Les phéromones d'alarme

Les phéromones d'alarme sont des molécules produites par les insectes sociaux. Elles constituent un des moyens de communication entre les individus d'une même espèce (communication intra-spécifique) et provoquent la fuite des insectes de la zone d'émission de ces phéromones (Bartelt et al, 2009). Elles sont perçues par le système olfactif de l'insecte (Jacquin-Joly, 2015). Les petits ténébrions produisent trois molécules : 1,4-benzoquinone, 2-méthyl-1,4-benzoquinone et 2-éthyl-1,4-benzoquinone (Hassemer et al, 2018). En induisant un comportement de fuite chez le petit ténébrion, ces phéromones pourraient être utilisées pour limiter la présence des ténébrions sur des zones stratégiques comme les parois et éviter la migration des ténébrions dans celles-ci durant les vides sanitaires.

2.3. Cadre réglementaire

Pour favoriser leur développement, les produits de biocontrôle bénéficient de procédures accélérées d'évaluation et d'instruction des demandes d'autorisations

de mise sur le marché et de taxes réduites dans le cadre de ces procédures. Dans ce sens, ils sont également exemptés d'interdiction publicitaires commerciales.

Les microorganismes, les molécules sémiocimiques et les substances d'origine animale, végétale ou minérale peuvent avoir divers statuts selon leur formulation et leur mode d'application (biocide, médicaments d'usage vétérinaire, additifs alimentaires) et doivent se conformer aux exigences de l'Union Européenne relatives à leur statut. Pour les macroorganismes, le processus d'homologation est national. En 2012, la procédure de demande et de délivrance d'autorisations pour l'entrée sur le territoire et l'introduction dans l'environnement de macroorganismes exotiques, notamment dans le cadre du biocontrôle, a été établie par les autorités françaises. Cette procédure repose, au niveau national, sur l'évaluation du risque phytosanitaire environnemental (lié à la biodiversité) ainsi que l'efficacité et les bénéfices liés à l'utilisation du micro-organisme. Cette mission d'évaluation a été confiée à l'ANSES.

3. Evaluation des agents de biocontrôle contre le petit ténébrion

| Type d'agent de biocontrôle | | | Type d'action visée | Niveau d'efficacité | Stade cibles | Niveau de confiance | Limite d'efficacité | Références |
|-----------------------------|---------------------|--|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|--|--|
| Autres substances | Terre de diatomée | | Insecticide | ++ | adultes | Deux études de terrain | Température | Oliveira et al, 2017 Alves et al, 2007 |
| | Huiles essentielles | <i>Cunila angustifolia</i> | Insecticide | +++ | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | Développement de résistance si pas de rotation | Do Prado, 2013 |
| | | <i>thymol carvacol</i> et extraits de <i>Thymus vulgaris</i> | Insecticide | +++ | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | Développement de résistance si pas de rotation | Szczepanik et al, 2012 |
| | | <i>Citrus limonum</i> | Insecticide | +++ | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | Développement de résistance si pas de rotation | Wang et al, 2014 |
| | | <i>Litsea cubeba</i> | Insecticide | + | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | Développement de résistance si pas de rotation | Wang et al, 2014 |
| | | <i>Cinnamomum cassia</i> | Insecticide | +++ | Larves et adultes | 2 études en laboratoire | Développement de résistance si pas de rotation | Francikowski et al, 2006. Wang et al, 2014 |
| | | <i>Allium sativum</i> | Insecticide | +++ | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | Développement de résistance si pas de rotation | Wang et al, 2014 |
| | | <i>Citrus colocynthes</i> , | Insecticide | + | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | Développement de résistance si pas de rotation | Sagheer et al, 2019 |
| | | <i>Moringa oleifera</i> | Insecticide | +++ | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | Développement de résistance si pas de rotation | Sagheer et al, 2019 |

| | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------------------|---|-----------------|-----|--------------------------|---|---|---|
| | | <i>Azadirachta indica</i> | Insecticide | + | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | Développement de résistance si pas de rotation | Sagheer et al, 2019 |
| Médiateurs chimiques | Phéromones d'agrégation | limonène | comportementale | - | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | | Singh, 2009 |
| | | β-ocimène | comportementale | - | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | | Singh, 2009 |
| | | linalol | comportementale | +++ | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | | Singh, 2009 |
| | | daucène | comportementale | +++ | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | | Singh, 2009 |
| | | 2-nonanone | comportementale | +++ | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | | Singh, 2009 |
| | Hormones juvéniles | methoprene | Insecticide | +++ | Larves | 1 étude en laboratoire | | Edwards, 1985 |
| | | fenoxycarbe | Insecticide | +++ | Larves | 1 étude en laboratoire | | Edwards, 1985 |
| | Phéromones d'alarme | 4-benzoquinone, 2-méthyl-1,4-benzoquinone et 2-éthyl-1,4-benzoquinone | comportementale | ++ | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | | Cossé, 2015 |
| Bactéries | <i>Bacillus thuringiensis</i> | | Insecticide | + | Larves | 1 étude en laboratoire | Facteurs abiotiques et développement de résistance si pas de rotation | Pegorini, 2014 |
| Champignons | <i>Beauveria bassiana</i> | | Insecticide | +++ | Larves et adultes | 3 études en laboratoire. 1 étude sur le terrain | Facteurs abiotiques et développement de résistance si pas de rotation | Alves, 2015. Feijo de Souza, Daniel et al, 2018 Rezende, 2009. Rice et al, 2019 |
| | <i>Metarhizium anisopliae</i> | | Insecticide | + | Larves et adultes | 3 études en laboratoire | Facteurs abiotiques et développement de résistance si pas de rotation | Alves et al, 2006. Rezende, 2009 Rice et al, 2019 |
| | <i>Cladosporium sp</i> | | Insecticide | + | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | Facteurs abiotiques et développement de résistance si pas de rotation | Rezende, 2009 |
| Nématodes | <i>Heterorhabditis megidis</i> | | Insecticide | + | Larves, pupes et adultes | 1 étude en laboratoire | Facteurs abiotiques | Pezowicz, 2003 |
| | <i>Heterorhabditis zelandica</i> | | Insecticide | + | Larves, pupes et adultes | 1 étude en laboratoire | Facteurs abiotiques | Pezowicz, 2003 |
| | <i>Steinernema arenarium</i> | | Insecticide | + | Larves, pupes et adultes | 1 étude en laboratoire | Facteurs abiotiques | Pezowicz, 2003 |
| | <i>Steinernema feltiae</i> | | Insecticide | + | Larves, pupes et adultes | 1 étude en laboratoire 1 étude en élevage | Facteurs abiotiques | Genden et al, 1987. Pezowicz, 2003 |

| | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|-------------|----|--------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| | <i>Heterorhabditis bacteriophora</i> | Insecticide | + | Larves, pupes et adultes | 1 étude en laboratoire | Facteurs abiotiques | Pezowicz, 2003 |
| | <i>Steinernema carpocapsae</i> | Insecticide | ++ | Larves, pupes et adultes | 1 étude en laboratoire | Facteurs abiotiques | Pezowicz, 2003 |
| | <i>Steinernema affine</i> | Insecticide | + | Larves, pupes et adultes | 1 étude en laboratoire | Facteurs abiotiques | Pezowicz, 2003 |
| | <i>Heterorhabditis riobrave</i> | Insecticide | ++ | Larves, pupes et adultes | 1 étude en laboratoire | Facteurs abiotiques | Pezowicz, 2003 |
| | <i>Heterorhabditis indica</i> | Insecticide | ++ | Larves et adultes | 1 étude en laboratoire | Facteurs abiotiques | Pezowicz, 2003 |

Tableau 1 : Synthèse des agents de biocontrôle, de leur efficacité, leur niveau de confiance et leurs limites contre *A. diaperinus*

3.1. Efficacité

L'effet insecticide de nombreux agents de biocontrôle (nématodes bactéries, huiles essentielles, terre de diatomée et hormones juvéniles) a été testé. Les espèces de nématodes montrent des efficacités variables contre *Alphitobius diaperinus* aux stades larvaires, nymphal et adulte en fonction des espèces. Neuf espèces ont été testées en laboratoire et parfois en élevage (*S. feltiae*). Au regard des résultats, les espèces les plus efficaces sont *Steinernema carpocapsae*, *Heterorhabditis riobrave* et *Heterorhabditis indica* (Pezowicz, 2003). Il en est de même pour les champignons, où 3 espèces ont été testées. L'espèce la plus efficace est *Beauveria bassiana* entraînant plus de 90% de mortalité en laboratoire sur les larves et les adultes (Rice et al, 2019, Feijo de Souza Daniel et al, 2018). La bactérie *Bacillus thuringiensis* est la seule bactérie à avoir été testée et entraîne au maximum une mortalité de 50% en laboratoire (Pegorini, 2014). Neuf huiles essentielles ont été testées uniquement en laboratoire, les résultats sont également hétérogènes. Les huiles essentielles qui ont présenté l'effet insecticide le plus important sur les larves et les adultes d'*A. diaperinus* sont celles issues des espèces végétales suivantes : *Cunila angustifolia* qui a entraîné un taux de mortalité de 100% (Do Prado, 2013), *Citrus limonum* et *Allium sativum* qui ont entraîné une mortalité de 95% (Wang et al, 2014) et *Moringa oleifera* qui a entraîné une mortalité de 64% (Sagheer et al, 2019). La terre de diatomée est un moyen de biocontrôle dont le processus de recherche et développement est à un stade avancé. La terre de diatomée a été testée en élevage de volailles de chair et entraîne jusqu'à 80% de mortalité chez le petit ténébrion adulte dans ces conditions (Oliveira et al, 2017). Les facteurs de variation de son efficacité ont été identifiés. La température est un facteur majeur dans la détermination de l'efficacité insecticide de la terre de diatomée (Alves, 2007). Cela s'explique par le fonctionnement biologique des insectes et le mode d'action de la terre de diatomée. Les insectes sont des organismes ectothermes, c'est-à-

dire que leur température corporelle est dépendante de celle du milieu. Par conséquent, lorsque la température augmente, l'insecte est davantage actif, favorisant ainsi l'action abrasive de la terre de diatomée (Bonnery, 2016). Enfin, deux hormones juvéniles ont été testées en laboratoire. Celles-ci empêchent la formation d'adultes à une concentration de 0,05 ppm dans l'aliment (Edwards, 1985).

L'effet comportemental de l'ensemble des phéromones d'agrégation (limonène, β -ocimène, linalol, daucène et 2-nonanone) a été testé chez les stades larvaires et les adultes. Les résultats montrent la faible attraction vers le limonène et le linalol ce qui suggère que ceux-ci ne sont pas attractifs ou sont attractifs que dans une plage de concentrations étroites ou encore qu'en association (Singh, 2009). Seuls les trois composés β -ocimène, daucène et 2-nonanone sont nécessaires pour déclencher une réponse comportementale chez les mâles et les femelles des stades larvaires et adultes d'*Alphitobius diaperinus* (Cossé, 2015). L'effet de répulsion des composants des phéromones d'alarme (1,4-benzoquinone, 2-méthyl-1,4-benzoquinone et 2-éthyl-1,4-benzoquinone) n'a pas été testé en soi, mais leur contribution l'a été dans un système push-pull (un système d'attraction-répulsion) : lorsque, dans un bâtiment, des phéromones d'alarme sont dispersées et que des pièges contenant des phéromones d'agrégation sont installés de manière concomitante, ces derniers capturent plus de petits ténébrions que lorsque qu'ils sont installés dans un bâtiment sans application de phéromones d'alarme (Hassemer et al, 2018).

Malgré l'hétérogénéité des états d'avancement des recherches (laboratoire, terrain) ou la faiblesse du nombre d'études disponibles, les méthodes de biocontrôle semblent être prometteuses de par leur efficacité. Cependant, il existe des limites à ces méthodes. En effet, beaucoup de ces études ont été réalisées en laboratoire, il

se pose en élevage la question de l'accessibilité des agents de biocontrôle aux petits ténébrions en élevage de volailles de chair. De plus, les micro-organismes en particulier ont des spectres d'action assez étroits en termes de conditions environnementales dans lesquelles leur utilisation est optimale. Certains facteurs abiotiques (UV, température, humidité...) peuvent ainsi être limitants pour leur développement optimal, et ainsi nuire à leur efficacité (Kouassi, 2011). Cependant, pour les bactéries, il semble possible de s'affranchir de ces limites en extrayant de ces organismes vivants les molécules spécifiques ayant des effets insecticides pour la formulation de solutions insecticides pulvérisables (Park et al, 2014). De plus, il a été démontré que tout comme avec les insecticides de synthèse, l'utilisation répétée d'agent de biocontrôle entraîne l'apparition de résistance (Siegwart, 2016). Par conséquent, il est légitime de se poser la question de la durabilité de l'efficacité des agents de biocontrôle (Siegwart, 2016).

Ces données permettent de mettre également en évidence, l'hétérogénéité des états d'avancement des recherches sur ces alternatives. Un grand nombre de ces alternatives en sont au stade d'essais en laboratoire. Ces résultats nécessitent donc d'être corroborés par une phase d'essais en élevage.

3.2. Risques sanitaires et environnementaux

Les micro-organismes et les médiateurs chimiques utilisables dans la lutte contre le petit ténébrion sont spécifiques aux Arthropodes ou aux insectes. Par conséquent, ceux-ci sont inoffensifs pour les vertébrés, ils ne présentent pas de risques pour les santé animale et humaine. Cependant, leur diffusion dans les milieux naturels et notamment s'ils sont exotiques, pourrait représenter un risque écologique en impactant nos écosystèmes et nos cultures (Kouassi, 2011).

A contrario, la terre de diatomée ne présente pas de risque pour l'environnement mais elle peut être à risque pour la santé humaine puisqu'il a été démontré que la silice cristalline inhalée était cancérogène (Bonnery, 2016). De plus, les particules de terre de diatomée restent en suspension dans l'air pendant de nombreuses heures après le traitement. Quant aux huiles essentielles, celles-ci sont également peu toxiques pour les animaux endothermes, cependant l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire souligne le manque de connaissances et l'hétérogénéité de la bibliographie ne permettant pas d'affirmer l'innocuité sur la santé humaine des huiles essentielles (ANSES).

Les moyens de lutte complémentaires aux insecticides de synthèse pour lutter contre le petit ténébrion en élevage de chair sont nombreux. Les recherches sont souvent à l'état de tests en laboratoire, bien qu'on trouve déjà sur le marché des produits de biocontrôle. L'intérêt des moyens de biocontrôle dans la lutte contre le petit ténébrion a été démontré. Cependant, il reste souvent à évaluer leur efficacité et leur durabilité sur le terrain. Aussi pour les huiles essentielles, il demeure nécessaire de prouver leur innocuité sur les santé humaine et animale ainsi que pour l'environnement. De plus, bien que prometteuses ces méthodes complémentaires ne sont pas miraculeuses et ne permettront pas à elles seules de résoudre le problème des petits ténébrions en élevage avicole. Elles doivent donc s'intégrer dans une démarche globale de lutte (figure 3). C'est-à-dire en combinaison. La lutte chimique n'est pas à exclure de ces associations. Ces méthodes de lutte doivent être également associées à des facteurs structurels du bâtiment et des pratiques d'élevage qui permettent de réduire les pullulations de petits ténébrions (Rousset, 2018).

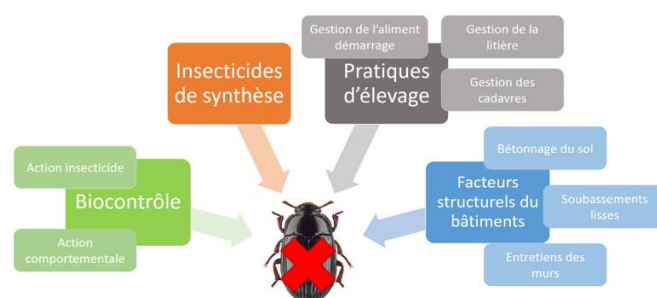


Figure 3 Insérer la lutte contre le petit ténébrion dans une démarche globale pour une efficacité durable

Remerciements

Ce projet a été conduit dans le cadre collaboratif de l'UMT SANIVOL impliquant l'ANSES et l'ITAVI et du projet CAS DAR TENEBLIMIT.

4. Conclusion

Références bibliographiques

- Alves, et al. 2008. « Fatores que afetam a eficiência da Terra de Diatomácea no controle de adultos de *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) ». Lab. de Zoologia de Invertebrados, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Univ. Estadual do Oeste do Paraná
- Alves. 2017. « Field Assessments to Control the Lesser Mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) Using Diatomaceous Earth in Poultry Houses ». *Veterinary Entomology*
- Alves, 2015. "Beauveria bassiana applied to broiler chicken houses as biocontrol of *Alphitobius diaperinus*, an avian pathogens vector" *Brazilian Journal of Poultry Science*
- Bartelt, ZilkowskiAllard, Dayton, Steelman, Singh. 2009. « Male-Produced Aggregation Pheromone of the Lesser Mealworm Beetle, *Alphitobius diaperinus* ». *Journal of Chemical Ecology*
- Briand. 2009 « Les phéromones sexuelles: utilisées comme moyen de lutte, évaluation de leur efficacité et mesure de leur impact physiologique sur les vers de la grappe ». Thèse. Université de Neuchâtel
- Bonnery, Crépon, Bareil, Moreau. 2016. « Terre de diatomée au stockage: Quelle efficacité ? Comment utiliser? ». Arvalis – Institut du Végétal
- Calibeo. 2002. « Role and mitigation of two vectors of turkey coronavirus, *Musca domestica* L. and *Alphitobius diaperinus* (Panzer) ». Thesis, North Carolina State University.
- Chernaki-Leffer et al, 2002. "Isolation of enteric and litter organisms from *Alphitobius diaperinus* in brooder chickens houses in west of Parana State, Brazil" *Brazilian Journal of Poultry Science*
- Chiasson et Beloin, "Les huiles essentielles, des biopesticides « nouveau genre »". *Bulletin de la Société d'entomologie du Québec. Antennae*, vol. 14, no 1
- Cogan, Wakefield. « A comparison of four residual insecticides for the control of the lesser mealworm beetle (*Alphitobius diaperinus* Panzer) in turkey broiler houses in the UK ». Central Science Laboratory, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food
- Cossé, Zilkowski, 2015. "Behavioral Responses of Lesser Mealworm Beetles, *Alphitobius diaperinus*, (Coleoptera: Tenebrionidae) to Pheromone Components Using a Wind Tunnel Dual Choice Walking Bioassay" *Journal of Insect Behavior* march 2015, Volume 28, Issue 2, pages 202–210
- De Las Casas, Harein, Pomeroy. 1972. « Bacteria and Fungi within the Lesser Mealworm Collected from Poultry Brooder Houses ». *Environmental Entomology*, Volume 1, Issue 1, 1 February 1972, Pages 27–30
- Do Prado et al, 2013 "Alphitobius diaperinus (Coleoptera: Tenebrionidae) Susceptibility to *Cunila angustifolia* Essential Oil" *Journal of Medical Entomology*, Volume 50, Issue 5, 1 September 2013, Pages 1040–1045
- Dunford and Kaufman. 2006 « Lesser Mealworm, Litter Beetle, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae) » Department of Entomology and Nematology, University of Florida
- Edwards. 1985. « Laboratory evaluation of two insect juvenile hormone analogues against *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) ». *Journal of Stored Products Research*
- Elowni, Elbihari. 1979. « Natural and experimental infection of the beetle, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) with *Choanotaenia infundibulum* and other chicken tapeworms ». *Veterinary Science Communications*
- Faulkner et Boucias. 1985. « Genetic improvement of insect pathogens: emphasis on the use of baculoviruses ». *Biological Control in Agricultural*.
- Falomo. 1986. « The Pheromone Biology of the Lesser Mealworm ». Thesis, University of Wisconsin-Madison.
- Francikowski et al, 2019 « Commercially Available Essential Oil Formulas as Repellents Against the Stored-Product Pest *Alphitobius diaperinus* » *Improving Stored Product Insect Pest Management*
- Fargues, Bourguet. 2005. « La lutte microbiologique contre les insectes ravageurs des cultures : contraintes, bilan et perspectives ». *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture*
- Feijo de Souza Daniel et al. 2019. "Susceptibility of *Alphitobius diaperinus* to *Beauveria bassiana* extracts", Department of Chemistry, Federal Technological University of Parana, Londrina, Parana, Brazil
- Gazoni et al, 2011. « Avaliação da resistência do cascudinho (*alphitobius diaperinus*) (panzer) (coleoptera: tenebrionidae) a diferentes temperatura » *Universidade Federal de Santa Maria*
- Geden, Arends, Axtell. 1987. « Field trials of *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) for control of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) in commercial broiler and turkey houses ». *Journal of Economic Entomology*.

Références bibliographiques (suite)

- Genden et al, 1988 « Effect of Temperature on Nematode (Steinernema feltiae [Nematoda: Steinernematidae]) Treatment of Soil for Control of Lesser Mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) in Turkey Houses » Journal of Economic Entomology, Volume 81, Issue 3, 1 June 1988, Pages 800–803
- Geden et al, 1987 « Field Trials of Steinernema feltiae for Control of Alphitobius diaperinus in Commercial Broiler and Turkey Houses » Journal of Economic Entomology, Volume 80, Issue 1, 1 February 1987, Pages 136–141
- Geden et al, 1998 « Laboratory Evaluation of Beauveria bassiana against the Lesser Mealworm, Alphitobius diaperinus, in Poultry Litter, Soil, and a Pupal Trap » Biological control, pages 77-78
- Gindin. 2009. « Entomopathogenic fungi as a potential control agent against the lesser mealworm, Alphitobius diaperinus in broiler houses ». Biocontrol.
- Goodwin Waltman. 1996. « Transmission of Eimeria, Viruses, and Bacteria to Chicks: Darkling Beetles (Alphitobius diaperinus) as Vectors of Pathogens ». The Journal of Applied Poultry Research, Volume 5, Issue 1, Spring 1996, Pages 51–55
- Greathead. 1994. « Parasitoids in classical biological control » Insect parasitoids. 13th Symposium of the Royal Entomological Society of London
- Hassemer et al, 2018. « Development of pull and push–pull systems for management of lesser mealworm, Alphitobius diaperinus, in poultry houses using alarm and aggregation pheromones » Pest Management Science.
- Herth, 2011. « Le bio-contrôle pour la protection des cultures » Rapport au Premier ministre François Fillon
- Huber et al, 2005. « L'implication du petit ténébrion (alphitobius diaperinus) dans la transmission d'agents pathogènes » Bulletin des GTV, 2005, 31, pp.17-21
- Kouassi. 2001. « Les possibilités de la lutte microbiologique. Emphase sur le champignon entomopathogène B. bassiana
- Lambkin TA. 2001. « Investigations into the management of the darkling beetle ». Rural Industries Research and Development Corporation, Kingston
- Lambkin TA. 2005. Baseline responses of adult Alphitobius diaperinus (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) to fenitrothion, and susceptibility status of populations in Queensland and New South Wales, Australia. Journal of Economic Entomology
- Lopez. 2015. « RESISTANCE DU CARPOCAPSE AU VIRUS DE LA GRANULOSE : quelques explications et leurs conséquences en Agriculture Biologique. » Ecole des Mines et INRA
- Oliveira et al, 2017. «Field Assessments to Control the Lesser Mealworm Using Diatomaceous Earth in Poultry Houses ». Journal of Economic Entomology, Volume 110, Issue 6, December 2017, Pages 2716–2723
- Pegorini, 2016. «Essential Oil Association of Eugenia uniflora and Bacillus thuringiensis to control Alphitobius diaperinus ». Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Pezowicz, 2003. «Effects of Steinernematidae and Heterorhabditidae on the lesser mealworm ». Insect Pathogens and Insect Parasitic Nematodes IOBC wprs Bulletin 26 (1), 2003 pp. 193-195
- Rice et al, 2019. « Development of mycoinsecticide formulations with Beauveria bassiana and Metarhizium anisopliae for the control of lesser mealworm, Alphitobius diaperinus, in chicken broiler houses » International Organization for Biological Control
- Rousset et al. 2018. « Mieux comprendre les causes des pullulations de petits ténébrions en élevage de volailles de chair, pour réduire l'utilisation des insecticides de synthèse ». ITAVI
- Rezende, 2009 ; « Control of the Alphitobius diaperinus (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) with entomopathogenic fungi » Brazilian Journal of Poultry Science
- Sagheer et al. 2019 « Fumigant bioactivity of extracts of Citrus colocynthes, Moringa oleifera and Azadirachta indica against Tribolium castaneum and Alphitobius diaperinus under laboratory conditions » Department of Entomology, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
- Salin. 2003. « Controlling the Mealworm Alphitobius diaperinus in Broiler and Turkey Houses: Field Trials with a Combined Insecticide Treatment: Insect Growth Regulator and Pyrethroid ». Journal of Economic Entomology, Volume 96, Issue 1, 1 February 2003, Pages 126–130
- Santoro et al, 2008 «Selection of Beauveria bassiana isolates to control Alphitobius diaperinus». Journal of Invertebrate Pathology volume 97, Issue 2, February 2008, Pages 83-90

Références bibliographiques (suite)

- Seinkraus et al, 1991. « Susceptibility of Lesser Mealworm to *Beauveria bassiana* : Effects of Host Stage, Substrate, Formulation, and Host Passage » *Journal of Medical Entomology*, Volume 28, Issue 3, 1 May 1991, Pages 314–321
- Schroeckenstein. 1988. « Occupational sensitivity to *Alphitobius diaperinus* » *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, Volume 82, Issue 6, December 1988, Pages 1081-1088
- Sick et al. 1991. « *Bacillus thuringiensis* gene encoding a coleopteran-active toxin ». Mycogen corporation
- Siegwart. 2016. « Quelles stratégies pour la durabilité des méthodes de biocontrôle ? ». INRA
- Singh. 2013 « Baseline Responses of *Alphitobius diaperinus* to Insect Growth Regulators » *Journal of agricultural and urban entomology*
- Szczepanik. 2012 « Temperature effects on the efficacy of nematodes against the lesser mealworm *Alphitobius diaperinus* » *Polskie Pismo Entomologiczne*
- Tschinkel. 1975. « A comparative study of the chemical defensive system of tenebrionid beetles: chemistry of the secretions ». *Journal of Insect Physiology*.
- Xuegui, 2001; « Fumigant, contact, and repellent activities of essential oils against the darkling beetle, *Alphitobius diaperinus* » Sichuan Agricultural University, Biorational Pesticide Research Lab. *Journal of Insect Science*
- Watson, Guy, Stringham. 2000. « Limited transmission of turkey coronavirus (TCV) in young turkeys by adult darkling beetles, *Alphitobius diaperinus* Panzer (Tenebrionidae) ». *Journal of Medical Entomology*
- Wang et al, 2014. « Fumigant, contact, and repellent activities of essential oils against the darkling beetle, *Alphitobius diaperinus* » *Journal of insect*

Lesser mealworm: what alternatives to synthetic insecticides?

The lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) is a major pest of poultry farms. It is responsible for economic, health and ecological nuisances. For many years, the control of the lesser mealworm has been based exclusively on the use of a few families of chemical insecticides that favor the development of behavioral, physiological and biochemical resistance in populations of lesser mealworm. Faced with these problems and the desire to reduce the use and dependence of poultry farmers on chemical pesticides, alternatives emerge. These are about natural mechanisms and interactions, known as biocontrol. The effectiveness of these alternatives has been tested in laboratory tests. Some of them seem to be promising, this is the case of the fungus *Beauveria bassiana*. However, these alternatives are complex to use and the use of only one of them will not be able to resolve the problem of the lesser mealworm. These methods must be combined and considered globally in an integrated control plan that also includes building modifications and rearing practices. Some biocontrol products are already available on the market, but their sustainability and safety for animal health and the environment remain to be assessed.