

Recherche et développement de biopesticides et pesticides naturels à faible toxicité pour les organismes non ciblés et respectueux de l'environnement –

Rapport final – Volet Entomologie

Projet PARDE # 3333.52.02.01

Présenté au

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP)

Exécuté par

**Université Laval
Sophie Rochefort, agr. M.Sc.
Renée Lalancette, agr. M.Sc.
Roselyne Labbé, biol., M.Sc.
Jacques Brodeur, Ph.D.**

Mise en page par

**Horti-Protection inc.
Johanne Caron**

2006

LES CONCLUSIONS ET OPINIONS FORMULÉES DANS CE RAPPORT SONT CELLES DES CHERCHEURS ET CHERCHEURES IMPLIQUÉS. ELLES NE CONSTITUENT EN RIEN UNE PRISE DE POSITION DU MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC

Table des matières

LISTE DES INTERVENANTS.....	8
LA PROBLÉMATIQUE	10
LE MARCHÉ DES BIOPESTICIDES.....	11
OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	11
PHASE 1 – R&D EN LABORATOIRE ET MISE À L’ÉCHELLE.....	13
ÉTAPE 1 – SÉLECTION DES BIOPESTICIDES.....	13
ACTIVITÉ 1 - REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES BIOINSECTICIDES.....	13
DÉFINITION.....	13
AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	13
HISTORIQUE ET DIVERSITÉ DES PRODUITS.....	14
LES BIOINSECTICIDES	14
LES INSECTICIDES D’ORIGINE BOTANIQUE.....	15
ÉTAT DE LA SITUATION AU CANADA.....	16
RECHERCHE, DÉVELOPPEMENT	16
CANDIDATS PROMETTEURS	16
FACIN (EXTRAITS DE PLANTES)	17
<i>Introduction.....</i>	<i>17</i>
<i>Description du produit.....</i>	<i>17</i>
<i>Mode d’action et principe actif.....</i>	<i>18</i>
<i>Spectre d’activité.....</i>	<i>18</i>
<i>Compatibilité.....</i>	<i>18</i>
<i>Tests d’efficacité en laboratoire et/ou en serre</i>	<i>18</i>
<i>Marché et Production.....</i>	<i>21</i>
<i>Références FACIN.....</i>	<i>21</i>
LIMAX	22
<i>Introduction.....</i>	<i>22</i>
<i>Description du produit.....</i>	<i>23</i>
<i>Mode d’action et principe actif.....</i>	<i>25</i>
<i>Spectre d’activité.....</i>	<i>25</i>
<i>Compatibilité.....</i>	<i>25</i>
<i>Tests d’efficacité au champ</i>	<i>25</i>
<i>Marché et Production.....</i>	<i>26</i>
<i>Conclusions et potentiels de LIMAX.....</i>	<i>28</i>
<i>Références LIMAX.....</i>	<i>29</i>
BOTANIGARD®.....	31
<i>Description du produit.....</i>	<i>31</i>
<i>Mode d’action et Principe actif.....</i>	<i>31</i>
<i>Spectre d’activité.....</i>	<i>31</i>
<i>Compatibilité.....</i>	<i>31</i>
<i>Tests d’Efficacité en serre</i>	<i>32</i>
<i>Marché et Production.....</i>	<i>33</i>
<i>Références Botanigard®</i>	<i>34</i>
SPINOSAD®	36
<i>Description du produit.....</i>	<i>36</i>
<i>Mode d’action et Principe actif.....</i>	<i>36</i>
<i>Spectre d’activité.....</i>	<i>37</i>
<i>Compatibilité.....</i>	<i>38</i>
<i>Tests d’efficacité.....</i>	<i>39</i>

<i>Marché et production</i>	39
<i>Références Spinosad®</i>	41
CONCLUSIONS	43
RÉFÉRENCES GÉNÉRALES	44
PHASES 2 ET 3. ESSAIS SUR LE TERRAIN	47
<i>Étape 1. Bioinsecticides</i>	47
Activité 1. FACIN	47
Évaluer en conditions naturelles les effets d'un traitement FACIN sur l'abondance des lombriciens.....	47
Évaluer en conditions naturelles les effets d'un traitement FACIN sur l'abondance et la diversité des carabes	51
Activité 2. Bioprotec, Limax	53
Activité 3. SPINOSAD et autres produits	53
Élevage des punaises velues.....	54
Activité 4. BOTANIGARD et autres produits.....	58
RÉSULTATS ET DISCUSSION	59
PHASE 2. ESSAIS SUR LE TERRAIN	59
<i>Étape 1. Bioinsecticides</i>	59
Activité 1. FACIN	59
Évaluer en conditions naturelles les effets d'un traitement FACIN sur l'abondance des lombriciens.....	59
Évaluer en conditions naturelles les effets d'un traitement FACIN sur l'abondance et la diversité des carabes	61
Conclusion FACIN.....	61
Activité 2. SPINOSAD et autres produits	61
Conclusion SPINOSAD et autres produits.....	65
Activité 3. BOTANIGARD et autres produits.....	65
BIENS LIVRABLES ET PERSPECTIVE	66
CONCLUSION	66

Liste des figures

<i>Figure 1.</i> Dispositif expérimental du site de l'Université Laval.	50
<i>Figure 2.</i> Dispositif expérimental du site du Domaine Cataraqui.	51
<i>Figure 3.</i> Dispositif expérimental du site de Beauport.....	52
<i>Figure 4.</i> Pots avec sorgho pour l'élevage des punaises	54
<i>Figure 5.</i> Sorgho 'Sudan'	53
<i>Figure 6.</i> Chambre de croissance	54
<i>Figure 7.</i> Contenant utilisé pour les tests avec la punaise velue	57
<i>Figure 8.</i> Pourcentage de mortalité de la punaise velue après des traitements au savon à vaisselle, au diazinon et à l'eau.....	62
<i>Figure 9.</i> Pourcentage de mortalité de la punaise velue après des traitements au TROUNCE, au diazinon et à l'eau	63
<i>Figure 10.</i> Pourcentage de mortalité de la punaise velue après des traitements au CONSERVE, au diazinon et à l'eau	64

Liste des tableaux

Tableau 1. Mortalité (%) des adultes du tétranyque à deux points, du puceron vert du pêcher, du thrips western de la fleur et du tétranyque rouge Européen lorsque traités avec différentes concentrations du concentré émulsifiable et comparé aux pesticides naturels, bio-essais en laboratoire.	19
Tableau 2. Principaux avantages de l'acaricide/insecticide FACIN lorsque comparé aux pesticides chimiques et biopesticides.....	20
Tableau 3. Détermination de la matière active de qualité technique (MAQT) (AEF, 2001)	24
Tableau 4. Propriétés de la préparation commerciale LIMAX	25
Tableau 5. Taux d'application de LIMAX sur les cultures de crucifères et de fraises (AEF, 2003a).....	26
Tableau 6. Agents antagonistes à la limace grise (<i>Deroceras reticulatum</i> (<i>Agriolimax reticulatum</i> ; Müller, 1774) en développement dans le monde (D'après Högger, 2001)	27
Tableau 7. Propriétés de la préparation commerciale Spinosad (Dow AgroSciences, 2003a et b).....	36
Tableau 8. La dégradation de Spinosad dans l'environnement.....	37
Tableau 9. Utilisation de Spinosad dans différentes cultures (Dow AgroSciences 2003a; 2003b).	37
Tableau 10. Risques pour les organismes non ciblés (ARLA, 2001).....	39
Tableau 11. Utilisation du Spinosad sur différentes cultures à travers le monde.....	40
Tableau 12. Description des dates d'application des traitements et des dates d'échantillonnages des lombriciens	48
Tableau 13. Description des traitements appliqués sur les parcelles du site de l'Université Laval	48
Tableau 14. Description des traitements appliqués sur les parcelles du site du Domaine Cataraqui	49
Tableau 15. Traitements appliqués sur les parcelles de Beauport.....	52
Tableau 16. Description des traitements réalisés en janvier 2004	55
Tableau 17. Description des traitements réalisés en février 2004.....	55
Tableau 18. Description des traitements réalisés en mai 2004.....	57
Tableau 19. Nombre et masse fraîche des lombriciens en fonction des différents traitements sur le site de l'Université Laval à l'été 2004	59
Tableau 20. Nombre et masse fraîche des lombriciens en fonction des différents traitements sur le site de l'Université Laval à l'automne 2004.....	59
Tableau 21. Nombre et masse fraîche des lombriciens en fonction des différents traitements sur le site du domaine Cataraqui.....	60
Tableau 22. Nombre total de carabes en fonction des traitements sur le site de Beauport	61
Tableau 23. Pourcentage moyen de mortalité de la punaise velue - 48 heures après les traitements	64

Liste des annexes

Annexe 1 - FACIN	68
Annexe 2. – SPINOSAD ET AUTRES PRODUITS	78

LISTE DES INTERVENANTS

Requérant : Le Réseau Biocontrôle
Université de Montréal
2900, boul. Édouard-Montpetit
Montréal, Québec H3J 1J4

Conseiller scientifique : **M. Jacques Brodeur, Ph.D., entomologiste**
Département de phytologie - FSAA
Université Laval, Québec, Qc G1K 7P4
Téléphone : 418-656-2518
Télécopieur: 418-656-7856
Courriel : jacques.brodeur@plg.ulaval.ca

Exécutants :

Mme Renée Lalancette, Agr. M.Sc.
Centre de Recherche en Horticulture
Université Laval, Québec, Qc G1K 7P4
Téléphone : 418-656-2131 poste 11220
Télécopieur: 418-656-7856
Courriel : renee.lalancette@crh.ulaval.ca

Mme Sophie Rochefort, M.Sc.
Centre de Recherche en Horticulture
Université Laval, Québec, Qc G1K 7P4
Téléphone : 418-656-2131
Télécopieur: 418-656-7856
Courriel : sophie.rochefort@crh.ulaval.ca

Mme Roselyne Labbé, biol., M.Sc.
Centre de Recherche en Horticulture
Université Laval, Québec, Qc G1K 7P4
Téléphone : 418-656-2131
Télécopieur: 418-656-7856
Courriel : roselyne.labbe@crh.ulaval.ca

Partenaires :

Chaires de recherche du Canada
M. Richard Bélanger, Ph.D.
Département de phytologie - FSAA
Université Laval, Québec G1K 7P4
Téléphone : 418-656-2758
Télécopieur: 418-656-7856
Courriel : richard.belanger@plg.ulaval.ca

Réseau québécois de recherche en phytoprotection (VRQ)

Département de phytologie - FSAA

Environnement, local 1217

Université Laval, Québec G1K 7P4

Téléphone : 418-656-2131 poste 12768

Télécopieur: 418-656-3515

Site Web : www.phytoprotection.org (www.phytoprotection.org)

AEF Global inc.

M. Yannick Bidon, Ing. F., Ph.D.

201, rue Mgr Bourget

Lévis, Québec G6V 9V6

Téléphone : 418-838-4441 poste #4

Télécopieur: 418-835-2112

Courriel : aefglobal-qc@qc.aira.com

Web : www.aefglobal.com

Codena inc.

Mme Hélène Chiasson, Ph.D.

426, Chemin des Patriotes

Saint-Charles-sur-Richelieu, Québec J0H 2G0

Téléphone : 450-584-2207

Télécopieur: 450-584-2523

Web : www.codena.ca

LA PROBLÉMATIQUE

La récente publication du Rapport Cousineau sur l'utilisation des pesticides en milieu urbain dresse un bilan fort éloquent de la problématique inhérente à l'utilisation des produits de synthèse à des fins phytosanitaires. Alors que les conclusions du rapport décrivent sans équivoque la perception négative de la population québécoise à l'égard des pesticides, ces mêmes conclusions relatent de façon tout aussi péremptoire le manque d'alternatives propres à diminuer la dépendance du secteur agricole envers les pesticides. Ces alternatives, que l'on peut définir ici sous le vocable générique de biopesticides, tardent à s'implanter sur le marché et demeurent en grande partie des solutions de rechange souhaitées plutôt que réelles (van Lenteren, 2000).

Plusieurs facteurs expliquent la disparité qui persiste entre le désaveu des pesticides chimiques et l'accessibilité à des produits plus respectueux de l'environnement au Canada. De façon plus particulière mais non-exhaustive, les raisons suivantes sont les plus souvent évoquées :

1. La production commerciale des biopesticides
2. La formulation des biopesticides
3. L'efficacité des biopesticides
4. Le financement de la recherche sur les biopesticides
5. L'homologation des biopesticides auprès de l'agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA)

Au Canada, la problématique actuelle réside à la fois dans la découverte de nouveaux agents de lutte biologique, mais également dans le développement et la mise en marché de produits ou organismes pour lesquels la recherche scientifique a déjà fait état du potentiel prometteur. Le marché des biopesticides est en croissance à l'échelle de la planète. À titre d'exemple, voir la liste des biopesticides naturels et à base de micro-organismes des produits homologués aux États-Unis par l'Environmental Protection Agency (EPA), l'homologue américain de l'ARLA (http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/ai/all_ais.htm), ou celle de l'ARLA (<http://www.pmra-arla.gc.ca/français/pdf/rr/rr2005-02-f.pdf>). Cette situation indique que le Québec pourrait se doter assez rapidement d'un plus grand nombre d'outils de lutte biologique efficaces dans la mesure où quelques-uns des produits homologués aux États-Unis devenaient disponibles au Canada sur la base d'une autorisation par l'ARLA.

Hormis le fait que la définition de ce qu'est un biopesticide diffère entre l'EPA et l'ARLA, on peut se questionner à juste titre sur les raisons de l'inéquation du développement du marché des biopesticides aux États-Unis par rapport à la stagnation apparente du même marché au Canada. Une compréhension de la réglementation offre les premiers éléments de réponse. Contrairement à l'ARLA, l'EPA (sauf pour la Californie qui a son propre système d'évaluation) n'exige pas de tests d'efficacité dans son processus de révision. On peut ainsi homologuer un biopesticide sur la base unique de son innocuité pour la santé humaine et l'environnement sans faire la preuve de son efficacité sous les différentes conditions pour lesquelles le produit pourrait être appelé à être utilisé. Au contraire, l'ARLA requiert que l'on fasse la démonstration du potentiel pesticide du produit et ce, sur plusieurs saisons et pour toutes les régions géographiques particulières du Canada. Cette exigence entraîne des coûts additionnels énormes pour les compagnies, coûts qui bien souvent ne justifient pas l'espérance du marché. Par contre, ces mêmes compagnies expriment spontanément leur intérêt à créer des alliances stratégiques avec des chercheurs canadiens dans le but d'obtenir les données d'efficacité nécessaires à l'homologation de leurs produits. De même, plusieurs chercheurs et compagnies au Québec ont découvert et développé des micro-organismes et des produits naturels pouvant servir de biopesticides, mais se trouvent confrontés aux exigences longues et onéreuses imposées par l'ARLA. Dans ce contexte, leurs efforts pourraient être facilités par une participation à

regroupement des forces actives dans la recherche et le développement des biopesticides au Québec, objectif spécifique que ce projet cherche à réaliser.

LE MARCHÉ DES BIOPESTICIDES

Considérant toutes les raisons invoquées précédemment, il est clair que le marché des biopesticides est à l'état embryonnaire; la proportion des biopesticides vendus versus les pesticides chimiques n'atteint que 0.25% (van Lenteren, 2000). Conséquemment, le marché est encore fragile et non-épruvé. Il devient donc important de le stimuler et de l'alimenter à l'aide de données scientifiques rigoureuses propres à favoriser la confiance des utilisateurs éventuels et de l'ARLA. Incidemment, plusieurs projets de recherche ou produits en développement ont été abandonnés au fil des ans parce que les promoteurs avaient mal établi l'ampleur du marché dans leur plan d'affaires (Cross et Polonenko, 1996). L'erreur la plus commune réside dans une surévaluation du marché et du potentiel d'utilisation (van Lenteren, 2000). Il est important de se rappeler que la plupart des biopesticides sont composés d'organismes vivants qui ont un spectre relativement restreint de ravageurs cibles ainsi que de température et d'humidité relative à l'intérieur duquel ils agissent de façon optimale. Pour cette raison, il est utopique d'envisager qu'un biopesticide donné sera efficace dans toutes les conditions, contre tous les ravageurs, sur toutes les cultures et pour tous les systèmes agricoles. Dans un récent article de synthèse publié dans la prestigieuse revue *Annual Review of Phytopathology*, Paulitz et Bélanger (2001) décrivent la démarche inhérente à accroître les chances de succès de la mise en marché d'un biopesticide. Se référant au succès de la lutte biologique contre les insectes en serre, les auteurs concluent que dans une première approche, les produits devraient être utilisés dans les conditions où les chances de succès sont optimales i.e. dans un environnement propice tel les productions serricoles. Cette recommandation est particulièrement judicieuse dans la mesure où il est important de rapporter des cas de succès et d'efficacité si on veut que les biopesticides soient acceptés par les producteurs. À titre d'exemple, certains produits comme AQ-10® (Ecogen Inc.) ayant démontré un excellent niveau de succès en serre ont échoué dans le cadre d'applications au champ ce qui a eu pour résultat de miner la crédibilité du produit à tous les niveaux. C'est pourquoi dans le cadre de ce projet, les demandeurs veulent 1) identifier les meilleurs candidats et 2) les meilleures conditions d'application afin de favoriser une approche qui optimisera l'efficacité des biopesticides testés et d'assurer leur transition rapide sur le marché.

OBJECTIFS DE RECHERCHE

L'objectif général du présent projet est de réaliser les étapes requises de recherche et développement devant mener à la mise en marché des biopesticides les plus prometteurs pour les systèmes agricoles du Québec. Les objectifs spécifiques suivants seront abordés:

1. Sélectionner huit biopesticides (microorganismes ou produits naturels) les plus susceptibles d'être commercialisés au Québec dans un échéancier de trois ans. Par susceptible on entend les produits qui sont soit déjà homologués aux États-Unis et au Canada ou en voie de le devenir, ainsi que les produits développés au Québec qui ont déjà des acquis de succès potentiel.
2. Sélectionner les systèmes agricoles les plus adaptés pour l'utilisation des biopesticides retenus en 1). Par système agricole, on entend soit une culture particulière ou un système cultural particulier avec un ou des agents pathogènes ou ravageurs spécifiques.
3. Faire les études de laboratoire nécessaires pour compléter certaines exigences d'homologation des produits sélectionnés en 1). Ces études porteront le cas échéant sur : 1) la mise à l'échelle de la production massive du produit; 2) la formulation du produit; 3) la compréhension du mode d'action du produit; 4) la compatibilité du produit envers les produits conventionnels phytosanitaires utilisés dans les systèmes agricoles retenus pour les essais.

4. Obtenir les permis de recherche nécessaires auprès de l'ARLA pour la réalisation des études sur le terrain avec les biopesticides choisis.
5. Réaliser des tests d'efficacité des biopesticides sur au moins deux saisons selon les normes établies par l'ARLA dans les systèmes agricoles retenus en 2).
6. Comparer l'efficacité des biopesticides avec les systèmes conventionnels (pesticides) ainsi qu'entre les biopesticides sélectionnés s'attaquant au même problème phytosanitaire.
7. Déterminer les rendements des cultures sélectionnés en 2) sous traitement biopesticides versus pesticide chimiques.

PHASE 1 – R&D EN LABORATOIRE ET MISE À L'ÉCHELLE

ÉTAPE 1 – SÉLECTION DES BIOPESTICIDES

ACTIVITÉ 1 - REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES BIOINSECTICIDES

DÉFINITION

Les bioinsecticides peuvent se définir au sens large comme des pesticides d'origine biologique, c'est-à-dire, organismes vivants ou substances d'origine naturelle synthétisée par ces derniers, et plus généralement tout produit de protection des plantes qui n'est pas issu de la chimie. Sous ce vocable, les biopesticides comprennent les agents de contrôle des insectes (auxiliaires) comme les arthropodes entomophages (ex. trichogrammes), les champignons hyphomycètes pathogènes pour les lépidoptères ou coléoptères (ex. *Beauveria*), les baculovirus responsables des polyédroses nucléaires (NPV) ou des granuloses (GV) chez les lépidoptères, les bactéries (*Bacillus*), etc... , les insecticides d'origine végétale et les molécules de synthèse biologique (phéromones, molécules allélochimiques). Par contre la majorité des entomologistes exclut systématiquement ces derniers.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

L'utilisation de biopesticides en agriculture comporte des avantages et des inconvénients. Voici une liste non exhaustive des bienfaits d'une telle lutte et les inconvénients qui s'y rattachent.

Avantages

- ↳ Restreindre ou éliminer l'utilisation d'insecticides chimiques
- ↳ Moins toxique que les pesticides chimiques
- ↳ Favoriser lors d'une utilisation en serre (culture serricole de haute valeur économique)
- ↳ Diminuer les risques de développer de la résistance
- ↳ Favoriser par le nombre restreint d'insecticides homologués en serre
- ↳ Plus grande spécificité d'action
- ↳ Améliorer la qualité de vie des travailleurs agricoles
- ↳ Prévoir aucun délai avant la récolte
- ↳ Offrir aux consommateurs des produits sains
- ↳ Avoir une meilleure presse auprès des consommateurs
- ↳ Dégradation rapide des biopesticides, diminuant les risques de pollution
- ↳ Maintenir la biodiversité des biotopes.

Inconvénients

- ↳ Lutte souvent faite en prévention et moins efficace lorsque curative
- ↳ Effet moins drastique que les pesticides (plus d'applications)
- ↳ Seuil de tolérance très bas pour les ravageurs
- ↳ Efficacité pas toujours constante d'une production à l'autre
- ↳ Activité restreinte lors d'une grande pression du ravageur
- ↳ Conditions d'entreposage des produits biologiques (demi-vie et température plus fraîche)
- ↳ Excellente connaissance dans la relation proie – prédateur.

HISTORIQUE ET DIVERSITÉ DES PRODUITS

LES BIOINSECTICIDES

Les microorganismes pathogènes (virus, champignons, bactéries et protozoaires) et les ennemis naturels (parasitoïdes et prédateurs) sont des antagonistes naturels des insectes et des animaux. En 1986, Khachatourians reconnaissait environ 650 espèces de virus pathogènes d'insectes. Les infections virales sont généralement mortelles dans un délai assez court. Les plus connus sont les baculovirus et affectent principalement les lépidoptères et les hyménoptères phytophages (Granados and Federici, 1986; Miller et al., 1983). Le principal désavantage des virus entomophages demeure la difficulté de les propager en masse à faible coût, compte tenu du caractère obligatoire de leur multiplication à partir de tissus intacts d'insectes (Cunningham, 1988). Les bactéries sont les micro-organismes les plus souvent associés aux insectes (Poinar et Thomas, 1985). Une centaine d'espèces sont spécifiquement entomopathogènes mais seulement quelques types ont été considérés pour la production de biopesticides (Miller et al., 1983). Le bacille le plus connu est sans contredit le *Bacillus thuringiensis* (Bt) qui accapare environ 90% du marché actuel des biopesticides (Anonyme, 2003). Deux souches sont largement exploitées sous forme de bioinsecticides : le *B.t. israelensis* (contre les diptères (maringouins et mouches noires)) et *kurstaki* (contre les chenilles de lépidoptères). Le caractère spécifique de la pathogénicité des biopesticides à base de *B.t.* confère à ceux-ci un certain désavantage économique par rapport aux insecticides traditionnels mais contrebalancé par les coûts réduits de production (Cloutier et Cloutier, 1992). Actuellement, une dizaine de variétés de *B.t.* sont offerts sur le marché ou exploitables pour réprimer des ravageurs importants (Vincent et Coderre, 1992). Environ 700 espèces de champignons sont capables d'infecter des insectes (Ferron, 1978; Miller et al., 1983). *Beauveria bassiana* est sans contredit le champignon le plus exploité considérant la grande diversité de ravageurs visés (doryphore de la pomme de terre, pyrale du maïs, piéride du chou, thrips des petits fruits, etc...) (Boiteau, 1988; Feng et al., 1988; Martel et Belcourt, 1985) et des recherches intéressantes sont également menées avec *Verticillium lecanii* pour la répression des homoptères ou des thrips en serre (Hall, 1982; Hussey, 1985b).

Les ennemis naturels regroupent les parasitoïdes et les prédateurs. Le terme «parasitoïde» fait référence à des entomophages intermédiaires entre les parasites (un exploiteur qui ne tue pas sa victime) et les prédateurs (un exploiteur qui tue sa victime) tandis que les «auxiliaires de lutte» font référence aux insectes parasitoïdes et aux arthropodes prédateurs. Plus de 15 000 espèces d'insectes sont parasitiques et la majorité d'entre elles le sont pour d'autres insectes (Waage et Greathead, 1986). Les parasitoïdes sont caractérisés par un adulte actif ayant de fortes capacités d'orientation et de repérages d'hôtes potentiels. Une vingtaine d'insectes parasitoïdes sont développés contre des ravageurs importants. Parmi ceux-ci, *Encarsia formosa*, contre l'aleurode des serres, est sans contredit la plus largement commercialisée avec les trichogrammes (Delorme et al., 1984; Hudon et Leroux, 1986; Hussey, 1985a). Les arthropodes prédateurs sont les plus fréquemment cités en lutte biologique (Caltagirone, 1981; DeBach, 1974). Ces prédateurs ne font pas dans la dentelle; ils tuent la proie capturée. Leur voracité étant un indice utile de son potentiel de répression (Hassell, 1978). Une trentaine de prédateurs polyphages sont actuellement exploités ou en développement. Parmi les plus importants mentionnons les acariens phytoséiides (*Phytoseiulus persimilis*, *Amblyseius fallacis*, *A. cucumeris*, *Hypoaspis* spp., etc...) (Bostanian et Coulombe, 1986; Fournier et al., 1987; Gillespie, 1988; Hussey, 1985a).

Dans les productions serricoles, la lutte biologique contre les insectes et les acariens, de même que l'utilisation des bourdons ont fait diminuer considérablement l'utilisation des insecticides. Les résultats positifs générés par cette lutte biologique incitent les chercheurs à développer davantage d'autres produits, principalement dans les productions ornementales et les espaces verts. Même si la lutte biologique contre les ravageurs est bien implantée pour les cultures légumières de serre, il en est autrement en ce qui concerne les plantes ornementales. La lutte biologique dans les productions ornementales est plus onéreuse (\$1.50 à

\$4.00/m²) parce que le niveau de tolérance des ravageurs est très faible (Lambert, 2002). Des introductions répétitives à des taux élevés sont donc nécessaires. Par contre, tout n'est pas qu'un constat d'échec en productions ornementales. Dans les productions de fleurs annuelles et de paniers suspendus, la mouche noire, qui fait son apparition dès le semis, est très bien contrôlée par *Hypoaspis* spp. et avec le *Bt* var. *israelensis* ou *Steinernema* spp. lorsque les populations deviennent importantes. Du côté des potées fleuries, les insectes sont relativement bien contrôlés sauf en ce qui concerne la punaise terne et la cochenille farineuse des serres (*Pseudococcus longispinus*). Sur les vivaces, une lutte biologique est plus difficile à cause de la très grande diversité de plantes et de ravageurs (thrips, aleurodes, tétranyques, pucerons, mouches noires, cicadelles, etc.....) dans une même serre. Les acariens prédateurs (*Hypoaspis*, *Phytoseiulus*, *Amblyseius cucumeris*, *A. degenerans* et *A. fallacis*) travaillent généralement bien ainsi qu'*Encarsia* contre l'aleurode des serres. L'introduction de plantes indicatrices (*Viola* pour les pucerons; *Salvia*, *Monarda*, *Eupatorium* pour les aleurodes; *Ajuga* et *Filipendula* pour les tétranyques) et de plantes réservoirs (ricin et hémérocalle pour la lutte contre le thrips) constituent de bons indicateurs visuels pour détecter les premiers foyers d'infestations dans les serres, ce qui favorise grandement la lutte aux ravageurs dans ces productions.

LES INSECTICIDES D'ORIGINE BOTANIQUE

Plus de 2000 espèces végétales dotées de propriétés insecticides ont été répertoriées (Grainge et Ahmed, 1988). Dès l'Antiquité, les Chinois, les Grecs et les Romains utilisaient des plantes ou extraits de plantes avec du soufre et de l'arsenic (NAS, 1969). Il a été rapporté que les Romains utilisaient des poudres préparées à partir de *Veratrum* sp. comme insecticides et rodenticides tandis que des extraits d'ifs (*Taxus baccata*) ont été utilisés par certains peuples de l'hémisphère nord (Schmutterer, 1992). Sous les tropiques, l'utilisation du neem (*Azadirachta indica* Juss. Meliaceae) est répertoriée depuis au moins 4 000 ans (Larson, 1989). Au XIX^e siècle, seuls quelques composés d'origine végétale étaient identifiés et abondamment utilisés comme répulsifs ou produits toxiques parmi lesquels il y avait la nicotine (alcaloïde) et ses dérivés, la roténone, les pyrèthres et les huiles végétales. La nicotine servait à lutter contre les insectes piqueurs-suceurs des plantes vivrières. La roténone s'est révélée un composé phytosanitaire du plus haut intérêt. Après une période d'accalmie autour de 1940, elle est redevenue populaire pour les adeptes de l'agriculture biologique. Elle est utilisée pour lutter contre le doryphore de la pomme de terre (Weinzeirl, 1998). Les pyrèthres servaient pour se débarrasser des poux lors de les guerres napoléoniennes (Ware, 1991). Ces produits pouvaient provoquer de nombreux effets sur les mammifères mais vu leur instabilité à la lumière, à l'air et à l'humidité, ces risques étaient considérablement amenés. À cause de ces aspects, les pyréthrinoides de synthèse ont fait leur apparition (Weinzeirl, 1998). Les huiles ont été utilisées très tôt dans la lutte contre les insectes sous forme d'émulsions. Ils sont considérés comme atoxique pour les mammifères, lors d'un usage normal. Aujourd'hui, les huiles sont très utilisées aux États-Unis pour la protection des vergers dont certains insectes ravageurs (*Dysaphis plantaginea* et *Panonychus ulmi*) sont devenus résistants à diverses familles d'insecticides (Weinzeirl, 1998). La Seconde Guerre mondiale relégua en arrière plan les produits phytosanitaires d'origine végétale et les pesticides chimiques de synthèse firent leur apparition. Les problèmes de contamination de l'environnement, de résistance des populations de ravageurs et des effets nocifs sur les organismes non visés ont contribué au renouveau d'intérêt pour les molécules présentes dans les végétaux et les agents de contrôle des insectes.

Selon Hall et Menn (1999) le marché mondial des pesticides était évalué en 1995 à environ \$29 milliards USD dont \$388 millions pour les biopesticides. Toutefois, le taux de croissance du marché prévu pour les biopesticides serait de 10-15% contre 2% pour les pesticides de synthèse, même si les pesticides chimiques de synthèse dominant actuellement largement les marchés mondiaux (89% des matières actives) (Powell et Justrum, 1993; Riba et Silvy, 1993).

ÉTAT DE LA SITUATION AU CANADA

L'industrie sericole canadienne est relativement importante considérant la population du Canada (30 millions). En 1998, il y avait 4100 serres pour une superficie totale de 2583 ha sous serres de verre ou de plastique (Statistiques, 1998). Les légumes de serre sont évalués à \$285 millions CN, avec la production de la tomate en tête (\$164 millions), suivi du concombre (\$64 millions), poivrons (\$34 millions) et de la laitue (\$13 millions). La valeur des serres de tomate et de concombre a augmenté de 310% et 116% respectivement, depuis 1990. L'Ontario et la Colombie-Britannique sont les deux principaux producteurs de légumes.

En 2003, au Canada, 48 bioinsecticides et 27 phéromones étaient homologués (ARLA, 2003). Parmi ces bioinsecticides, 33 sont à base de *Bacillus thuringiensis* (*B.t. berlinger* ssp. *kurstaki* (17 produits), serotype H-14 (14 produits) et *tenebrionis* (2 produits)), 7 sont à base de virus polyédroses nucléaires (NPV), 2 à base de virus granuleux (GV) et 6 à base de *Muscalure*.

RECHERCHE, DÉVELOPPEMENT

Malheureusement, l'ARLA n'a pu commenter sur la demande concernant les produits en développement.

CANDIDATS PROMETTEURS

La lutte biologique aux insectes ravageurs des plantes et vecteurs de maladies a progressé rapidement au cours des trois dernières décennies. Son succès est manifeste principalement en milieu forestier où les insecticides de synthèse ne sont désormais plus autorisés au Québec suite au développement de biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis*, dans les productions de légumes de serre, où l'ensemble des insectes ravageurs sont contrôlés par des agents de lutte biologique et pour la répression des insectes piqueurs en milieu urbain et récréatif également à l'aide du Bt. De nouveaux biopesticides sont nécessaires pour compléter l'arsenal requis dans les productions en serre, notamment pour solutionner les problèmes dans les cultures ornementales, et pour fournir une alternative biologique dans les cultures en champ. Ce dernier secteur est une cible privilégiée des chercheurs et des compagnies oeuvrant au développement de biopesticides. Les superficies en culture, les quantités de pesticides utilisés, les risques pour l'environnement et des considérations économiques, ampleur du marché, justifient l'intérêt grandissant pour les cultures en champ. Les produits suivants sont à notre avis à la fois prometteurs de par leur efficacité, sujets à l'approbation de l'ARLA et pouvant être rapidement commercialisés au Québec.

- ✓ FACIN (extraits de plantes)
- ✓ LIMAX (*Bacillus brevis*)
- ✓ BOTANIGARD (*Beauveria bassiana*)
- ✓ SPINOSAD (*Saccharopolyspora spinosa*)

FACIN (EXTRAITS DE PLANTES)

Introduction

La firme québécoise Codena inc. est chargée du développement et de la mise en marché du produit FACIN. Elle réalise ses travaux en collaboration étroite avec Urgel Delisle inc. (UDA), compagnie spécialisée dans la réalisation de projets de recherche et développement en agriculture, foresterie et environnement. Codena inc. développe FACIN depuis 1993, un produit à base d'extraits de plantes qui a des propriétés acaricide, insecticide et fongicide. Ce produit est actuellement en voie d'homologation avec l'Agence de Réglementation de la Lutte Antiparasitaire (ARLA) du Canada et l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis. **En raison de la loi sur la confidentialité des produits, peu d'informations ont été obtenues sur le produit en développement.**

Description du produit

FACIN est à base de l'huile essentielle d'une herbe annuelle du genre Chénopode, originaire de l'Amérique Centrale (Chiasson, 2003). L'huile est produite par les glandes des trichomes réparties sur les feuilles, fleurs et graines de la plante. Pour la culture, la plante est semée directement au champs à l'automne ou partie à l'intérieur et transplantée au printemps lorsque la température et les conditions du sol le permettent. Une fois établie, la plante est résistante à la sécheresse et ne requiert pas d'irrigation durant l'été. Une fertilisation d'appoint est apportée et le contrôle des mauvaises herbes est prioritaire.

Les plantes atteignent leur maturité en 10 semaines, sous les conditions climatiques du sud-ouest du Québec. La récolte a lieu vers la mi-juillet, lorsque la montée à graines est importante et là où la production d'huile est maximale. Après la première coupe, le plant se régénère rapidement et se ramifie en de nombreuses tiges. Les plants atteignent leur maturité très rapidement après la première coupe et dès la fin août, une deuxième récolte est possible. Les plants sont habituellement 1,5 à 2 fois plus productifs que lors de la première récolte.

L'huile est extraite par distillation dans des extracteurs qui peuvent traiter entre 0,5 et 5 tonnes de matériel végétal. La quantité d'huile produite est dépendante de plusieurs variables telles la qualité du matériel végétal (plante entière ou coupée, quantité de graines produites par plantes, temps de récolte, variations saisonnières, etc...), la pression émise par le générateur (chaudière) et même la dimension du réservoir d'extraction. Présentement, l'huile est produite à un taux de 1,5% par poids sec de matériel végétal.

FACIN agit à titre d'acaricide, insecticide et fongicide. Actuellement, il est destiné soit pour un usage commercial en serre (plantes ornementales et comestibles), domestique ou les gazons. Pour le futur, la compagnie vise le marché des plantes ornementales extérieures et les plantes cultivées au champ puisque quatre des ravageurs actuellement testés représentent des problèmes majeurs dans ces productions (Chiasson, 2003). FACIN est présentement testé contre le tétranyque à deux points (*Tetranychus urticae*), le puceron vert du pêcher (*Myzus persicae*), le thrips des petits fruits (*Frankliniella occidentalis*), l'aleurode des serres (mouche blanche) (*Trialeurodes vaporariorum*) et le tétranyque rouge du pommier (*Panonychus ulmi*). Les quatre premiers représentent près de 95% des insectes et des problèmes de mites rencontrés dans les serres (plantes ornementales et légumes). Trois formulations ont été développées :

- 1) un concentré émulsifiable (CE) à une concentration de 25% pour un usage commercial en serre;
- 2) une formulation «prête à l'emploi» (PAE) préparée à une concentration de 0,3% pour un usage domestique sur les plantes d'intérieur dans les résidences, édifices et lieux publics;
- 3) une microémulsion (ME) pour une utilisation sur les ravageurs de gazon.

Des brevets US et PCT ont été déposés en 2000 et 2001 respectivement et la Phase Nationale du PCT a débuté en 2002. Ce biopesticide est le premier produit de son genre à être commercialisé au Canada (Chiasson, 2003) et la plante peut être cultivée au Canada sous des conditions climatiques tempérées.

Mode d'action et principe actif

Le mode d'action de FACIN est présentement à préciser dans les essais en serre.

Les méthodes de culture, de sarclage et de récolte de la plante sont celles utilisées couramment en agriculture et le processus de distillation est semblable à celui emprunté par les producteurs d'huile essentielle de la menthe en Alberta (Codena inc., 2003). Le CE, PAE et ME peuvent être mis en marché à prix concurrentiel.

Spectre d'activité

- ✓ Serre
- ✓ Usage domestique
- ✓ Gazon

Compatibilité

Le produit développé est efficace pour contrôler et/ou éliminer 85% des ravageurs présents dans les serres. Il est compatible avec le contrôle biologique utilisé par les producteurs et sa «durée de vie tablette» rencontre les normes de l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) (Codena inc., 2003).

Un tel biopesticide répond à la demande du public et des gouvernements pour un produit plus sécuritaire, plus permanent (le ravageur, insecte ou maladie, s'adapte assez facilement aux pesticides de synthèse mais rarement à un biopesticide), compatible avec la lutte intégrée et compétitif.

Tests d'efficacité en laboratoire et/ou en serre

Le concentré émulsifiable (CE) et le microémulsion (ME) ont été testés sur des adultes et des stades immatures du tétranyque à deux points, du puceron vert du pêcher, du thrips des petits fruits, de l'aleurode des serres et du tétranyque rouge du pommier. Les résultats démontrant l'efficacité de ME sont présentés au tableau 1. Quand CE est utilisé à la concentration de 1%, il donne des résultats similaires (99,2% de mortalité des tétranyques) au savon Safer's (acide gras) et des mortalités de 92% et 97% aux concentrations 0,6 et 0,75 respectivement. Cependant, la LC₅₀ (concentration, calculée en mg/cm³, à laquelle le produit est léthal pour 50% des organismes testés) de FACIN (0,009) est presque la moitié de celle du savon Safer's

(0,16) ce qui signifie que le produit FACIN contrôle la même proportion de la population des organismes avec la moitié de la dose utilisée avec le savon Safer's. À la concentration de 0,5% (dose recommandée), CE a été mieux réprimer le tétranyque rouge Européen que l'insecticide chimique de synthèse Avid® (abamectine).

Tableau 1. Mortalité (%) des adultes du tétranyque à deux points, du puceron vert du pêcher, du thrips des petits fruits et du tétranyque rouge du pommier lorsque traités avec différentes concentrations du concentré émulsifiable et comparé aux pesticides naturels, bio-essais en laboratoire.

Traitement	Concentration (%)	LC ₅₀	Mortalité (%) après 48 heures			
			tétranyque à deux points	puceron vert du pêcher	thrips western de la fleur	tétranyque rouge Européen
Témoin (eau)	0		4,8	7,4	10,8	11,4
CE	0,0625		-	-	-	82,6
CE	0,25		76,8	29,8	63,7	94,2
CE	0,50		88,9	43,6	95,8	97,1
CE	0,60		92,0	-	-	-
CE	0,75		97,0	-	-	-
CE	1,00	0,009	99,2	71,7	98,8	-
Neem Rose ⁽³⁾ Defense ®	0,7 ⁽¹⁾		22,1	31,5 ⁽²⁾	17,8	-
Safer's Trounce ®	1,0 ⁽¹⁾	0,016	99,8	55,2	82,7	-
Avid ®	0,006 ⁽¹⁾		-	-	-	82,4

(1) Dose recommandée

(2) Utilisé à la concentration de 0,5 % pour ce test seulement

(3) Ce produit est disponible sur le marché canadien mais il n'est pas homologué

Le microémulsion (ME) a été testé avec la punaise velue et le hanneton européen et démontré un contrôle aussi efficace que les pesticides chimiques (diazinon, carbaryl et les produits benchmark). Le tableau 2 présente les avantages de FACIN lorsque comparé aux biopesticides et pesticides chimiques de synthèse communément utilisés.

Tableau 2. Principaux avantages de l'acaricide/insecticide FACIN lorsque comparé aux pesticides chimiques et biopesticides

ACARICIDE/INSECTICIDE	VS	PESTICIDES SYNTHÉTIQUES
Très efficace pour le contrôle des ravageurs serricoles	<i>Efficacité</i>	Efficacité était souvent égale ou supérieure aux produits synthétiques tels Thiodan, Avid, Kelthane
Faible même après plusieurs applications	<i>Persistence</i>	Accumulation et interaction avec des possibilités d'empoisonnement
Contient quelques ingrédients actifs auxquels les insectes ne peuvent développer de la résistance	<i>Résistance</i>	Insectes ont développé de la résistance aux produits synthétiques parce que ce sont souvent des produits «unisite» et possède un seul mode d'action
Possibilité de plusieurs modes d'action parce qu'il y a plusieurs ingrédients actifs	<i>Composés</i>	Habituellement limité à un mode d'action
Permet l'accès rapide aux serres pour les travailleurs (quelques heures après l'application)	<i>Activité résiduelle</i>	Avec plusieurs produits, l'activité humaine dans les serres n'est pas permis avant au moins 48 heures après le traitement
ACARICIDE/INSECTICIDE	VS	BIOPESTICIDES
Contient plusieurs ingrédients actifs, réduit le potentiel de développer de la résistance	<i>Résistance</i>	Contient un ingrédient actif qui peut permettre de développer de la résistance
Très efficace pour le contrôle de la majorité des ravageurs serricoles i.e. 96% de mortalité avec les nymphes de tétranyques à deux points	<i>Efficacité</i>	62 % de mortalité avec les nymphes de tétranyques à deux points avec le savons Safer's. Neem Rose Defense n'a pas été efficace pour le contrôle des insectes en serre
L'huile est utilisée sous sa forme naturelle, sans transformation après la distillation	<i>Transformation</i>	L'ingrédient actif, azadiractin, a été extrait de l'huile de Neem pour produire le produit Neem
La plante peut être cultivée dans le Sud ouest du Québec et autres régions du Canada, utilisant les mêmes techniques de plantations que celles utilisées couramment en agriculture	<i>Approvisionnement</i>	Pesticides naturels (ex. Neem) est souvent d'origine tropicale et doit être cultivé sous les tropiques

Des activités de R&D sont toujours en cours dans diverses serres commerciales (plantes ornementales et comestibles) pour préciser et valider les résultats obtenus en serres expérimentales. D'autres activités de

R&D sont également en cours pour élargir la plage d'utilisation du produit et pour déterminer son mode d'action.

Marché et Production

Les ventes annuelles d'insecticides et acaricides en agriculture en 2001 aux États-Unis et au Canada étaient évaluées à \$1,7 milliard US et \$40 million US respectivement et les ventes de fongicides en 1998 pour les États-Unis étaient de l'ordre de \$750 million US. Le marché des maladies de gazon représente à lui seul 20% des ventes des fongicides. Aux États-Unis, les ventes d'insecticides et d'acaricides sur le marché domestique (Home and Garden) étaient évaluées à \$1,37 milliard US en 1997 avec une croissance annuelle de 3%. Ces chiffres incluent les traitements pour les insectes ravageurs du gazon. Les statistiques équivalentes pour le Canada ne sont pas disponibles.

Tout en poursuivant le processus d'homologation et de mise en marché en Amérique du Nord afin de diversifier ses produits, Codena regarde la possibilité d'exploiter des marchés étrangers, tels que l'Amérique Latine et l'Europe. En ce qui concerne le marché de l'Amérique Latine, il appert que les coûts d'homologation peuvent être peu dispendieux et la procédure relativement expéditive.

Références FACIN

- 1) **Chiasson, H. 2003.** Commercialization of a Botanical Biopesticides from Plant Extracts – Project Summary. Document interne. 4 pp.
- 2) **Codena inc. 2003.** Codena – Les produits. Page consultée le 15 octobre 2003. Adresse URL : <http://codena.ca/fr/produits.htm>
- 3) **Codena inc. 2003.** Biopesticides naturels – Description du projet. Document interne. 2 pp.
- 4) **UDA inc. 2003.** Recherche et développement. Page consultée le 15 octobre 2003. Adresse URL : <http://udainc.com/rd.html>

LIMAX

Préambule

La firme québécoise AEF Global inc. est chargée du développement et de la mise en marché du produit LIMAX. Ce produit est actuellement en voie d'homologation avec l'Agence de Réglementation de la Lutte Antiparasitaire (ARLA) du Canada. **En raison de la loi sur la confidentialité des produits, peu d'informations ont été obtenues sur le produit en développement.**

Introduction

En Amérique du Nord, il y a environ 40 espèces connues de limaces (Phylum : mollusques; sous-groupe : gastéropodes) (Anonyme, 1998). Les limaces sont généralement grégaires et peuvent causer de sérieux dommages lorsque les populations sont importantes. Dans plusieurs sites, les limaces ont causé autant de dommages que les insectes ravageurs (Anonyme, 1998). L'éradication et le contrôle des limaces sont difficiles et onéreux.

Elles sont très polyphages et attaquent particulièrement les céréales, légumes (bettes, pois, carottes, endives, laitue), avocats, maïs, fraises, tomates, pommes de terre, tabac, crucifères, tournesols, orchidées etc. (Hommay et al., 1998; Port and Port, 1986). Il a été déterminé que durant sa courte vie, une limace pouvait manger jusqu'à l'équivalent de 70 livres de matériel végétal par acre (Anonyme, 1998). Elles sont généralement très actives au printemps et à l'automne (INRA, 2000). Les limaces ne sont pas très sensibles au froid (active jusqu'à 5°C) mais très affectées par la sécheresse ($T > 21^{\circ}\text{C}$) et les vents qui causent leur déshydratation. Elles sont actives la nuit, demeurant cachées le jour, sauf après une pluie. Elles préfèrent les endroits humides soit autour des plants, dans les mauvaises herbes des fossés et dans les rigoles autour des champs (Hommay et al., 1998). On les retrouve également dans les jardins de fleurs, les rocailles, haies, pelouse, etc. (Parrella et al., 1985). De plus, elles sont hermaphrodites!

Les limaces se nourrissent principalement des feuilles (limbe surtout) mais s'attaquent également aux semences, tubercules (pomme de terre) et fruits (fraises). Quand les attaques sont sévères, elles coupent les tiges, les mangent et les plantes entières sont consommées. Le stade plantule est le plus vulnérable et les cultures qui demeurent longtemps à ce stade à cause de différents facteurs (froid, sécheresse, présence de couverture sur les plants (ex. paille dans la fraise)) sont les plus sensibles (Davis, 2000; Hommay, 1995; Maurin et Lavanceau, 1987). Les dégâts qu'elles engendrent ne sont pas négligeables. Les pertes sont dues à la consommation et aux souillures qui rendent les fruits, légumes et fleurs invendables. De plus, elles véhiculent avec leur mucus et leurs crottes des agents pathogènes envers les plantes (virus de la mosaïque, bactéries, moisissures) et les hommes (nématodes, douve du foie) (Hommay, 1995; Port and Port, 1986). En France et en Angleterre, le marché des molluscicides représentait, en 1993, \$44 et \$26 millions CN respectivement.

Différentes techniques de contrôle sont connues, avec des résultats souvent mitigés ou très aléatoires, parce que peu ou non applicable à l'échelle commerciale. Parmi ces moyens de contrôle, il y a l'utilisation :

1. de pratiques culturales (élimination des endroits susceptibles de loger les limaces, la récolte manuelle des limaces, utilisation de plantes-compagnes (tagète, mufler, zinnia, etc...), contrôle des mauvaises herbes, des déchets, un état sanitaire exemplaire, etc...);
2. de barrières physiques (coquilles d'œufs, bière, l'utilisation de paillis, cendre de bois, terre de diatomées, etc..);
3. de nématodes (*Phasmarrhabditis hermaphrodita*) (Anonyme, 2000, Wilson et al., 1994; 1996),

4. de prédateurs naturels (coccinelles, lucioles, oiseaux, amphibiens, etc...) (Caron, 2000; Drolet, 1998);
5. de produits chimiques qui demeurent encore les plus efficaces (à base de méthaldéhyde, de carbamate (methiocarb) et de phosphate de fer principalement) (Stephenson, 1968). Les molluscicides methiocarb et methlaldéhyde ont une toxicité modérée, autour de 500 µg / 500 mg de limaces et leur mode d'action est lent (une semaine pour tuer les limaces à 10°C) (Henderson et Parker, 1986).

Au Canada, les appâts à limaces (méaldéhyde), le LANNATE TNG (à base de méthomyl) et SLUGGO (considéré comme un biopesticide à base de phosphate de fer par l'ARLA) sont homologués. À noter que le méthaldéhyde est très toxique pour les oiseaux, le gibier et les animaux domestiques (RAP – Petits fruits, 2003).

Description du produit

Le LIMAX est un limacide biologique (molluscicides) efficace contre les limaces grises (*Deroceras reticulatum* (*Agriolimax reticulatum*; Müller, 1774)) (AEF, 2003b). Le produit est un mélange unique d'un ingrédient actif à base de *Bacillus brevis* ou *Brevibacillus brevis*, une bactérie naturelle du sol et d'additifs organiques servant d'appât pour les limaces. Pour être efficace, le LIMAX doit être ingéré par les limaces (AEF, 2001, 2003a, 2003b).

Les souches utilisées par la compagnie ont été isolées en Amérique du nord (USA et Québec) et en Afrique (AEF) en 1993 (AEF, 2003a). Ces souches proviennent d'escargots morts, de la moule zébrée, de limaces ou de moustiques et toutes ces souches ont montré le même profil protéique attitré aux toxines des molluscidales. La souche de *Bacillus brevis* de AEF Global a été comparée par RAPD (PCR) avec 8 sondes différentes et confirmée comme *Bacillus brevis*.

Environ 40 espèces de *Bacillus* possèdent une activité molluscicide mais parmi ceux-ci, *B. brevis* est la plus efficace (AEF, 2003b). *Bacillus brevis* est reconnu comme un micro-organisme indigène du sol et pour son potentiel d'agent de lutte biologique contre différents agents pathogènes des plantes (*Botrytis cinerea*) et possède également un potentiel d'agent biologique pour le contrôle des larves de moustiques. Différentes espèces du genre *Brevibacillus* possèdent des aptitudes à réprimer *Pythium* et *Phytophthora* ainsi que la tache noire et le blanc poudreux. Ce genre de bactéries a également un effet très positif sur les humains, les chevaux et les animaux en régularisant la flore bactérienne intestinale (AEF, 2001). Les tableaux 3 et 4 présentent respectivement la détermination de la matière active de qualité technique et les propriétés de la préparation commerciale LIMAX.

Tableau 3. Détermination de la matière active de qualité technique (MAQT) (AEF, 2001)

Microorganisme actif	<i>Bacillus brevis</i> (LIMAX)
Utilité	molluscicide biologique
Nom scientifique	<i>Bacillus brevis</i> ou <i>brevibacillus brevis</i> ou <i>Brevibacillus parabrevis</i>
<u>Rang taxonomique</u>	
Royaume	Bactéries
Phylum	Gram Groupe II
Genre	<i>Bacillus</i>
Espèce	<i>brevis</i>
Souche No CAS	68031-61-9
Renseignements relatifs à un brevet canadien	n/a
Pureté nominale de la matière active	Le LIMAX est composé de 1×10^{11} cellules mortes / g de <i>Bacillus brevis</i> auquel des ingrédients inertes naturels insolubles (protéines, acides gras, sucres, minéraux) ont été ajoutés lors de la fermentation Le LIMAX contient 40% p/p ou 400 g de <i>Bacillus brevis</i> / Kg de produits (préparation commerciale)
<u>Information sur l'écologie</u>	
Toxicité envers les abeilles	Aucun effet toxique apparent à $1,0 \times 10^8$ cellules mortes / ml
Toxicité envers les mouches domestiques	Aucun effet toxique apparent à $4,0 \times 10^{10}$ cellules mortes / ml
Toxicité envers les larves de lépidoptères	Aucun effet toxique apparent à $4,8 \times 10^{10}$ cellules mortes / ml
Toxicité envers les coccinelles	Aucun effet toxique apparent à $8,0 \times 10^{10}$ cellules mortes / ml
Toxicité sur les souris	Aucun effet toxique apparent à 10^6 à 10^7 cellules végétatives mortes
<u>Information microbiologique</u>	Aucun effet connu sur la santé et aucune relation avec les bactéries pathogènes connues <i>Bacillus brevis</i> n'est pas reconnu pour être impliqué dans des cas d'empoisonnement alimentaire Cette espèce a été rapportée pour être associée à des infections mais où <i>B. brevis</i> n'était pas l'agent causal

Tableau 4. Propriétés de la préparation commerciale LIMAX

Propriété	LIMAX
Couleur	Poudre brune claire
Odeur	Odeur caractéristique de bactéries en fermentation
Grossueur des particules	Moins de 150 µm (moyenne de 75 µm)
Densité	0,55 g/ml
Solubilité dans l'eau	Insoluble mais miscible

Mode d'action et principe actif

La matière active doit être ingérée pour être efficace contre les limaces (AEF, 2001). Après ingestion de l'appât, même en petite quantité, les limaces cessent de s'alimenter, deviennent moins mobiles et meurent après 2 à 6 jours. Cet effet donne immédiatement une protection aux plantes. Les cadavres des limaces sont rarement visibles au champ puisqu'elles vont mourir loin du site d'ingestion de l'appât. Un simple contact direct de l'ingrédient actif avec les limaces (sans ingestion) ne cause pas de mortalité.

Spectre d'activité

Ravageurs

- ❖ Limace grise de jardin
- ❖ Petite limace grise

Cultures

- ❖ Crucifères
- ❖ Fraises

Compatibilité

Non disponible ou non applicable. La difficulté de travailler en laboratoire avec la limace grise (qui a un cycle de vie de 5-6 mois) réside du fait qu'elle devient épizootique quand cultivé *in vitro* (Henderson and Parker, 1986) ce qui limite les tests.

Tests d'efficacité au champ

En vertu de l'entente de confidentialité, nous ne pouvons divulguer les résultats obtenus avec le LIMAX. La seule information obtenue est présentée ici-bas.

L'efficacité du LIMAX a été testée sur la limace grise de jardin dans l'est du Québec et en Colombie-Britannique (tab.5).

Tableau 5. Taux d'application de LIMAX sur les cultures de crucifères et de fraises (AEF, 2003a)

Culture	Ravageur	Vulnérabilité	Taux d'application	
			(Kg/ha)	Granules/m ²
Crucifère*	Limace	De la germination jusqu'à la récolte	6 - 20 ¹	12 - 40
Fraise	Limace	De la germination jusqu'à la récolte	6 - 20	12 - 40

Remarques

* = Brocoli, choux, choux-fleurs, choux de Bruxelles, choux chinois, choux frisée, laitue, collards, etc...

1 = Appliquez le taux le plus élevé si l'infestation est sévère², si la surface est inondée, après de longues périodes de pluie intense ou s'il y a présence d'une nourriture plus attirante à proximité. Une application de 6 Kg/ha correspond à l'application de 12 granules/m² et 20 Kg/ha correspond à une application de 40 granules /m².

2 = Niveau d'infestation : un niveau modéré correspond à 10 à 50 limaces/m²; une infestation sévère correspond à 200-500 individus/m². Le seuil d'intervention recommandé dans la betterave est de 1 limace/m²

En 2003, des essais ont été réalisés dans la fraise d'automne et sur des crucifères dans trois régions du Québec (Lanaudière, Montérégie et Québec). Les traitements ont permis de comparer le LIMAX (dose minimale et maximale) à un traitement conventionnel (Sluggo) et un témoin sans traitement (données non disponible).

Marché et Production

L'activité molluscicide du LIMAX peut dépendre du milieu utilisé en fermenteur et de la durée de fermentation (AEF, 2003b). Les expériences réalisées ont démontré que la plus grande activité survenait avant ou pendant la sporulation. Ce fait est intéressant puisque les toxines de *B. thuringiensis* et *B. sphaericus* sont formées durant la sporulation tandis que pour *B. brevis*, «le facteur de l'activité molluscicide» est formé **avant** la sporulation. Ce «facteur de l'activité molluscicide» peut être défini comme des petites protéines, stables à la chaleur, associées à des particules de la membrane cellulaire de *B. brevis* qui sont formées prioritairement avant la sporulation.

Le marché visé par la lutte contre la limace est important si on se réfère à la liste des prédateurs rapportés dans la littérature. Voici une liste non exhaustive de ces produits parmi lesquels peu ont atteint les marchés commerciaux. *Tetanocera elata* (Fab.) (*) est commercialisé en Europe et en Amérique du Nord (tab. 6) (Port and Port, 1986). La course est toujours ouverte.....

Tableau 6. Agents antagonistes à la limace grise (*Deroceras reticulatum* (*Agriolimax reticulatum*; Müller, 1774) en développement dans le monde (D'après Högger, 2001)

Phylum	Taxon	Prédateur ou agent antagoniste
Arthropode	Acarina	<i>Riccardoella limaceum</i>
Arthropode	Carabidae	<i>Abax parallelepipedus</i>
Arthropode	Carabidae	<i>Abax striola</i>
Arthropode	Carabidae	<i>Carabus violaceus</i>
Arthropode	Carabidae	<i>Pterostichus madidus</i>
Arthropode	Carabidae	<i>Thermophilum hexasticum</i>
Arthropode	Cychnidae	<i>Scaphinotus interruptus</i>
Arthropode	Cychnidae	<i>Scaphinotus marginatus</i>
Arthropode	Cychnidae	<i>Scaphinotus striatopunctatus</i>
Arthropode	Sciomycidae	<i>Euthycera cribrata</i> , larve
Arthropode	Sciomycidae	<i>Salticella fasciata</i>
Arthropode	Sciomycidae	<i>Tetanocera elata</i>, larve *
Arthropode	Sciomycidae	<i>Tetanocera plebeia</i> , larve
Arthropode	Sciomycidae	<i>Tetanocera</i> sp.
Arthropode	Sciomycidae	<i>Tetanocera valida</i> , larve
Champignon	Champignon imparfait	<i>Arthrobotrys</i> spp.
Champignon	Champignon imparfait	<i>Fusarium</i> spp.
Champignon	Champignon imparfait	<i>Verticillium chlamyosporium</i>
Nemathelminthes	Ascarida	<i>Cosmocercoides</i> sp.
Nemathelminthes	Mermithida	<i>Hexamermis albicans</i>
Nemathelminthes	Mermithida	<i>Mermis nigrescens</i>
Nemathelminthes	Nematodes	<i>Parogalaimus</i> sp.
Nemathelminthes	Rhabditida	<i>Diplogaster</i> sp.
Nemathelminthes	Rhabditida	<i>Phasmarhabditis hermaphrodita</i>
Nemathelminthes	Rhabditida	<i>Rhabditis lambdiensis</i>
Nemathelminthes	Rhabditida	<i>Rhabditis</i> sp.
Nemathelminthes	Strongylida	<i>Aelurostrongylus abstrusus</i>
Nemathelminthes	Strongylida	<i>Angiostrongylus cantonensis</i>
Nemathelminthes	Strongylida	<i>Angiostrongylus vasorum</i>
Nemathelminthes	Strongylida	<i>Cystocaulus ocreatus</i>

Tableau 6 (suite). Agents antagonistes à la limace grise (*Deroceras reticulatum* (*Agriolimax reticulatum*; Müller, 1774) en développement dans le monde (D'après Högger, 2001)

Phylum	Taxon	Prédateur ou agent antagoniste
Nemathelminthes	Strongylida	<i>Morerastrongylus andersoni</i>
Nemathelminthes	Strongylida	<i>Muellerius capillaris</i>
Nemathelminthes	Strongylida	<i>Parelaphostrongylus odocoilei</i>
Nemathelminthes	Strongylida	<i>Pneumostrogylus tenuis</i>
Nemathelminthes	Strongylida	<i>Skriabingylus chitwoodorum</i>
Plathelminthes	Cestoda	<i>Choanotaenia crassiscolex</i>
Plathelminthes	Cestoda	<i>Choanotaenia estavarensis</i>
Plathelminthes	Cestoda	<i>Davainea proglottina</i>
Plathelminthes	Cestoda	<i>Railletina bonini</i>
Plathelminthes	Cestoda	<i>Rodentotaenia crassiscolex</i>
Plathelminthes	Trematodes	<i>Brachylaema</i> sp.
Plathelminthes	Trematodes	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>
Plathelminthes	Trematodes	<i>Lutztrema monentron</i>
Plathelminthes	Trematodes	<i>Panopistus pricei</i>
Plathelminthes	Turbellaria	<i>Geoplana septemlineata</i>
Protozoaires	Ciliata	<i>Colpoda agreste</i>
Protozoaires	Ciliata	<i>Tetrahymena limacis</i>
Protozoaires	Ciliata	<i>Tetrahymena pyriformis</i>
Protozoaires	Ciliata	<i>Tetrahymena rostrata</i>
Vertébrées	Aves	<i>Phasianidae</i>
Vertébrées	Aves	<i>Anatidae</i>
Vertébrées	Aves	<i>Sturnus vulgaris</i> , <i>Straling</i>
Vertébrées	Aves	<i>Turdus pilaris</i>
Vertébrées	Reptiles	<i>Anguis fragilis</i> : slowworm

Conclusions et potentiels de LIMAX

Les dégâts produits par les limaces résultent de multiples facteurs. Ils dépendent des particularités biologiques des espèces de limaces et de la densité de leur population. D'autres facteurs sont reliés aux pratiques agronomiques (préparation du sol, profondeur de semis, enfouissement d'engrais verts), à la culture (espèces, densité, date de semis), aux caractères physico-chimiques des sols (structure et texture) et aux conditions météorologiques (Hommay, 1995; Port and Port, 1986). Selon Davis (2000), le contrôle des limaces est assuré lorsque nous avons un jumelage entre les méthodes biologiques, chimiques et culturales. Les meilleurs traitements anti-limaces sont ceux réalisés juste avant le semis si des limaces sont déjà présentes, au semis ou en post-semis mais avant la levée lorsque leur présence n'a pas encore été décelée (Decoin, 1999).

Références LIMAX

1. **AEF Global. 2003a.** LIMAX – appât granule biologique. Document interne **CONFIDENTIEL**. 4 pp.
2. **AEF Global. 2003b.** Data summary for LIMAX™ product. Document interne **CONFIDENTIEL**. 3 pp.
3. **AEF Global. 2001.** LIMAX active ingredient (Powder). Document interne **CONFIDENTIEL**. 4 pp.
4. **Anonyme. 2000.** Prevention and treatment of garden pests using cultural practices. Page consultée le 17 novembre 2000. Adresse URL : <http://www.ibiblio.org/rge/faq-html/sectionh.htm>
5. **Anonyme. 1998.** Introduction to slugs and snails. Page consultée le 13 juillet 1998. Adresse URL : <http://www.ifas.ufl.edu/~APKWEB/ncstate/slugintr....htm>
6. **Caron, D.M. 2000.** Slugs. Page consultée le 26 février 2000. Adresse URL : <http://www.bluehen.ags.udel.edu/deces/hyg/hyg-10.htm>
7. **Davis, P. 2000.** Control of pest snails and slugs : cultural and biological methods. Page consultée le 26 février 2000. Adresse URL : <http://www.agric.wa.gov.au/AGENCY/PUBNS/FARMNOTE/1994/F113a94.htm>
8. **Decoin, M. 1999.** Du nouveau chez les limaces. Phytoma – La défense des végétaux no 520:28-30.
9. **Drolet, M. 1998.** Slug and snail FAQ. Communication personnelle à AEF Global. 10 pp.
10. **INRA. 2000.** Loach, little grey slug. Page consultée le 26 février 2002. Adresse URL: <http://www.inra.fr/internet/produits/HYPPZ/RAVAGEURS6derret.htm>
11. **Henderson, I.F. and K.A. Parker. 1986.** Problems in developing chemical control of slugs. Aspects Appl. Biol. 13:341-347.
12. **Högger, C.H. 2001.** Antagonists of slugs and snails. Page consultée le 29 juin 2001. Adresse URL: <http://www.diach.ch/users/choegger/Slugs/Antagonists.html>
13. **Hommay, G. 1995.** Les limaces nuisibles aux cultures. Revue Suisse Agric. 27:267-286.
14. **Hommay, G., O. Lorvelec and F. Jacky. 1998.** Daily activity rhythm and use of shelter in the slugs *Deroceras reticulatum* and *Arion distinctus* under laboratory conditions. Ann. Appl. Biol. 132:167-185.
15. **Maurin, G. et P. Lavanceau. 1987.** Les limaces. La Défense des Végétaux, no 247 pp. 16-20.
16. **Parrella, M.P., K.L. Robb and P. Morishita. 1985.** Snails and slugs in ornamentals. California Agriculture pp. 6-8.
17. **Port, C.M. and G.R. Port. 1986.** The biology and behaviour of slugs in relation to crop damage and control. Agri. Zoology Reviews vol. 1:255-299.
18. **Stephenson, J.W. 1968.** A review of the biology and ecology of slugs of agricultural importance. Proc. Malac. Soc. Lond. 38:169-178.

19. **Urbain, L. et A. Duval. 2003.** Limaces et fraise : pas très appétissants! Réseau d'Avertissement Phytosanitaire - Avertissement Petits fruits, no 8.
20. **Wilson, M.J., L.A. Hughes, G.M. Hamacher, L.D. Barahona and D.M. Glen. 1996.** Effects of soil incorporation on the efficacy of the rhabditid nematode, *Phasmarhabditis hermaphrodita*, as a biological control agent for slugs. Ann. Appl. Biol. 128:117-126.
21. **Wilson, M.J., D.M. Glen, S.K. George, J.D. Pearce and C.W. Wiltshire. 1994.** Biological control of slugs in winter wheat using the rhabditid nematode, *Phasmarhabditis hermaphrodita*. Ann. Appl. Biol. 125:377-390.

BOTANIGARD®

Description du produit

Botanigard se veut un bioinsecticide à base de *Beauvaria bassiana* souche GHA. Il s'agit d'un produit commercialisé par la compagnie américaine Mycotech Corporation. Il existe deux formulations soit : **1)** Botanigard ES et **2)** Botanigard 22WP. Botanigard ES contient 11,3% de matière active (2×10^{13} conidies par litre). Botanigard 22WP contient 22% de matière active et se présente sous forme de poudre mouillable blanche à l'odeur poussiéreuse. C'est un bioinsecticide sécuritaire pour les travailleurs et l'environnement. Toutefois, il importe de respecter un délai de réentrée, car il peut causer l'irritation des yeux. Il n'y a aucun délai avant la récolte. La durée de conservation est de 18 mois.

Mode d'action et Principe actif

Le champignon entomopathogène doit être pulvérisé directement sur les insectes ravageurs pour que le traitement soit efficace. Lorsque les conidies entrent en contact avec la cuticule des insectes ravageurs, elles germent. Les hyphes exercent une pression mécanique et sécrètent des enzymes pour percer l'exosquelette des insectes. Une fois l'exosquelette perforé, le champignon pénètre et se multiplie à l'intérieur de l'insecte. Il attaque les organes internes provoquant l'arrêt du processus d'alimentation de l'insecte et causant sa mort 24 à 48 heures après l'infection (Anonyme, 2003). Les métabolites produites par *B. bassiana* interviennent dans la réponse cellulaire de défense enclenchée chez l'insecte. Les métabolites du mycoinsecticide empêchent le recrutement des hémocytes de même que la réponse des phagocytes. Le nombre de granulocytes chute dramatiquement trois jours après l'infection (Hung et al., 1993; Hung et Boucias, 1992). La vitesse à laquelle ces étapes surviennent dépend du nombre de spores en contact avec l'insecte, le stade de l'insecte, sa taille et la température ambiante. En général, l'effet du mycoinsecticide est perçu environ une semaine après son application.

Spectre d'activité

Botanigard est utilisé dans la lutte contre les thrips, certaines espèces de pucerons, d'aleurodes et les charançons. Il est aussi efficace contre les doryphores, cicadelles, cochenilles, punaises, criquets, sauterelles et lépidoptères perceurs de tiges (perceur du maïs). Il peut être utilisé tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, dans les pépinières, serres, ombrières, aménagements paysagers et les gazons. Il couvre plusieurs cultures telles que les fruits, légumes, fines herbes, transplants, couvre-sol, arbustes, vignes, arbustes à feuillage persistant et les arbres (EPA, 2003).

Compatibilité

L'agent de lutte biologique, *Beauvaria bassiana* est sensible au bénomyl, captane, manèbe, zineb, à l'oxychlorure de cuivre, mancozèbe et méthiram (Loria et al., 1983; Majchrowicz et Poprawski, 1993; Olmert et Kenneth, 1974 cités dans Jaros-Su et al., 1999). Selon Jaros-Su et al. (1999), il faut faire attention au chlorothalonil, mancozèbe et banol. Toutefois, ces matières actives ont moins d'impact si un délai de 48 à 72 heures est respecté entre l'application des fongicides et Botanigard. Quant à l'hydroxyde de cuivre, il n'a pas d'impact sur l'efficacité de Botanigard.

En général, Botanigard ne représente pas de risque pour les organismes bénéfiques tels que *Amblyseius cucumeris* (Jacobson et al., 2001). Il peut donc être utilisé dans un programme de lutte intégrée. Lorsque l'effet doit être rapide, un insecticide de synthèse est privilégié alors que Botanigard permet un effet à long terme. Toutefois, Smith et Krischik (2000) ont observé l'effet de *Beauvaria bassiana* (7,5 ml/l) sur la survie de Coccinellidae utilisées en lutte biologique. Botanigard s'est avéré compatible avec *Hippodamia convergens* et *Harmonia axyridis*. Toutefois, le taux de survie a diminué chez *Coleomegilla maculata* après un délai d'exposition de 8 heures pour deux des trois répétitions (98,8%; 63,8% et 81,3%). Chez *Cryptolaemus montrouzieri*, le taux de survie a chuté de manière considérable après 72 heures pour les trois répétitions (10,0%; 10,0% et 7,5%). De même, un taux de mortalité de 37% a été observé chez les Chrysomelidae (*Apthona flava* Guill.) alors qu'un taux de mortalité de 16% a été observé chez les Hemiptera (*Xylocoris flavipes*) (EPA, 2003). Par ailleurs, d'autres tests doivent être effectués pour vérifier l'effet de *Beauvaria bassiana* sur les insectes pollinisateurs (EPA, 2003).

Tests d'Efficacité en serre

Des essais en serre, effectués sur des plants de concombre, ont permis de vérifier l'efficacité de Botanigard à réprimer les thrips. Deux concentrations ($5,5 \times 10^7$ conidies/ml et $7,1 \times 10^8$ conidies/ml) ont été utilisées. Les applications ont été faites tous les 6 jours pour un total de 3 applications. Botanigard a permis d'obtenir un taux de mortalité des stades immatures et des adultes de 72% et 87% respectivement. Il s'agit d'une réduction significative en comparaison avec le témoin non-traité (Jacobson et al., 2001). En 1998, un essai en serre conduit par Bradley et al. a permis de vérifier que des applications hebdomadaires de Botanigard permettaient un contrôle comparable à celui obtenu avec des insecticides de synthèse et supérieur à celui obtenu avec les insectes prédateurs. Le niveau d'efficacité était plus élevé sur les larves que sur les adultes. Un délai de plusieurs jours a été observé avant l'infection et mort des insectes.

En 1998, Heinz a observé l'effet de Botanigard sur le puceron vert du pêcher sur des plants de chrysanthèmes. Chaque chrysanthème a été inoculé avec 2 pucerons. Les plants ont été traités une fois par semaine à une dose de 0,32 oz/gallon d'eau. Botanigard a permis la répression des pucerons à 86% en comparaison avec un témoin non-traité.

Des essais ont été réalisés dans la culture de poinsettias contre l'aleurode. L'application de Botanigard a commencé quand la population d'adultes a commencé à augmenter. Par la suite, les applications étaient répétées toutes les trois semaines. Une dose de 0,5 lb/acre suffisait à maintenir la population en dessous du seuil de dommage acceptable (Murphy et al., 1998).

Des essais en champs ont permis de vérifier l'efficacité de Botanigard à réprimer *Lygus* spp. (punaises). Chez les fraisiers traités avec Botanigard, seulement 3 à 6% des fruits présentaient des dommages dus à la punaise terne comparativement à 25% de dommages sur les plants non-traités (Kovach, 1996). Chez les plants de canola, le taux de mortalité des adultes était de 91,5% après 7 jours (Steinkrauss et Tugwell, 1997). Des essais contre *Lygus hesperus* dans des luzernières ont révélé qu'il n'y avait pas de diminution de population, le couvert végétal étant trop dense. Toutefois, il y a eu une diminution du taux d'oviposition et une augmentation du taux de dommages (Norma et Strickler, 1999). Des essais en laboratoire ont permis de déterminer que le LC_{50} était de 9×10^4 conidies/ml pour les nymphes de *Lygus lineolaris* et de $8,4 \times 10^4$ pour les adultes (Steinkrauss et Tugwell, 1997). D'autres expériences en laboratoire favorisaient l'immersion des nymphes de punaises ternes dans une suspension de 1×10^7 conidies/ml pendant 5 secondes. Le taux de mortalité était de 86,7% en comparaison à 20,7% pour témoin eau (Liu et al., 2002).

Finalement, l'efficacité de Botanigard contre *Ostrinia nubilalis*, un ravageur du maïs a été observée. Une formulation granulaire spéciale ($2,2 \times 10^9$ conidies/g) a été appliquée à raison de 0,4 g/plant ($8,8 \times 10^8$ conidies/plant). La longueur des tunnels a été réduite de 46 à 55% en 1996 et de 20 à 53% en 1997. De

plus, le nombre de plants attaqués a diminué. Toutefois, les rendements étaient similaires à ceux obtenus avec le témoin (Lewis et al., 2002).

Marché et Production

Aux États-Unis, Botanigard a été homologué sous conditions en 1995. Il a été homologué de manière définitive en 1999.

Références Botanigard®

1. **Anonyme. 2003.** Can biological control thrips work in a spring bedding plant crop? Page consultée le 19 novembre 2003. Adresse URL : <http://www.agnr.umd.edu/ipmnet/thrsprng.htm>
2. **Bradley, C.A., J.C. Lord, S.T. Jaronski, S.A. Gill, A.J. Dreves and B.C. Murphy. 1998.** Mycoinsecticides in thrips management. Brighton Crop Protection Conference : Pests & Diseases-1998 : Volume 1 : Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 16-19 November 1998:177-182.
3. **EPA. 2003.** *Beauvaria bassiana* GHA – Technical Document (128924). Page consultée le 19 novembre 2003. Adresse URL: http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/ingredients/tech_128924.htm
4. **Heinz, K.M. 1998.** Biological control approaches for southern nursery and greenhouse growers. SNA research conférence 43:154-157.
5. **Hung, S.Y. and D.G. Boucias. 1992.** Influence of *Beauvaria bassiana* on the cellular defense response of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. J. of Invertebrate Pathology 6:152-158.
6. **Hung, S.Y., D.G. Boucias and A. Vey. 1993.** Effect of *Beauvaria bassiana* and *Candida albicans* on the cellular defense response of *Spodoptera exigua*. J. of Invertebrate Pathology 61:152-158.
7. **Jacobson, R.J., D. Chandler, J. Fenlon and K.M. Russell. 2001.** Compatibility of *Beauvaria bassiana* (Balsamo) Vuillemin with *Amblyseius cucumeris* Oudemans (Acarina : Phytoseiidae) to control *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera : Thripidae) on cucumber plants. Biocont Sci. Technol. 11:391-400.
8. **Jaros-Su, J., E. Groden and J. Zhang. 1999.** Effects of selected fungicides and the timing of fungicide application on *Beauvaria bassiana* induced mortality of the Colorado potato beetle (Coleoptera : Chrysomelidae). Biological Control 15:259-269.
9. **Kovach, J. 1996.** Using *Beauvaria bassiana* to manage tarnished plant bug in strawberries 1995. Strawberry IPM Update (IA State University) 3:7-8.
10. **Lewis, L.C., D.J. Bruck and R.D. Gunnarson. 2002.** On farm evaluation of *Beauvaria bassiana* for control of *Ostrinia nubilalis* in Iowa, USA. BioControl 47:167-176.
11. **Liu, H., M. Skinner, B.L. Parker and M. Brownbridge. 2002.** Pathogenicity of *Beauvaria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina : Hyphomycetes), and other entomopathogenic fungi against *Lygus lineolaris* (Hemiptera : Miridae). Biological and Microbial Control 95:675-681.
12. **Loria, R.S., S. Galaini and D.W. Roberts. 1983.** Survival of the entomopathogenic fungus *Beauvaria bassiana* as influenced by fungicides. Environ. Entomol. 12:1724-1726.
13. **Majchrowicz, I. and T.J. Poprawski. 1993.** Effects *in vitro* of nine fungicides on growth of entomopathogenic fungi. Biocontr. Sci. Technol. 3:321-336.
14. **Murphy, B.C., T. Morisawa and M.P. Parrella. 1998.** Insect-killing fungi : floriculture's IPM future? GrowerTalks 61.

15. **Norma, T. and K. Strickler. 1999.** Factors affecting *Beauvaria bassiana* for control of lygus bug (Hemiptera : Miridae) in alfalfa seed field. J. Agric. Urban Entomol. 16:215-233.
16. **Smith, S.F. and V.A. Krischick. 2000.** Effects of biorational pesticides on four coccinellidae species (Coleoptera : Coccinellidae) having potential as biological control agents in interiorscapes. Horticultural Entomology 93:732-736.
17. **Steinkrauss, D.C. and N.P. Tugwell. 1997.** *Beauvaria bassiana* (Deuteromycotina : Moniliales) effects on *Lygus lineolaris* (Hemiptera : Miridae). J. Entomol. Sci. 32:79-90.

SPINOSAD®

Description du produit

Spinosad est un bioinsecticide considéré comme faisant partie des insecticides du groupe 5. La compagnie Dow AgroSciences le commercialise sous l'appellation Success 480 SC Naturalyte et il est recommandé dans un programme de lutte intégrée. Le tableau 7 présente les propriétés de la préparation commerciale.

Tableau 7. Propriétés de la préparation commerciale Spinosad (Dow AgroSciences, 2003a et b)

Propriété	LIMAX
Couleur	Blanc cassé à ocre
Odeur	Odeur faible de peinture au latex
Suspension liquide	480 g / litre de matière active
pH	7,69
Point d'ébullition	100°C
Densité	1,09 g/ml à 20°C
Solubilité	Spinosyn A soluble (pH 9) à très soluble (pH 5 à 7) Spinosyn D insoluble (pH 9) à soluble (pH 5)

Mode d'action et Principe actif

Spinosad provient de la fermentation de l'actinomycète *Saccharopolyspora spinosa*, une nouvelle espèce découverte dans un échantillon de sol des Caraïbes en 1982 (Larson et al., 1999). Deux molécules sont ainsi obtenues soit **1**) spinosyn A (XDE-105 facteur A) et **2**) spinosyn D (XDE-105 facteur D). Dans le produit commercialisé, le ratio spinosyn A et D est approximativement 85:15. Il agit soit par contact ou par ingestion, ce dernier mode d'action s'avère être 5 à 10 fois plus efficace que par simple contact. Le Spinosad cause chez l'insecte une excitation du système nerveux, mène à un arrêt de l'alimentation, une contraction musculaire involontaire puis à une paralysie. Ces effets sont une conséquence de l'activation des récepteurs nicotiques de l'acétylcholine. En effet, les cellules nerveuses émettent des signaux chimiques pour communiquer entre elles et avec les autres cellules. Pour ce faire, les cellules utilisent des neurotransmetteurs, dont l'acétylcholine qui ne peut remplir son rôle lorsque le Spinosad excite son récepteur nicotinique. Spinosad peut également agir sur les récepteurs amino butyriques, ce qui pourrait augmenter son rendement, mais cet effet n'a pas été évalué. Spinosad est efficace dans le contrôle des lépidoptères, diptères, thysanoptères et quelques espèces d'orthoptères et de coléoptères (ARLA, 2001; Dow AgroSciences, 2003; 2003b; Kollman, 2003; Salgado, 1997; 1998; Salgado et al. 1998).

Il est recommandé d'utiliser Spinosad en alternance avec d'autres classes d'insecticides sur les générations d'insectes qui se succèdent afin de diminuer chez les ravageurs visés l'acquisition de la résistance au Spinosad (Dow AgroSciences, 2003a; 2003b).

La dégradation du Spinosad dans l'environnement se fait via différents procédés dont l'hydrolyse, la phototransformation, photolyse et biotransformation aérobiques (tab. 8) (ARLA, 2001; Kollman, 2003).

Tableau 8. La dégradation de Spinosad dans l'environnement

Transformation	Spinosyn A	Spinosyn D
Hydrolyse (demi-vie) (ARLA, 2001 ; Kollman, 2003)	200 jrs à 25°C, pH 9	259 jrs à 25°C, pH 9
Phototransformation en milieu aqueux, eau peu profonde (demi-vie)	0,96 jour (Kollman, 2003) 2 jours (ARLA, 2001)	0,84 jour (Kollman, 2003) 1 jour (ARLA, 2001)
Photolyse dans le sol (demi-vie) (Kollman, 2003)	8,68 jours	9,44 jours
Biotransformation aérobie dans le sol (demi-vie) (voie la plus importante)	17,3 jours (Kollman, 2003) 9 à 17 jrs à 25°C 24 à 43 jrs à 20°C (ARLA, 2001)	14,5 jours (Kollman, 2003) 15 jrs à 25°C 15 à 69 jrs à 20°C (ARLA, 2001)

Spectre d'activité

Le Spinosad est utilisé dans de nombreuses productions et son action est efficace contre les stades larvaires des différents ravageurs visés (tab. 9).

Tableau 9. Utilisation de Spinosad dans différentes cultures (Dow AgroSciences 2003a; 2003b).

Cultures	Ravageurs	Dose recommandée max/année	Délai avant récolte
Pommiers	Tordeuse à bande oblique	182 ml/ha 546/ha/an	7 jours
Pommes de terre	Doryphore de la pomme de terre	83-166 ml/ha 249 ml/ha/an	7 jours
	Pyrale du maïs	146 ml/ha 249 ml/ha/an	7 jours
Légumes racines & tubercules (raifort, radis, daïkon, navet, rutabaga)	Fausse arpentuse du chou, piéride du chou, fausse-teigne des crucifères	182 ml/ha 546/ha/an	3 jours
Maïs sucré	Pyrale du maïs	83 ml/ha 166 ml/ha/an	7 jours 28 jrs fourrage non-ensilé
Légumes-feuilles sauf <i>Brassica</i> (roquette, cerfeuil, cresson, endive, laitue, persil, céleri, etc)	Arpentuse du chou, piéride du chou, fausse-teigne des crucifères	182 ml/ha 546/ha/an	1 jour
Légumes-fruits sauf cucurbitacées (aubergine, cerise de terre, poivron, pepino, piment du Chili, piment doux, tomatille, tomate)	Pyrale du maïs	83 ml/ha 166 ml/ha/an	1 jour
	Doryphore de la pomme de terre	83 ml/ha 249 ml/ha/an	1 jour
	Arpentuse du chou, piéride du chou, fausse-teigne des crucifères	182 ml/ha 546/ha/an	1 jour

Tableau 9 (suite). Utilisation de Spinosad dans différentes cultures (Dow AgroSciences 2003a; 2003b).

Cultures	Ravageurs	Dose recommandée max/année	Délai avant récolte
Fruits à pépins (pomme, pommette, poire, pomme-poire, coing)	Tordeuse à bande oblique, enrouleuse trilignée, tordeuse du pommier, tordeuse européenne, pique-bouton du pommier	182 ml/ha 546/ha/an	7 jours
Légumes-feuilles <i>Brassica</i> (brocoli, chou de Bruxelles, chou, chou chinois, chou-fleur, rappini, pakchoi, etc)	Arpenteuse du chou, piéride du chou, fausse-teigne des crucifères	182 ml/ha 546/ha/an	3 jours
Drupes à noyau (abricot, cerise, nectarine, pêche, prune, pruneau)	Tordeuse à bande oblique, enrouleuse trilignée, tordeuse du pommier, tordeuse européenne, pique-bouton du pommier	182 ml/ha 546/ha/an	Selon la culture, entre 7 et 14 jours
Haricot mange-tout	Pyrale de maïs	83 ml/ha 166 ml/ha/an	3 jours

Success 480 SC a fait l'objet d'une homologation d'urgence valide du 25 juillet 2003 au 15 août 2003 dans les cultures de framboises et de mûres en Colombie-Britannique contre la tordeuse et le ver-gris panaché. La dose recommandée était de 220 ml/ha et la dose maximale annuelle était de 440 ml/ha/an. Le délai d'attente avant récolte était de 1 jour.

Il est à noter que seul le mode d'utilisation du produit pour les cultures de pommes et de pommes de terre a été rédigé par la compagnie Dow Agrosociences Canada inc. Les autres utilisations décrites ont été acceptées aux fins d'homologation par Santé Canada en vertu du Programme d'extension du profil d'emploi pour les usages limités demandés par les utilisateurs.

Compatibilité

En 1999, Torres et al. ont déterminé la toxicité de Spinosad sur le prédateur *Podisus nigrispinus* et ses proies *Spodoptera frugiperda* et *Tuta absoluta*. Les deux modes d'exposition, topique et ingestion, ont été utilisés. Leur conclusion est que le prédateur adulte est 5 fois moins sensible que la larve de *T. absoluta* et 35 fois moins que la larve de *S. frugiperda* par ingestion. L'ingestion est 4 fois plus dommageable pour le prédateur que la méthode par contact. Une mortalité de 4,9 par contact et 16,1% par ingestion chez la femelle et 16,9 et 26,0% chez le mâle.

Ludwig et Oetting (2001) ont fait des essais de Spinosad sur le prédateur *Orius insidiosus* utilisé contre *Frankliniella occidentalis* (thrips) dans les serres sur une culture de chrysanthème en pot. Spinosad et le prédateur ont été utilisés en combinaison pour vérifier leur compatibilité. Dans un premier essai, le prédateur a eu un faible taux d'établissement lorsque exposé au Spinosad mais dans un deuxième essai, le Spinosad n'a pas eu un effet néfaste sur *O. insidiosus* tout en ayant une bonne répression du ravageur.

Spinosad est très toxique pour les abeilles et invertébrés aquatiques exposés à une pulvérisation directe, à une dérive ou aux résidus sur la végétation. Les risques pour les organismes non ciblés sont présentés au tableau 10.

Tableau 10. Risques pour les organismes non ciblés (ARLA, 2001)

Organisme	Étude	Risque
Colvert	Aiguë orale, alimentaire 8 jours	Aucun
Souris	Alimentaire 90 jours	Aucun
Rat	Aiguë orale	Aucun à modéré
	Alimentaire 2 ans	Aucun
Lombric	Aiguë 14 jours	Aucun
Abeille domestique	Contact 48 heures	Élevé
Prédateurs et parasites	Contact 24 heures	Modéré
	Orale 24 heures	Faible
Daphnia magna	48 heures	Faible
	21 jours	Élevé
Huître	96 h, dépôt coquille	Faible
Truite arc-en-ciel	96 heures	Aucun

Tests d'efficacité

En 1996-97, Harris et Maclean (1999) ont vérifié l'efficacité de Spinosad sur trois insectes ravageurs des cultures de *Brassica*; soient la fausse-teigne des crucifères (*Plutella xylostella*), la piéride de la rave (*Pieris rapae*) et *Scaptomyza* sp.. Trois sites de production commerciale de choux et un site pour le chou-fleur composaient le dispositif. La recherche comparait le Spinosad au deltaméthrin et comportait un témoin non traité. Les résultats ont démontré que pour les trois insectes, dans le chou, Spinosad obtenait des résultats équivalents à ceux de l'insecticide deltaméthrin et contribuait à contrôler les populations versus le témoin non traité. Dans la production de chou-fleur, le Spinosad a eu des résultats égaux ou légèrement supérieurs au deltaméthrin. Selon l'évaluation des chercheurs, cette situation serait due à un début de résistance des insectes à l'insecticide chimique.

Liu et al. (1999) ont utilisé le Spinosad (Spintor) contre deux stades larvaires (2 et 3) de la fausse-arpenteuse du chou (*Trichoplusia ni*) en champ et en laboratoire. Le produit s'avéra, au champ, plus efficace contre le stade 2, donnant 100 % de mortalité au jour 0. Mais six jours après l'application, une diminution de l'efficacité était observée. En laboratoire, trois traitements au Spinosad ont été vérifiés sur des larves de stade 3 soit **1)** larves traitées seulement; **2)** larves et feuilles traitées et **3)** feuilles traitées seulement pour nourrir les larves. Les résultats ont démontré que le produit agissait bien par contact et par ingestion, mais que son efficacité était plus grande par ingestion et encore meilleure lorsqu'il y avait contact et ingestion.

Marché et production

Spinosad a été homologué pour la première fois en 1997, aux États-Unis dans la culture du coton (Ware, 1999). Depuis, Spinosad se retrouve dans 35 pays à travers les 5 continents sous différentes appellations (Tracer, Laser, Credence, Spinoace, Naturalyte, Caribstar, Boomerang, Spintor et Conserve) (tab. 11). Parmi les différentes productions où l'on peut utiliser Spinosad au Canada, il y a les agrumes, le gazon, le tabac et les céréales soient celles reconnues aux États-Unis (Thompson et al., 2003).

Tableau 11. Utilisation du Spinosad sur différentes cultures à travers le monde

Emplacements	Cultures
Amérique du Sud	coton, tomate, soya, maïs, plantes ornementales et nectarine
Asie	coton, légumes, gazon, pêche et poire
Australie	légumes et coton
Canada	agrumes, gazon, tabac et céréales
États-Unis	agrumes, gazon, tabac et céréales
Europe	poivron, vigne et plantes ornementales

Références Spinosad®

1. **ARLA. 2001.** Spinosad Success 480SC Naturalyte et Conservemd 480SC Naturalyte. Note réglementaire REG2001-10. 86 pp. Page consultée le 20 novembre 2003. Adresse URL : <http://www.hc-sc.gc.ca/pmra-arla/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf>
2. **Dow AgroSciences. 2003a.** Success 480 SC Naturalyte. Page consultée le 30 octobre 2003. Adresse URL : http://www.dowagro.com/ca/labels/product_results.asp
3. **Dow AgroSciences. 2003b.** Conserve 480 SC Naturalyte. Page consultée le 20 novembre 2003. Adresse URL : <http://www.dowagro.com/turf/prod/spinb.htm>
4. **Harris, B.M. and B. Maclean. 1999.** Spinosad : control of lepidopterous pests in vegetable *Brassicas*. 52nd Conference proceedings (1999) of the New Zealand Plant Protection Society Inc.: 65-69. Adresse URL : <http://www.hornet.co.nz>
5. **Kollman, W.S. 2003.** Environmental fate of Spinosad. 2003. Page consultée le 21 novembre 2003. Adresse URL : http://www.cdpr.ca.gov/docs/empm/pubs/fatememo/Spinosad_fate.pdf
6. **Larson, L.L., T. Sparks and G.D. Thompson. 1999.** The Spinosyns, new insect control agents isolated from *Saccharopolyspora spinosa*. Page consultée le 20 novembre 2003. Adresse URL : <http://www.ent.iastate.edu/entsoc/ncb99/prog/abs/223.html>
7. **Liu, T.X., A.N. Sparks, W.H. Hendrix, B.S. Yue, Liu T.X. and B.S. Yue. 1999.** Effects of SpinTor (Spinosad) on cabbage looper (Lepidoptera: Noctuidae): toxicity and persistence of leaf residue on cabbage under field and laboratory conditions. *J.of Economic Entomology* 92:1266-1273.
8. **Ludwig, S. and R. Oetting. 2001.** Effect of Spinosad on *Orius insidiosus* (hemiptera : anthocoridae) when use for *Frankliniella occidentalis* (thysanoptera : thripidae) control on greenhouse pot chrysanthemums. *Florida entomologist* 84:311-313.
9. **Salgado, V.L. 1997.** The mode of action of Spinosad and other insect control products. *Down to Earth* 52:35-44.
10. **Salgado, V.L. 1998.** Studies on the mode of action of Spinosad : insects symptoms and physiology correlates. *Pesticides Biochemistry and Physiology* 60:91-102.
11. **Salgado, V.L., J.J. Sheets, G.B. Watson and A.L. Schmidt. 1998.** Studies on the mode of action of Spinosad : the internal effective concentration and the concentration dependence of neural excitation. *Pesticides Biochemistry and Physiology* 60:103-110.
12. **Torres, J.B., P. de Clercq and R. Barros. 1999.** Effect of Spinosad on the predator *Podisus nigrispinus* and its lepidopterous prey. Proceedings, 51st international symposium on crop protection, Gent, Belgium 64:3a, pp. 211-218.
13. **Thompson, G.D., S.H. Hutchins and T.C. Sparks. 2003.** Development of Spinosad and Attributes of a New Class of Insect Control Products. Page consultée le 19 novembre 2003. Adresse URL : <http://ipmworld.umn.edu/chapters/hutchins2.htm>

14. **Ware, G.W. 1999.** An introduction to insecticides. Page consultée le 30 octobre 2003. Adresse URL : <http://ipmworld.umn.edu/chapters/ware.htm>

CONCLUSIONS

Selon le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, l'utilisation de la lutte chimique et biologique en Grande-Bretagne a été évaluée depuis 1968 (Garthwaite, 2000). L'utilisation des agents biologiques pour toutes les productions en Grande-Bretagne est passée de 17 ha traités en 1968 à 3813 en 1981 et à 30 889 en 1995; une augmentation décuplée au cours des 14 dernières années principalement à cause de la lutte biologique aux insectes puisque aucun biofongicide n'était homologué en Grande-Bretagne en 1995. Cependant, les plus grandes augmentations ont été enregistrées pour la protection des cultures serricoles : 13 960 ha pour les plantes comestibles et 7074 ha pour les plantes ornementales en 1995. Même si les productions serricoles ne représentent qu'un faible pourcentage de la superficie totale cultivable, elles utilisent près du deux tiers de tous les agents biologiques disponibles. Au même moment, l'utilisation des insecticides dans les serres a chuté de 4866 ha traités en 1981 à 2292 ha en 1995. Pour la tomate de serre, la plus importante plante comestible de la Grande-Bretagne, ces aires traitées avec les insecticides chimiques sont passés de 2497 ha en 1976 à 324 ha en 1995 tandis que les aires traitées biologiquement passaient de 406 ha en 1976 à 10 350 ha en 1995, soit une augmentation de 23 fois. En 1985, seulement quatre produits étaient disponibles tandis que dix ans plus tard, il y avait 16 produits biologiques.

Bien que le marché des serres soit petit lorsque comparé à la surface cultivable au champ, il représente plus de 300 000 ha dans le monde dont 50 000 ha sont consacrés à des systèmes de production hautement sophistiqués. Les rendements peuvent excéder ceux du champ de près de 40 fois pour des aires de production similaires (van Lenteren, 2000). Les serres offrent donc un environnement privilégié pour le contrôle des maladies mais leur utilisation à cette fin est encore très limitée. Quelques produits sont actuellement disponibles et plusieurs autres devraient occuper le marché au cours des prochaines années.

Les agents antagonistes ont un bon potentiel en lutte biologique car ils présentent plusieurs avantages dont certains leur sont exclusifs. Par exemple,

- 1) ils exploitent le plus souvent les formes juvéniles du ravageur visé;
- 2) un seul hôte peut produire des millions de spores infectieuses;
- 3) la production en masse du micro-organisme bénéficie de la technologie acquise dans plusieurs secteurs industriels;
- 4) ils peuvent être appliqués avec les mêmes techniques que les insecticides traditionnels;
- 5) Les agents antagonistes très virulents peuvent causer une mortalité en peu de temps.

Par contre, des barrières limitent l'implantation rapide de l'usage des bioinsecticides. Parmi celles-ci, nous notons :

- 1) le manque de connaissances fondamentales sur la biologie et l'épidémiologie des micro-organismes concernés;
- 2) l'impossibilité de produire économiquement en masse plusieurs sortes de micro-organismes potentiellement utiles;
- 3) l'incertitude d'obtenir des niveaux élevés de mortalité chez les ravageurs visés, liée à l'impossibilité de contrôler tous les facteurs qui conditionnent le succès de l'infection,
- 4) le développement de la maladie et le dépérissement de l'hôte;
- 5) la sensibilité naturelle des micro-organismes à l'adversité environnementale et la faible durabilité de leurs formes de propagation.

RÉFÉRENCES GÉNÉRALES

1. **Anonyme. 2003.** Les biopesticides microbiens, une application des biotechnologies à la lutte biologique. Page consultée le 16 octobre 2003. Adresse URL: http://www.inapg.inra.fr/ens_rech/bio/biotech/textes/applicat/agricult/vegetale/protcult/p..
2. **ARLA. 2003.** Registered Microbials and Pheromones in Canada. 6 pp.
3. **Boiteau, G. 1988.** Control of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*, learning from the Soviet experience. Bull. Entomol. Soc. Can. 20:9-14.
4. **Bostanian, N.J. and L.J. Coulombe. 1986.** An integrated pest management program for apple orchards in southwestern Québec. Can. Entomol. 118:1131-1142.
5. **Caltagirone, L.E. 1981.** Landmark examples in classical biological control. Annu. Rev. Entomol. 26:213-232.
6. **Cloutier, C. et C. Cloutier. 1992.** Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures. pp. 19-88 Dans C. Vincent et D. Coderre. La lutte Biologique. Gaëtan Morin Éditeur, Montréal, et Tec & Doc Lavoisier, Paris.
7. **Cross, J. and D.R. Polonensko. 1996.** An industry perspective on registration and commercialization of biocontrol agents in Canada. Can. J. Plant Pathol. 18:455-62.
8. **Cunningham, J.C. 1988.** Viruses for control of insect pests in Canada. Biocontr. News / Nouv. Lutte biol (Agric. Can.) 1:36-37.
9. **Debach, P. 1974.** Biological Control by Natural Enemies. Cambridge University Press, New York, 323 pp.
10. **Delorme, R., A. Angot et D. Augé. 1984.** Variations de sensibilité d'*Encarsia formosa* Gahan (Hym. :Aphelinidae) soumis à des pressions de sélection insecticides : approches biologiques et biochimiques. Agronomie 4:305-309.
11. **Feng, Z., R.I. Carruthers, T.S. Larkin and D.W. Roberts. 1988.** A phenology model and field evaluation of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin (Deuteromycotina: Hyphomycetes) mycosis of the European corn borer *Ostrinia nubilalis* (Hbn.) (Lepidoptera:Pyralidae). Can. Entomol. 120:133-144.
12. **Ferron, P. 1978.** Biological control of insect pests by entomogenous fungi. Annu. Rev. Entomol. 23:409-442.
13. **Fournier, D., M. Pralavorio, Y. Trottin-Caudal, J. Coulon, S. Malezieux et J.B. Berge. 1987.** Sélection artificielle pour la résistance au méthidathion chez *Phytoseiulus persimilis*. A.H. Entomophaga 32:209-219.
14. **Garthwaite, D. 2000.** Changes in biological control usage in Great Britain between 1968 and 1995 with particular reference to biological control on tomato crops. *Biocontrol Science Technol.* 10:451-57.

15. **Gillespie, D.R. 1988.** Greenhouse evaluations of a predatory mite, *Hypoaspis* sp., *Biocontr. News / Nouv. lutte biol. (Agric. Can.)* 1:34.
16. **Grainge, M. and S. Ahmed. 1988.** Handbook of Plants with Pest Control Properties. John Wiley & Sons, New York.
17. **Granados, R.R. and B.A. Federici. 1986.** The biology of baculoviruses: Vol. 1 Biological Properties and Molecular Biology. CRC Press, Boca Raton, Florida, 304 pp.
18. **Hall, R.A. 1982.** Control of withefly, *Trialeurodes vaporariorum* and cotton aphid, *Aphis gossypii*, in glasshouses by two isolates of the fungus *Verticillium lecanii*. *Annu. Appl. Biol.* 101:1-11.
19. **Hall, F.R. and J.J. Menn. 1999.** Biopesticides, Use and Delivery. Humana Press, Totowa, New Jersey.
20. **Hassell, M.P. 1978.** The dynamics of arthropod-prey systems. Princeton Univ. Press, Princeton, N.J. 237 pp.
21. **Hudon, M. and E.J. LeRoux. 1986.** Biology and population dynamics of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) with special reference to sweet corn in Québec: III. Population dynamics and spatial distribution. *Phytoprotection* 67:93-115.
22. **Hussey, N.W. 1985a.** Biology of pests and natural enemies: thrips and their natural enemies. pp. 53-57 *In* N.W. Hussey and N. Scopes. *Biological Pest Control: the Glasshouse Experience*. Cornell University Press, Ithaca, N.Y. 240 pp.
23. **Hussey, N.W. 1985b.** Practical experience with biological control : withefly control by parasites. pp. 104-115. *In* N.W. Hussey and N. Scopes. *Biological Pest Control: the Glasshouse Experience*. Cornell University Press, Ithaca, N.Y. 240 pp.
24. **Khachatourians, G.K. 1986.** Production and use of biological pest control agents. *Trends Biotech.* 4:120-124.
25. **Lambert, L. 2002.** Le point sur l'utilisation de la lutte biologique et intégrée en serriculture ornementale au Québec. *Antennae* vol. 9, no 2. 4 pp.
26. **Larson, R.O. 1989.** The commercialization of neem. pp. 155-168. *In* M. Jacobson. *Focus of Phytochemical Pesticides*. Vol. 1 The neem tree. CRC Press Boca Raton, Fla.
27. **Martel, P. et J. Belcourt. 1985.** Essais d'insecticides. *Pesticide Research Report (Agric. Can.):*110.
28. **Miller, L.K., A.J. Lingg and L.A. Bulla jr. 1983.** Bacterial, viral and fungal insecticides. *Science* 219:715-721.
29. **NAS. 1969.** *Insect Pest Management and Control*. National Academy of Science. Publ. 1695. Washington, D.C.
30. **Paulitz, T. and R.R. Bélanger. 2001.** Biocontrol in greenhouse systems. *Ann. Rev. Phytopathol.* 39:103-133.
31. **Pimentel, D. 1981.** *CRC Handbook of Pest Management in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida.

32. **Poinar, G.O. jr. and G.M. Thomas. 1985.** Laboratory guide to insects pathogens and parasites. Plenum Press, New-York, 392 pp.
33. **Powell, K.A. and A.R. Jutum. 1993.** Technical and commercial aspects of biocontrol products. *Pest. Sci.* 37:315-21.
34. **Riba, G. and C. Silvy. 1993.** La lutte biologique et les biopesticides pp.49-64. *Dans La lutte biologique. Dossier de la cellule environnement no 5.*
35. **Schmutterer, H. 1992.** Higher plant as sources of novel pesticides. pp. 3-15. *In D. Otto and B. Weber. Insecticides : Mechanism of Action and Resistance. Intercept Ltd Andover, UK.*
36. **Statistics Canada. 1998.** Greenhouse, sod and nursery Industries. Catalogue no 22-202-XIB, pp. 14-15.
37. **van Lenteren, JC. 2000.** A greenhouse without pesticides : fact or fantasy? *Crop Prot.* 19:375-84.
38. **Waage, J. and D. Greathead. 1986.** Insect parasitoids. Academic Press, London, 389 pp.
39. **Ware, G.W. 1991.** Fundamentals of Pesticides. A Self-Instruction Guide. 3rd ed. Thomson Pul. Fresno, CA.
40. **Weinzeirl, R. 1998.** Botanicals insecticides, soaps and oils. pp. 101-121. *In JE Rechcigl and NA Rechcigl. Biological, Biotechnological Control of Insects Pest in. Lewis Publi., Boca Raton, Florida.*
41. **Vincent, C. et D. Coderre. 1992.** La lutte biologique. Gaëtan Morin Éditeur, Montréal, et Tec & Doc Lavoisier, Paris. Pp. 3-18.

PHASES 2 ET 3. ESSAIS SUR LE TERRAIN

Les phases 2 et 3 avaient pour objectif de déterminer en conditions naturelles le potentiel des produits en début de développement. Des tests d'efficacité en conditions contrôlées sur de petites superficies en serres ou en champs ont été menés à différentes échelles spatiales. La nature des tests a varié selon les biopesticides étudiés, en fonction de leur avancement respectif dans le processus d'homologation. Dans tous les cas, nous avons suivi rigoureusement les procédures décrites et exigées par l'ARLA, notamment en ce qui concerne les types de traitements et de témoins.

Étape 1. Bioinsecticides

Activité 1. FACIN

Les essais réalisés en parcelles expérimentales avaient pour objectif d'évaluer les effets du bioinsecticide FACIN de Codena inc. sur des organismes bénéfiques du sol en milieu urbain. Le FACIN en micro-émulsion est un bioinsecticide en voie d'homologation dont les effets sont reconnus dans la lutte entre autres contre la punaise velue et le ver blanc, ravageurs du gazon. Dans le cadre du processus d'homologation, l'ARLA exige de la part du fabricant des études écotoxicologiques visant à vérifier les effets des produits sur les organismes non visés. On retrouve parmi les organismes non visés reconnus par l'ARLA pour les études de toxicité les vers de terre, qui ont une grande influence sur la fertilité du sol et d'autres insectes prédateurs comme les carabes. La présente étude présente les résultats des effets du FACIN sur l'abondance et la diversité des vers de terre et des carabes.

Le rapport synthèse traitera séparément des carabes et des vers de terre, ces organismes n'ayant pu être testés sur les mêmes parcelles de recherche. La faible présence de lombriciens sur le site expérimental initial a obligé l'équipe de recherche à reproduire l'essai sur un autre site, où les populations de lombriciens étaient jugées importantes. Cependant, la superficie disponible pour ce nouvel essai a rendu impossible la mesure de l'abondance et de la diversité des carabes. Les essais ont donc été menés sur trois sites expérimentaux. L'abondance des lombriciens a été vérifiée sur deux sites, un à l'Université Laval et un autre au Domaine Catarqui alors que les populations de carabes ont été mesurées au site de l'usine de traitement des eaux de Beauport.

Évaluer en conditions naturelles les effets d'un traitement FACIN sur l'abondance des lombriciens

On utilise couramment les lombriciens dans les études écotoxicologiques. Leurs effets sur la fertilité du sol, fort bien documentés, ainsi que leur sensibilité aux changements édaphiques et aux interventions humaines font d'eux des bioindicateurs pertinents dans l'évaluation de la qualité d'un sol ou de la toxicité d'un produit.

Plusieurs méthodes ont été élaborées pour estimer les populations de lombriciens dans le sol comme le prélèvement manuel, le lavage du sol ou l'utilisation du courant électrique. Une autre méthode, l'extraction chimique, est retenue dans le cadre de cet essai et consiste à utiliser une solution de formaldéhyde pour faire émerger les vers de terre du sol. Cette méthode est non destructive et les populations de lombriciens extraites sont suffisamment importantes pour que la méthode soit jugée la plus appropriée pour ce genre d'essai.

Dispositif expérimental

L'abondance des lombriciens a été mesurée sur deux sites. Le premier site était localisé sur les terrains de l'Université Laval à Ste-Foy. L'essai a été répété à deux périodes soit pendant l'été et l'automne 2004. Le deuxième site était au Domaine Catarauqui du chemin St-Louis à Ste-Foy. L'essai a été réalisé une fois à l'été 2004. Le tableau 12 présente les dates de l'application des traitements et de la prise des mesures de l'abondance des lombriciens aux deux sites.

Tableau 12. Description des dates d'application des traitements et des dates d'échantillonnages des lombriciens

	Site 1. Université Laval		Site 2. Catarauqui
Date de l'application des traitements	07-07-2004	10-09-2004	29-07-2004
Date d'échantillonnage des lombriciens – jour 9	16-07-2004	20-09-2004	09-08-2004
Date d'échantillonnage des lombriciens – jour 40	17-08-2004	20-10-2004	08-09-2004

Quatre traitements ont été appliqués sur les parcelles expérimentales de l'Université Laval. Deux traitements avec le bioinsecticide FACIN à différentes doses, un traitement avec un insecticide homologué, le SEVIN et un traitement avec de l'eau. Les parcelles sont distribuées aléatoirement à l'intérieur de quatre blocs complets. Les parcelles expérimentales de l'Université Laval étaient de quatre mètres carrés. Une bande tampon de 0,5 mètre séparait chacune des parcelles.

Au site du Domaine Catarauqui, six traitements ont été comparés. Quatre traitements avec le FACIN, à différentes doses et différentes quantités de bouillie, un traitement avec le SEVIN et un traitement avec de l'eau. Les traitements ont été appliqués sur des parcelles distribuées à l'intérieur de quatre blocs complètement aléatoires. Les parcelles étaient de 16 mètres carré. Aucune bande tampon ne séparait les parcelles. Les figures 1 et 2 montrent les dispositifs expérimentaux des sites de l'Université Laval et du Domaine Catarauqui respectivement.

Les applications étaient effectuées à l'aide d'un pulvérisateur manuel d'une capacité de 2 litres dans le cas des parcelles de l'Université Laval et d'un pulvérisateur manuel d'une capacité de 12 litres pour les parcelles du Domaine Catarauqui. Le FACIN ME utilisé pour les parcelles de l'Université Laval provenait du lot ECS/16/69 alors que celui utilisé au domaine Catarauqui provenait du lot 04B/18. L'insecticide SEVIN Chipco de Bayer et l'eau sont utilisés à titre de témoins. Les tableaux 13 et 14 décrivent les traitements appliqués sur les parcelles expérimentales des sites de l'Université Laval et du Domaine Catarauqui respectivement.

Tableau 13. Description des traitements appliqués sur les parcelles du site de l'Université Laval

Traitement	Produit	Concentration ml/m ²	Volume par parcelle (ml)	Volume de bouillie ml/m ²	Volume de bouillie ml/parcelle
1	FACIN	5,0	20	250	1000
2	FACIN	10,0	40	250	1000
3	SEVIN	2,5	10	250	1000
4	Eau	0	0	250	1000

Tableau 14. Description des traitements appliqués sur les parcelles du site du Domaine Catarauqui

Traitement	Produit	Concentration ml/m ²	Volume par parcelle	Volume de bouillie ml/m ²	Volume de bouillie ml/parcelle
1	Eau	0	0	250	4000
2	SEVIN	2,5 ⁽¹⁾	40	250	4000
3	FACIN	1,25	20	250	4000
4	FACIN	2,5	40	250	4000
5	FACIN	5	80	250	4000
6	FACIN	5	80	100	1000

(1) Dose recommandée sur l'étiquette.

Prélèvement des lombriciens

L'abondance des lombriciens a été mesurée au neuvième et au quarantième jour suivant l'application des traitements. Les paramètres qui ont servi à évaluer l'abondance des lombriciens dans le sol sont le nombre total de vers et leur masse fraîche (g) total pour un échantillon. L'échantillonnage des lombriciens a été effectué à l'aide de la méthode par extraction chimique en utilisant une solution de formaline. Précisément, la méthode consiste à introduire un cylindre ayant une surface donnée, 0,1 m² pour la présente expérience, et à remplir ce cylindre avec une solution formaline d'une concentration de 0,25%. Les lombriciens, stressés par la présence de liquide et de formaline, montent à la surface suivant les 10 à 15 minutes après l'immersion. Ils sont alors récoltés, comptés et la masse fraîche de chaque échantillon est mesurée. Il y a deux échantillonnages de lombriciens par parcelle. Nous n'avons pas mesuré, a priori, les densités de vers de terre sur les parcelles. Le protocole fourni par CODENA a été suivi à la lettre, lequel ne mentionnait pas un échantillonnage avant les traitements. Nous nous étions toutefois assuré de travailler sur un terrain où les vers de terre étaient présents. De plus, compte tenu de la taille des parcelles et de leur proximité, nous pouvons assumer que les densités étaient similaires entre les parcelles. Les données ont été analysées à l'aide du logiciel de statistique SAS. On a utilisé la procédure GLM de SAS pour faire l'analyse de variance des données et le test du LSD protégé pour déterminer les différences entre les traitements.

Chemin

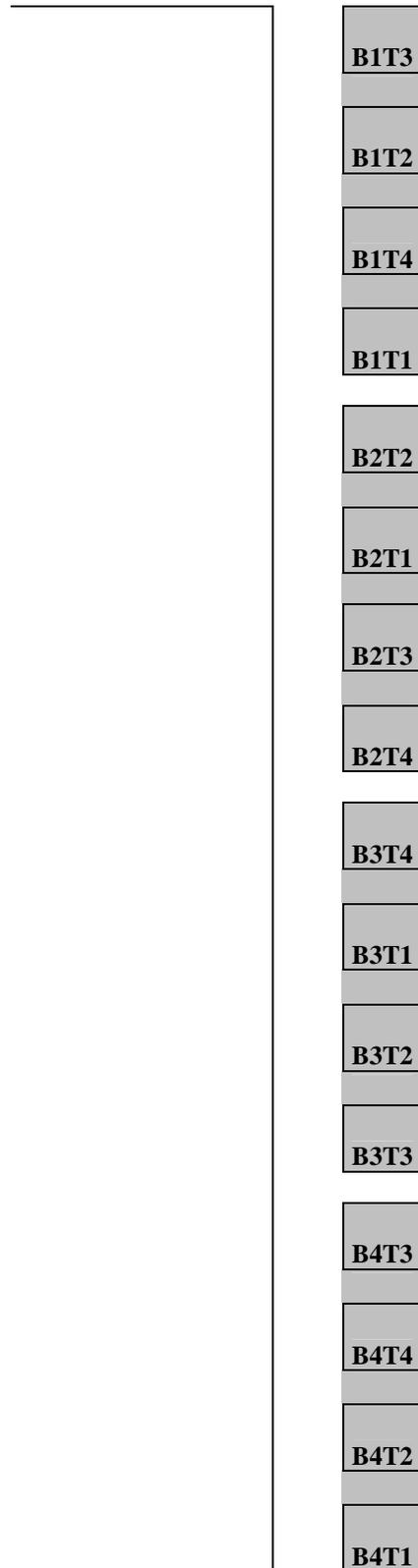


Figure 1. Dispositif expérimental du site de l'Université Laval.

Parcelle= 2m X 2m
Bande tampon entre 2
parcelles = 0,5 m

B= Bloc
T= Traitement
T1= FACIN 5,0 ml/m²
T2= FACIN 10,0 ml/m²
T3= SEVIN 2,5 ml/m²
T4= Eau

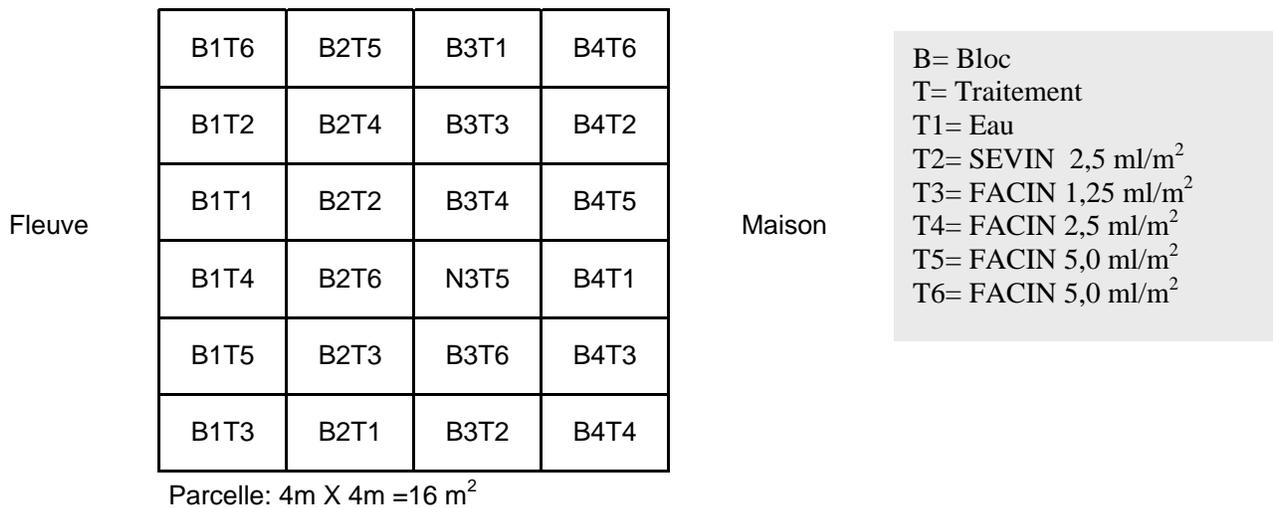


Figure 2. Dispositif expérimental du site du Domaine Catarauqui.

Évaluer en conditions naturelles les effets d'un traitement FACIN sur l'abondance et la diversité des carabes

Les carabes sont des insectes prédateurs à la surface du sol. Ils sont reconnus pour être des bioindicateurs pour mesurer les impacts d'une intervention sur le sol. Ils sont mobiles, colonisent tous les types de sols, sont sensibles aux changements de leurs habitats et étant des prédateurs polyphages, leur activité a des répercussion sur plusieurs autres organismes. Par ailleurs, l'écologie et la biologie des carabes bien connus des entomologistes.

Dispositif expérimental

Le site expérimental utilisé pour évaluer les effets du FACIN sur les populations de carabes était localisé sur le terrain de l'usine de traitements des eaux de la Ville de Québec, situé à Beauport. Des parcelles d'une superficie de 36 m² étaient distribuées à l'intérieur de quatre blocs complètement aléatoires selon le dispositif présenté à la figure 3. Quatre traitements étaient comparés et sont décrits dans le tableau 15. L'insecticide SEVIN et l'eau servaient une fois de plus de témoin.

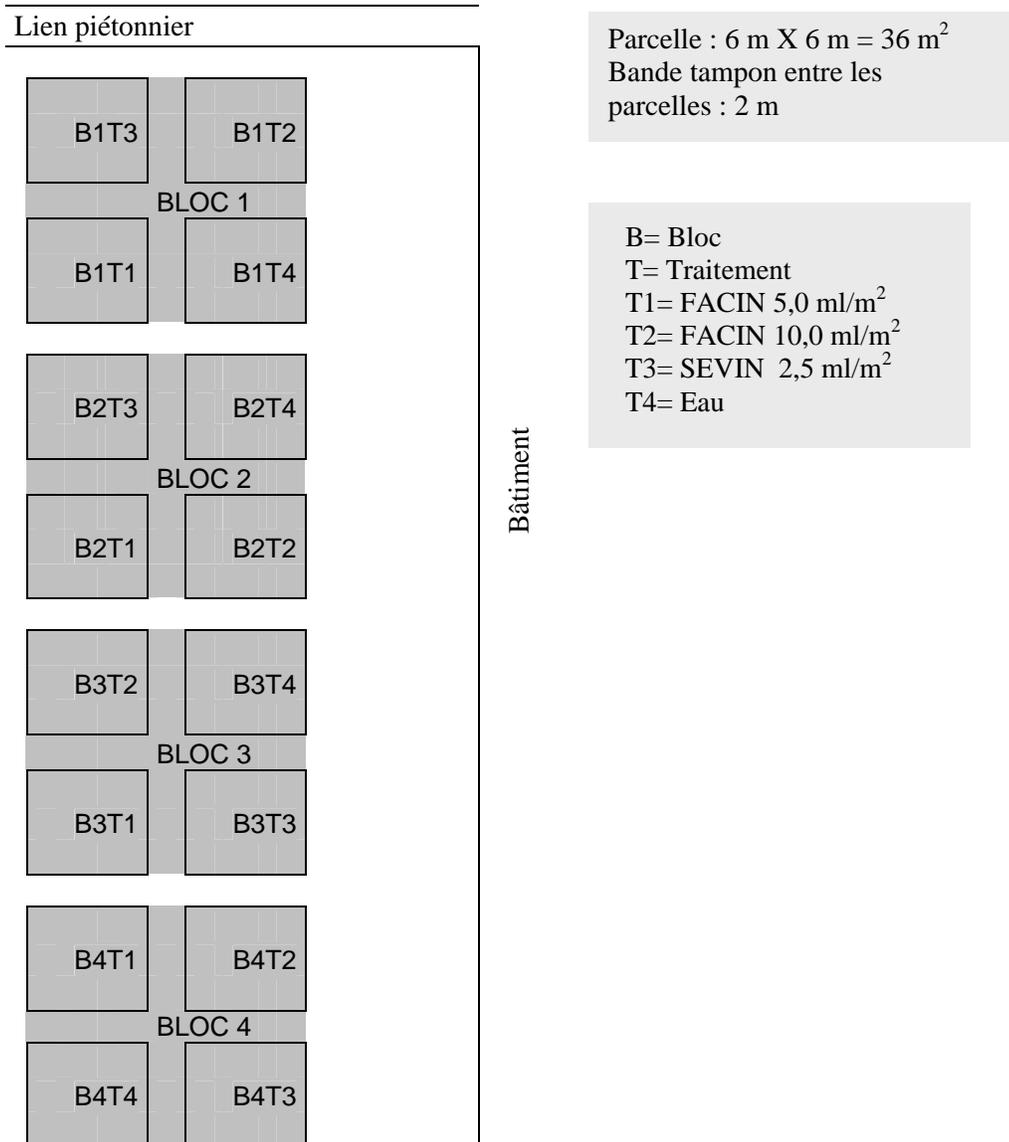


Figure 3. Dispositif expérimental du site de Beauport

Tableau 15. Traitements appliqués sur les parcelles de Beauport

Traitement	Produit	Concentration ml/m ²	Vol. par parcelle (ml)	Vol. de bouillie ml/m ²	Vol. de bouillie ml/parcelle
1	FACIN	5,0	180	250	9000
2	FACIN	10,0	360	250	9000
3	SEVIN	2,5	90	250	9000
4	Eau	0	0	250	9000

Prélèvement des carabes

La méthode des pièges-fosses est utilisée pour l'échantillonnage des carabes. Deux pièges sont introduits dans le sol au centre de chaque parcelle et sont remplis avec un mélange d'éthylène glycol et d'eau (60% éthylène glycol et 40% eau distillée). Les arthropodes de surfaces sont prélevés une semaine suivant l'insertion des pièges. Ils sont alors placés sur un tamis et nettoyés. Les carabes sont ensuite dénombrés et identifiés à l'espèce.

Activité 2. Bioprotec, Limax

La compagnie AEF Global inc. n'a pas effectué d'essais supplémentaires avec les produits Bioprotec CAF (ARLA #26854) et Bioprotec 3P (ARLA #27750) puisqu'elle a obtenu leur homologation en 2003 et 2004 respectivement. Pour le produit LIMAX, des essais devaient avoir lieu en 2004 dans deux champs de crucifères (brocoli et chou-fleur) de la région Chaudière-Appalaches mais malheureusement, la compagnie n'a pas obtenu son permis de recherche de l'ARLA. Des problèmes administratifs au sein de l'ARLA ont empêché AEF Global inc. de procéder aux essais terrain. Une nouvelle demande a été formulée pour des essais prévus dès 2005 mais la compagnie n'a pas obtenu les permis requis.

Activité 3. SPINOSAD et autres produits

La punaise velue, *Blissus leucopterus hirtus* est un insecte piqueur-suceur s'attaquant aux graminées à gazon et qui peut engendrer des dommages importants aux pelouses résidentielles, commerciales et municipales. Jusqu'à présent, la principale méthode pour lutter contre ce ravageur est l'utilisation de pesticides de synthèse. Toutefois, l'utilisation répétitive d'insecticides de synthèse peut occasionner des problèmes tant au niveau environnementale qu'au niveau de la santé humaine. C'est d'ailleurs pourquoi le Ministère de l'environnement du Québec adopta en avril 2003, le Code de gestion des pesticides afin de protéger la santé des citoyens et l'environnement. Depuis l'entrée en vigueur du Code, les terrains municipaux, publics et para-publics, ainsi que les centres de la petite enfance et les écoles, ne peuvent plus utilisés plusieurs pesticides de synthèse sur leurs surfaces gazonnées. Ce sera également le cas des terrains privés et commerciaux en 2006. Les méthodes alternatives aux insecticides de synthèse sont actuellement peu nombreuses pour les surfaces gazonnées, il y a donc urgence de développer ou du moins, d'évaluer d'autres méthodes potentiellement intéressantes pour lutter contre les ravageurs des gazons.

C'est dans cette optique qu'à l'hiver et au printemps 2004, des essais avec des insecticides à faible toxicité et d'origine naturelle ont été réalisés en laboratoire au Centre de Recherche en Horticulture de l'Université Laval. L'objectif principal de ces tests est de vérifier l'efficacité de certains produits pour contrôler la punaise velue. Pour la plupart des produits utilisés dans cette étude, aucune donnée rigoureuse n'était disponible quant à leur efficacité vis-à-vis la punaise velue. Les produits utilisés dans la présente étude ont été sélectionnés selon leur niveau potentiel d'efficacité contre la punaise velue ainsi que leur disponibilité sur le marché québécois.

Élevage des punaises velues

À l'automne 2003, des adultes de punaises velues ont été échantillonnées sur le terrain et placées dans des pots afin d'obtenir des œufs et éventuellement des larves pour réaliser les tests (Figure 4). Cet élevage de punaises velues a été réalisé avec des plants de sorgho cultivar 'Sudan', *Sorghum bicolor* (Figure 5), une plante sur laquelle la punaise velue se développe et se reproduit adéquatement. Les punaises velues ont ensuite été placées en chambre de croissance (Figure 6) à une température de 20 degrés-celcius et une photopériode de 10 heures par jour.



Figure 4. Pots avec sorgho pour l'élevage des punaises

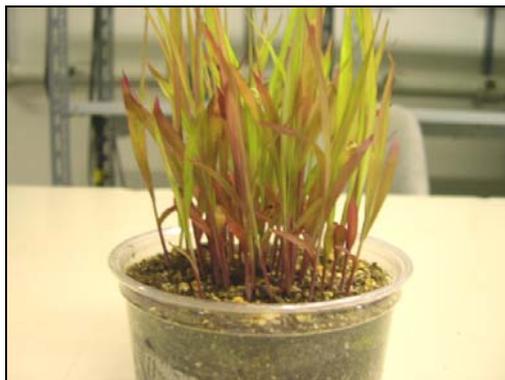


Figure 5. Sorgho 'Sudan'



Figure 6. Chambre de croissance

Description des traitements

Puisque les produits utilisés dans les tests étaient pour la première fois évalués contre la punaise velue, nous avons d'abord procédé à des tests préliminaires afin de déterminer leur niveau d'efficacité à de fortes doses. De plus, lors de ces tests préliminaires, nous avons adapté la méthode de pulvérisation, pour obtenir un maximum de précision d'un traitement à l'autre.

En janvier 2004, nous avons suffisamment de larves de punaises velues pour réaliser une première série de tests en laboratoire. Le tableau 16 décrit les différents produits utilisés pour cette première série de tests ainsi que leur concentration respective.

Tableau 16. Description des traitements réalisés en janvier 2004

Produit	Concentration
Témoin-eau	0
Agrogreen®	1 ml de produit dans 50 ml d'eau
Ail pur	100 mg d'ail brute /ml d'eau
Allicin	0,35 mg de produit /ml d'eau

L'Agrogreen® est un fertilisant foliaire liquide utilisé par certaines entreprises d'entretien d'espaces verts sur les arbres et les arbustes. Suite à son utilisation, certains professionnels ont remarqué un effet sur certains insectes. Ce produit contient une faible teneur en azadirachtine, substance extraite du neem, et reconnue pour ses propriétés insecticides.

L'ail est depuis longtemps connu pour ses propriétés répulsives et parfois toxiques chez les insectes. Pour les tests en laboratoire, deux produits ont été évalués soit l'ail pur et l'Allicin. Pour l'ail pur, la solution consistait en une purée liquide de gousses d'ail broyées. L'Allicin pour sa part est un composé actif extrait de l'ail. Il nous a été fourni par le laboratoire du Dr. Nicole Benhamou de l'Université Laval.

Suite à ces premiers tests, une deuxième série a été réalisée en février 2004 avec davantage de produits puisque le nombre de larves de punaises velues étaient plus élevé à ce moment (Tableau 17). Étant donné les résultats obtenus avec l'ail pur et l'Allicin (voir Annexe 2), ces deux produits n'ont pas été retenus pour la deuxième série de tests.

Tableau 17. Description des traitements réalisés en février 2004

Produit	Concentration (% ou quantité de produit/100 ml d'eau)
Témoin-eau	0
Savon vaisselle	0,1% 1% 3% 5% 6% 9% 12% 15%
Diazinon 500EC®	0,12 ml
TROUNCE®	2,5 ml

Le savon à vaisselle est également reconnu pour son action insecticide, mais jusqu'à présent, peu de données rigoureuses étaient disponibles quant à son efficacité sur la punaise velue ainsi que sur la concentration optimale à utiliser dans une solution. Huit concentrations différentes de savon ont été testées. Nous avons utilisé le savon de vaisselle pour nos tests parce que c'est le produit qu'utilise, ou compte utiliser, les gens de l'industrie d'entretien des espaces verts. Le coût d'utilisation étant nettement moindre que le Safer's. Notre objectif était dans un premier temps de faire des tests préliminaires sur un savon à effet insecticide afin de déterminer le potentiel de ces produits. C'est dans cet optique que le choix du savon de vaisselle a été effectué. Il est cependant à noter que le savon à vaisselle n'est actuellement pas homologué par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA). Son utilisation comme produit antiparasitaire peut donc constituer une infraction au niveau fédéral, en vertu de la Loi sur les produits antiparasitaires.

Nous avons ajouté à cette série de tests, un témoin positif, c'est-à-dire un insecticide de synthèse, le diazinon, qui était couramment utilisé dans les pelouses résidentielles pour lutter contre la punaise velue (le diazinon n'est plus homologué pour l'utilisation sur les pelouses). La concentration de diazinon utilisée correspond à la dose recommandée sur l'étiquette du fabriquant pour la punaise velue.

Le pyrèthre naturel est actuellement utilisé pour lutter contre plusieurs insectes ravageurs des plantes ornementales, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur. Le TROUNCE est un insecticide à base de pyrèthre et d'acides gras, et est actuellement disponible sur le marché québécois. Toutefois, ce produit n'est pas homologué pour les insectes des pelouses. Sa disponibilité sur le marché et son efficacité connue sur d'autres ravageurs, rend ce produit intéressant à tester sur la punaise velue. Une concentration plus faible (deux fois moindre) que celle recommandée sur l'étiquette du produit a été utilisée dans un premier temps.

Enfin, une dernière série de tests ont été effectués en mai 2004 avec cette fois les produits et les concentrations ayant engendré une forte mortalité de punaises velues dans les deux premiers tests. Nous avons aussi ajouté un autre produit, le Spinosad (CONSERVE®). Le Spinosad est un mélange d'un groupe de molécules antiparasitaires appelées spinosynes qui sont produites par une nouvelle espèce d'actinomycètes, le *Saccharopolyspora spinosa*. En 2006, il sera possible d'utiliser le Spinosad sur les terrains résidentiels et commerciaux selon le Code de gestion des pesticides du Ministère de l'environnement du Québec. Toutefois, ce produit est homologué pour lutter contre les pyrales des prés et non pas contre la punaise velue. Le tableau 18 décrit les différents traitements de cette troisième série de tests.

Pour ce qui est des concentrations utilisées, dans le cas du savon à vaisselle, nous avons retenue celles ayant permis d'obtenir une grande mortalité de punaises, sans occasionner de phytotoxicité sur les graminées à gazon. Pour le TROUNCE, la concentration recommandée sur l'étiquette fut utilisée, mais également une concentration plus élevée soit une fois et demie la dose recommandée. Enfin, les concentrations de Spinosad choisies correspondent à 3,5 et 4,4 fois la dose recommandée pour lutter contre les pyrales des prés. Ces doses ont été choisies parce que les tests préliminaires effectués au laboratoire ont révélé que les doses recommandées avaient très peu d'effets sur la punaise velue. Nous avons donc réalisé les bio-essais avec des doses significativement plus élevées. Deuxièmement, lors d'une discussion que nous avons eue avec le Dr. David Shetlar, Ohio State University, ce dernier nous a recommandé d'utiliser les doses de 3 à 5 fois plus élevées que celles recommandées par le fournisseur de CONSERVE. Le Dr. Shetlar avait déjà testé ce produit avec des populations de punaise de l'Ohio.

Tableau 18. Description des traitements réalisés en mai 2004

Produit	Concentration (% ou quantité de produit/100ml d'eau)
Témoin-eau	0
Diazinon 500EC	0,12 ml
Savon vaisselle	5%
	10%
TROUNCE®	5 ml
	7,5 ml
CONSERVE®	0,35 ml
	0,44 ml

Réalisation des tests

Pour effectuer les tests en laboratoire, des punaises de stades 2-3 ont été utilisées. Ce sont ces stades qui sont généralement ciblés sur le terrain avec des produits de synthèse. Pour chacun des traitements décrits précédemment, 7 à 9 punaises ont été placées dans des contenants en plastique (Solocup® 118 ml; Figure 7) et traitées à l'aide d'un petit pulvérisateur à air comprimé. Les traitements ont été répétés 2 ou 3 fois selon la disponibilité de punaises velues au moment du test.



Figure 7. Contenant utilisé pour les tests avec la punaise velue

Les premiers tests ont permis d'adapter la méthodologie de pulvérisation. Au cours de ces tests, la pulvérisation se faisait directement sur les punaises dans les contenants en plastique. Une forte mortalité était alors engendrée par noyade plutôt que par le produit en question. Les tests subséquents ont donc été réalisés en pulvérisant les punaises dans le contenant, mais cette fois, avec un papier filtre déposé au fond du contenant. De plus, une fois les punaises traitées, elles étaient transférées dans un autre contenant en plastique exempt de liquide de pulvérisation.

Des feuilles de sorgho ainsi qu'un coton dentaire humecté furent placés dans le contenant avec les punaises afin qu'elles puissent continuer de s'alimenter. Le nombre de punaises velues mortes après le traitement a été relevé à tous les 24 heures suivant le traitement et ce jusqu'à 240 heures, soit 10 jours après le traitement.

Tests statistiques

Afin de déterminer s'il existait des différences significatives entre les produits, un test de comparaisons multiples (LSD, $\alpha=0,05$) a été réalisé et ce, pour chaque jour suivant le traitement. Ces tests statistiques ont été effectués sur les données du mois de mai seulement.

Activité 4. BOTANIGARD et autres produits

Pour ces produits, deux articles scientifiques ont été publiés dans des revues scientifiques.

Labbe, R.M., C. Cloutier and J. Brodeur, 2006. Prey selection by *Dicyphus hesperus* of infected or parasitized greenhouse whitefly, *Biocontrol Science and Technology*, 16 (5) : 485-494.

Labbe, R.M., D.R. Gillespie, C. Cloutier and J. Brodeur, Interactions between a predator, a parasitoid, and a fungus: consequences on greenhouse whitefly populations, soumis le 11 septembre 2006 à la revue *Biological Control*.

Comme les articles ont été rédigés en anglais, nous présentons dans la section « Résultats et Discussion » les résumés en français.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

PHASE 2. ESSAIS SUR LE TERRAIN

Étape 1. Bioinsecticides

Activité 1. FACIN

Évaluer en conditions naturelles les effets d'un traitement FACIN sur l'abondance des lombriciens

Le tableau 19 présente les résultats sur l'abondance des lombriciens sur le site de l'Université Laval lors de l'essai réalisé à l'été 2004 et le tableau 20 lors de l'essai réalisé à l'automne 2004. Dans les tableaux sont également présentées les probabilités d'avoir une moyenne significativement différente des autres moyennes ($Pr > F$) ainsi que les écarts types. En général, les analyses statistiques n'ont révélé aucune différence significative ou aucune tendance entre les traitements avec le FACIN, le SEVIN et l'eau. Il est à noter que la variabilité pour chaque traitement est importante. Donc, avec la méthode utilisée, l'application de FACIN ou de SEVIN n'entraîne de diminution ou d'augmentation des populations de lombriciens dans le sol. Les données de mortalité fournies pour le SEVIN lors de l'homologation de ce produit, ne sont pas accessibles. Elles font partie du 'package' soumis par la compagnie à l'ARLA.

Tableau 19. Nombre et masse fraîche des lombriciens en fonction des différents traitements sur le site de l'Université Laval à l'été 2004

Traitement	Moyenne nb de vers / traitement jour 9	Moyenne nb de vers / traitement jour 40	Moyenne masse fraîche (g)/ trait. jour 9	Moyenne masse fraîche (g)/ traitement jour 40
FACIN 5.0	0,75 ± 0,29	1,50 ± 0,78	1,51 ± 0,94	1,09 ± 1,01
FACIN 10.0	1,38 ± 0,48	2,25 ± 0,87	3,91 ± 2,04	3,39 ± 3,11
SEVIN	1,63 ± 0,75	1,63 ± 1,65	2,70 ± 1,57	3,31 ± 1,02
Eau	2,00 ± 0,35	1,88 ± 1,70	2,86 ± 2,75	3,49 ± 4,27
<i>Pr > F</i>	0,21	0,46	0,21	0,45

Tableau 20. Nombre et masse fraîche des lombriciens en fonction des différents traitements sur le site de l'Université Laval à l'automne 2004

Traitement	Moyenne nb de vers / traitement jour 9	Moyenne nb de vers / traitement jour 40	Moyenne masse fraîche (g)/ trait. jour 9	Moyenne masse fraîche (g)/ traitement jour 40
FACIN 5.0	5,13 ± 1,55	4,00 ± 1,47	4,05 ± 2,80	3,47 ± 2,22
FACIN 10.0	6,13 ± 0,85	4,13 ± 1,11	4,32 ± 2,26	4,62 ± 3,85
SEVIN	3,25 ± 1,76	6,50 ± 2,12	3,29 ± 2,62	4,60 ± 1,14
Eau	4,88 ± 2,95	5,38 ± 2,63	4,73 ± 3,09	6,09 ± 2,91
<i>Pr > F</i>	0,76	0,27	0,99	0,05

Les données sur l'abondance des lombriciens au site du domaine Catarqui sont présentées au tableau 21 ainsi que les probabilités d'avoir des différences significatives entre les traitements ($Pr > F$). Les écarts types sont également présentés dans le tableau 21. On a observé sur ce site des différences significatives pour un paramètre. Il s'agit des données associées au nombre de lombriciens au quarantième jour après l'application des traitements. Une quantité de vers de terre plus élevée a été extraite dans les parcelles traitées avec l'eau et le traitement FACIN avec une plus petite quantité de bouillie. Cependant, puisque les analyses statistiques n'ont portées que sur deux blocs et qu'aucune différence significative n'a été décelée pour les autres paramètres, on considère qu'en général, il n'y a pas eu d'effets sur les populations de lombriciens par les différents traitements. Peu de lombriciens ont été extraits des blocs 1 et 2, c'est la raison pour laquelle ils n'ont pas été considérés dans les analyses. La totalité des données sont présentées à l'annexe 1. On note également une grande variabilité pour les traitements.

Tableau 21. Nombre et masse fraîche des lombriciens en fonction des différents traitements sur le site du domaine Catarqui

Traitement	Moyenne nb de vers / trait. jour 9	Moyenne nb de vers / trait. jour 40	Moyenne masse fraîche (g)/ trait. jour 9	Moyenne masse fraîche (g)/ trait. jour 40
Eau	0,75 ± 0,35	3,00 a ± 0	2,71 ± 0,65	6,46 ± 2,53
SEVIN	0,00 ± 0	0,75 b ± 0,35	0,00 ± 0	1,40 ± 0,92
FACIN 1,25	0,75 ± 1,06	1,50 ab ± 0,71	0,09 ± 0,12	0,28 ± 0,18
FACIN 2,5	0,00 ± 0	1,00 b ± 0	0,00 ± 0	1,95 ± 2,41
FACIN 5	0,50 ± 0,71	1,00 b ± 0,71	0,87 ± 1,23	0,39 ± 0,38
FACIN 5 - de bouillie	0,75 ± 0,35	2,75 a ± 1,77	2,30 ± 1,56	0,88 ± 0,54
<i>Pr > F</i>	0,24	0,05	0,24	0,16

En résumé, dans les conditions actuelles et avec les méthodes utilisées, le traitement des parcelles avec le SEVIN ou le FACIN n'a pas eu de répercussions notables sur les populations de lombriciens, que ce soit pour sur le site de l'Université Laval ou le site du domaine Catarqui. Dans l'élaboration de nouveaux essais sur le terrain, on devrait considérer certains facteurs. Premièrement, les populations de lombriciens varient considérablement dans le sol. L'abondance des lombriciens varie selon les conditions physiques, chimiques et biologiques du sol. Il se peut que d'une parcelle à une autre, les conditions varient légèrement, ce qui peut faire varier les populations de vers de terre. L'âge moyen des individus varie également d'un espace à l'autre. Les études de Sauvesty et Pagé, de 1998 à 2003 démontrent que pour deux espèces de lombriciens, les quantités varient selon l'âge moyen des vers de terre. De plus, les lombriciens plus jeunes sont plus difficiles à observer. Il serait tout à fait pertinent de procéder à un échantillonnage avant la mise en place du dispositif, dans le but de juger de la qualité du site en terme de population de lombricien et au jour 1 après l'application des traitements.

Deuxièmement, il n'y a pas eu d'irrigation à la suite des traitements. Les lombriciens, particulièrement les anéciques comme *Lumbricus terrestris* que l'on retrouve principalement sur les sites, descendent en profondeur. On pourrait penser à augmenter la quantité de bouillie utilisée dans les traitements pour favoriser la descente des produits dans le sol. Peut-être augmenterions-nous ainsi les chances de contact entre les lombriciens et les produits.

Évaluer en conditions naturelles les effets d'un traitement FACIN sur l'abondance et la diversité des carabes

Deux essais sur le site de l'usine de traitement des eaux à Beauport ont été réalisés. Puisque uniquement trois carabes ont été prélevés dans les pièges fosses au cours de l'essai mené à l'automne 2004, les données n'ont pas été considérées. Le tableau 22 présente les moyennes pour le nombre total de carabes en fonction des traitements ainsi que les écarts types et les valeurs de P. Aucune différence significative entre les traitements n'a été révélée par les analyses statistiques. La variabilité pour chacun des traitements est importante. Néanmoins, le deuxième prélèvement des carabes (au 32^{ème} jour) révèle une certaine tendance même si elle n'est pas significative. Les parcelles traitées avec la plus faible dose de FACIN et davantage avec l'eau ont présenté des quantités de carabes légèrement supérieures aux parcelles traitées avec le FACIN à plus haute dose et avec le SEVIN. Les espèces principalement retrouvées dans les pièges fosses sept jours après l'application des traitements sont *Clivina fossor*, *Dyschirius globulosus* et *Amara aenea*. Au 32^{ème} jour, on retrouvait principalement les espèces *Clivina fossor*, *Harpalus affinis* et *Agonum mulleri*. La totalité des données sont présentées à l'annexe 1 du rapport. Il est à noter que les quantités de carabes n'étaient pas importantes.

Tableau 22. Nombre total de carabes en fonction des traitements sur le site de Beauport

Traitement	Nb total de carabes jour 7	Nb total de carabes jour 32
Traitement 1	0,88 ± 0,85	1,50 ± 0,91
Traitement 2	2,25 ± 2,53	0,63 ± 0,48
Traitement 3	1,13 ± 0,25	0,63 ± 0,63
Traitement 4	1,88 ± 1,18	2,00 ± 1,22
<i>Pr > F</i>	0.55	0.27

Conclusion FACIN

Les essais portant sur l'effet du FACIN sur les organismes bénéfiques du sol n'ont pas permis de déceler des différences entre les traitements avec le FACIN, le SEVIN et l'eau que ce soit pour l'abondance des lombriciens ou l'abondance des carabes.

Il serait pertinent de considérer dans les futurs essais la variabilité dans les populations de lombriciens dans les parcelles expérimentales et voir la possibilité d'ajouter des traitements avec irrigation. Enfin, la principale recommandation pour la mesure de l'abondance de lombriciens et de carabes serait de procéder à un échantillonnage des de ceux-ci avant l'élaboration des parcelle afin de pouvoir mieux juger de la qualité du site en terme de richesse de population.

Activité 2. SPINOSAD et autres produits

Puisque les premiers tests (ceux de janvier et février) ont été réalisés afin de faire une première sélection des produits les plus intéressants et également de mettre au point la méthode de pulvérisation, les résultats de ces tests ne seront pas présentés dans cette section, mais se retrouvent à la fin de ce rapport à l'Annexe 1. Pour l'ail pur, le maximum de mortalité obtenue 10 jours après le traitement était de 31,25%, tandis qu'il n'y a eu aucune mortalité observée (0%) avec l'Allicin. L'Agrogreen pour sa part a permis d'obtenir 36 % de

mortalité avec une dose relativement élevée (1/50). Son utilisation ne serait donc pas rentable pour une application sur le terrain.

Les résultats qui sont ici présentés correspondent aux tests réalisés avec le savon à vaisselle, le TROUNCE et le CONSERVE. Un témoin négatif (eau) ainsi qu'un témoin positif (diazinon) ont permis de comparer l'effet des produits testés sur la punaise velue.

La figure 8, démontre l'efficacité du savon à vaisselle à deux concentrations (5 et 10%) sur la punaise velue en comparaison au diazinon et à un traitement à l'eau. Dès les premières 24 heures suivant le traitement, on observe une mortalité moyenne des punaises velues de plus de 55% et de 80% pour les concentrations 5% et 10% respectivement. Le savon à vaisselle est un produit efficace et qui agit rapidement sur la punaise velue. Aucune différence significative n'a été démontrée entre la concentration de 5 et 10% pour le savon à vaisselle. Il en est de même entre le traitement au diazinon et le témoin-eau et ce, pour les 10 jours suivants le traitement.

Pour ce qui est du TROUNCE, produit à base de pyrèthre, l'effet sur la punaise velue était moins marqué 24 heures après le traitement lorsque celui-ci était utilisé à la dose recommandée sur l'étiquette pour lutter contre d'autres insectes (figure 9). La dose la plus élevée de TROUNCE (1,5 fois la dose recommandée) a permis d'obtenir une mortalité élevée (65%) et ce rapidement (24 heures après le traitement). Ce niveau de mortalité est d'ailleurs significativement plus élevé que le TROUNCE 1X, le diazinon et l'eau, 24 et 48 heures après le traitement. Par la suite, soit trois jours après le traitement jusqu'à la fin de l'expérimentation, il n'y a plus de différence significative entre les deux doses de TROUNCE, les deux atteignant un niveau d'efficacité de 65% et plus.

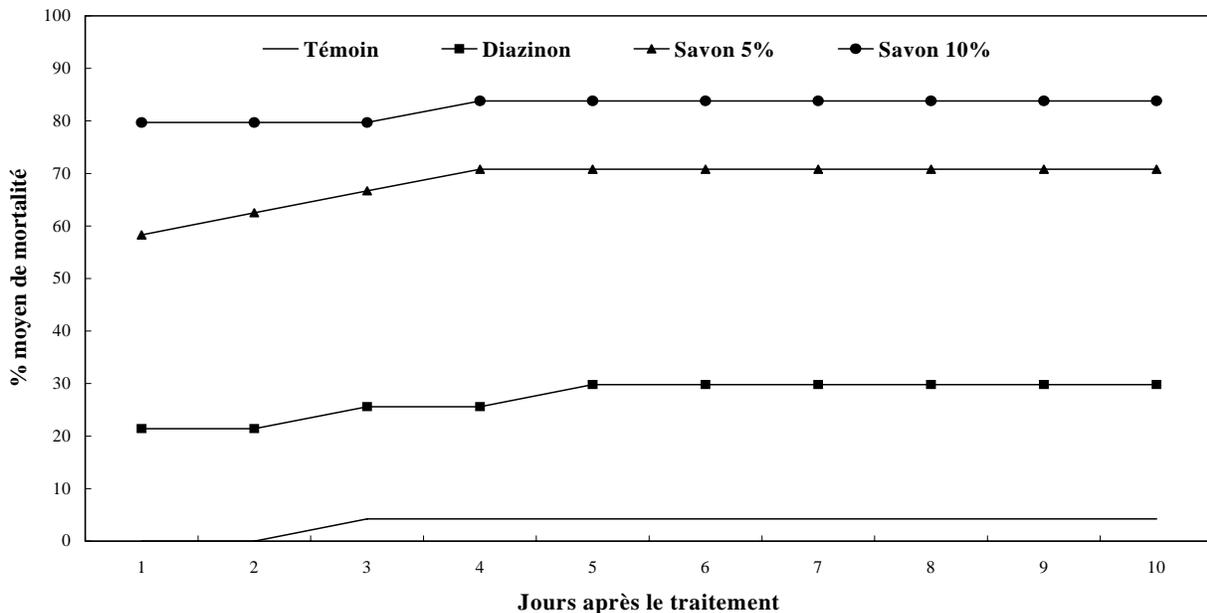


Figure 8. Pourcentage de mortalité de la punaise velue après des traitements au savon à vaisselle, au diazinon et à l'eau

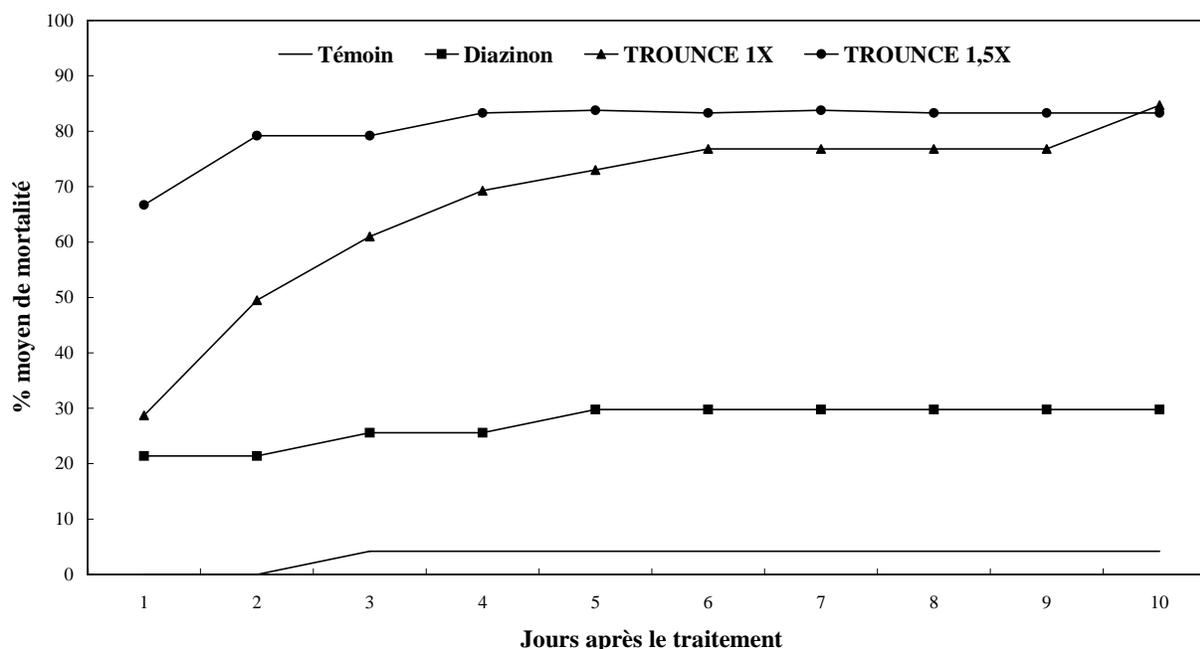


Figure 9. Pourcentage de mortalité de la punaise velue après des traitements au TROUNCE, au diazinon et à l'eau

Pour le CONSERVE (Spinosad), nous avons utilisé des doses élevées pour les premiers tests afin de savoir si effectivement il pouvait y avoir une activité contre la punaise velue. À partir de la figure 10, on remarque que les effets du Spinosad sont un peu plus longs à se manifester (3 jours après le traitement) comparativement au savon à vaisselle et au TROUNCE. La concentration plus élevée du CONSERVE a permis d'atteindre 80% de mortalité alors que la concentration la plus faible a atteint entre 60-65% de mortalité, mais ce tardivement (7 jours après le traitement). Il n'y avait pas de différence significative entre le CONSERVE 3,5X et 4,4X, ainsi qu'entre le CONSERVE 3,5X et le diazinon.

Des tests supplémentaires seraient cependant nécessaires pour ce produit afin de déterminer une dose plus faible, mais qui serait tout aussi efficace. Ceci permettrait d'abaisser les coûts reliés à l'utilisation de ce produit pour son éventuelle utilisation contre la punaise velue, ainsi que de permettre un gain environnemental plus appréciable.

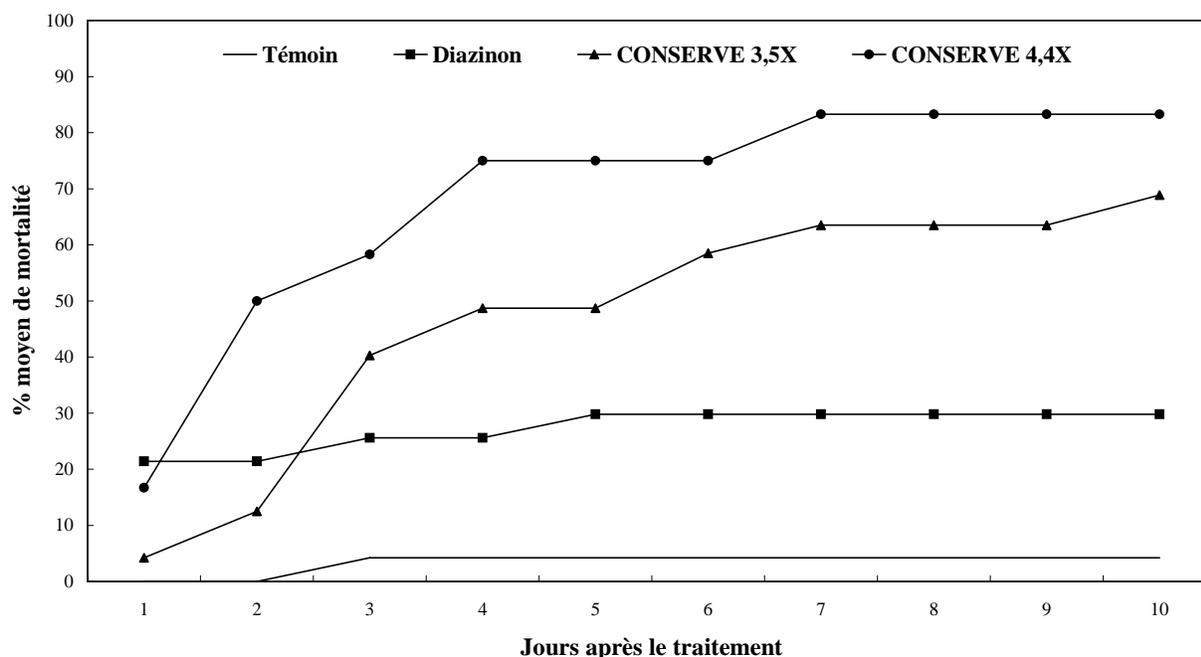


Figure 10. Pourcentage de mortalité de la punaise velue après des traitements au CONSERVE, au diazinon et à l'eau

Enfin, le tableau 23 présente les résultats de mortalité obtenus avec les différents produits testés 48 heures après les traitements. Les produits qui ont permis d'atteindre 60% et plus de mortalité après 48 heures sont : le savon à vaisselle (5 et 10%) et le TROUNCE à 1,5 fois la dose recommandée sur l'étiquette.

Tableau 23. Pourcentage moyen de mortalité de la punaise velue - 48 heures après les traitements

Produit	% moyen de mortalité
Eau	0 a
CONSERVE 3,5X	12.5 a
Diazinon	21.43 ab
TROUNCE 1X	49.5 bc
CONSERVE 4,4X	50.0 bc
Savon 5%	62.5 c
TROUNCE 1,5X	79.2 bc
Savon 10%	79.7 c

(Test de LSD; d.f.= 7; F value=4,97; P=0,004)

Conclusion SPINOSAD et autres produits

Ces tests en laboratoire ont permis d'obtenir des données préliminaires mais importantes sur plusieurs produits dont l'efficacité n'avait jusqu'alors pas été évaluée pour la punaise velue. Il a également été possible dans certains cas, de déterminer les concentrations optimales à utiliser pour obtenir un maximum d'efficacité en conditions de laboratoire.

Cependant, plusieurs des produits testés sont sensibles aux rayons ultraviolets et sont par le fait même rapidement dégradés lorsque appliqués à l'extérieur. Des tests sur le terrain devront donc être réalisés dans le futur afin de vérifier l'efficacité des doses et des produits en condition naturelle.

Activité 3. BOTANIGARD et autres produits

Sélection de proies par *Dicyphus hesperus* d'aleurode de serres parasitées ou infectées

Le développement de programmes de contrôle biologiques efficaces dans lesquels les prédateurs sont intégrés avec d'autres ennemis naturels comme les parasitoïdes et les entomopathogènes exige une compréhension de leurs interactions. Dans cette étude, nous avons examiné dans quelle mesure le prédateur omnivore *Dicyphus hesperus*, un agent de contrôle biologique efficace contre l'aleurode des serres, accepte une proie parasitée par le parasitoïde spécialiste de la mouche blanche, *Encarsia formosa* ou infectée par le champignon généraliste, *Beauveria bassiana*. Lors d'expériences en laboratoire, nous avons mesuré comment le parasitisme et l'infection de l'aleurode des serres, *Trialeurodes vaporariorum*, en relation avec l'âge du parasitoïde et le développement de l'infection fongique, modifient la probabilité d'attaque et d'alimentation des prédateurs de deuxième stade larvaire ou adulte. L'incidence de prédation par *D. hesperus* était semblable pour les mouches blanches parasitées et non parasitées, indépendamment de l'âge du parasitoïde. Cependant, les prédateurs ont tendance à éviter de se nourrir des mouches blanches infectées, particulièrement quand les infections étaient caractérisées par la production d'oospore ou d'hyphes à la surface de la proie.

Interaction entre le prédateur, le parasitoïde et le champignon : conséquences sur les populations d'aleurodes des serres

Un débat en cours en lutte biologique concerne le rôle des interactions intragilde comment élément perturbateur du contrôle des ravageurs par déplacement d'ennemis naturels efficaces. Le contrôle biologique est l'une des stratégies les plus efficaces pour le contrôle de l'aleurode des serres, *Trialeurodes vaporariorum*. Cette étude examine les conséquences des interactions entre des ennemis naturels de l'aleurode des serres incluant le prédateur *Dicyphus hesperus*, le parasitoïde *Encarsia formosa* et le champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* sur les rendements de la tomate de serre. Notre objectif était de déterminer si *B. bassiana* perturbe le contrôle biologique réalisé par *D. hesperus* ou *E. formosa*. Dans des serres expérimentales, des populations d'aleurode des serres, du parasitoïde et des prédateurs ont été établies sur la culture de tomate. Dans des compartiments, trois applications de l'entomopathogène, à la dose de 5.13×10^3 conidies/mm², ont été faites pour une période de 27 jours. En général dans les compartiments traités avec *B. bassiana*, les populations de l'aleurode des serres étaient moindres que dans les compartiments témoins, et ni les populations de parasitoïdes ou de prédateurs n'étaient significativement réduites par le pathogène. Cependant, dans les compartiments traités avec *B. bassiana*, la prédation de l'aleurode des serres par *D. hesperus* a été substantiellement réduite.

BIENS LIVRABLES ET PERSPECTIVE

La réalisation de ce projet a permis d'enrichir nos connaissances en regard des bioinsecticides Facin, Limax, Botanigard® et Spinosad®. En conséquence, les biens livrables suivants ont été obtenus :

- ✦ -Revue de littérature sur chacun des bioinsecticides
- ✦ -Données scientifiques portant sur deux saisons sur l'efficacité des bioinsecticides étudiés
- ✦ -Évaluation comparative non - biaisée de l'efficacité de différents bioinsecticides et produits conventionnels revendiquant une cible commune
- ✦ -Données scientifiques des avantages et limites de l'utilisation des bioinsecticides versus les pesticides sur les rendements des productions testées
- ✦ -Définition de certains paramètres optimaux d'utilisation des bioinsecticides
- ✦ -Transfert des données scientifiques aux partenaires à des fins d'homologation des produits auprès de l'ARLA

L'emploi des bioinsecticides Facin, Limax, Botanigard et Spinosad, tel qu'ils sont disponibles actuellement, permettrait de :

- 1) Restreindre l'utilisation d'insecticides en agriculture : protection du consommateur et de l'environnement;
- 2) Favoriser le développement des plantes en l'absence de ravageurs dans les substrats (effet stimulant);
- 3) Survivre et se multiplier dans les substrats et le phylloplan pour toute la période de germination et de production des semis;
- 4) Offrir un contrôle efficace, *in vitro* et *in vivo*, contre la punaise velue
- 5) Se comporter de façon égale ou supérieure à un bioinsecticide actuellement homologué au Canada (ex. : Succes™);
- 6) Offrir un produit facile à manipuler, disponible sous forme de poudre mouillable ou liquide, pour les arrosages ou les incorporations directes au substrat;
- 7) Être d'utilisation sécuritaire en production commerciale (aucune nocivité pour les utilisateurs, l'environnement, le consommateur et les cultures).

CONCLUSION

Ce projet a permis la réalisation de l'ensemble des objectifs énoncés dans la proposition de recherche originale. En ce qui concerne le volet Entomologie, les objectifs suivants ont été atteints :

- 1) Sélection de quatre bio-insecticides (microorganismes et produits naturels) les plus susceptibles d'être commercialisés rapidement au Québec. Le produit FACIN est actuellement en voie d'homologation avec l'Agence de Réglementation de la Lutte Antiparasitaire (ARLA) du Canada et l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis. Les produits LIMAX et BOTANIGARD® sont actuellement en voie d'homologation avec l'Agence de Réglementation de la Lutte Antiparasitaire (ARLA) du Canada. Le produit SPINOSAD® est déjà homologué au Canada.

- 2) Sélection des systèmes agricoles les plus adaptés pour l'utilisation des biopesticides retenus en 1). Nos travaux ont essentiellement ciblé les insectes ravageurs des écosystèmes urbains, notamment les insectes des pelouses.
- 3) Réalisation d'études de laboratoire nécessaires pour compléter certaines exigences d'homologation des produits sélectionnés en 1). Ces études ont principalement porté sur : 1) l'efficacité en laboratoire et au champ des produits à l'étude; 2) la susceptibilité des produits envers des organismes non-cibles.
- 4) Obtention de permis de recherche nécessaires auprès de l'ARLA pour la réalisation des études sur le terrain avec les biopesticides choisis.
- 5) Comparaison de l'efficacité des biopesticides avec les systèmes conventionnels (pesticides) ainsi qu'entre les biopesticides sélectionnés s'attaquant au même problème phytosanitaire.

Annexe 1 - FACIN

Site: Université Laval

Dates des traitements: 7 juillet 2004

Abondance des vers de terre

Dates d'échantillonnage

16 juillet 2004

17 août 2004

# Échantillon	Répétition	Nb de vers jour 9	Nb de vers jour 40	Masse fraîche (g) jour 9	Masse fraîche (g) jour 40
B1T1	1	1	3	0,26	1,30
B1T1	2	1	0	0,35	0,00
B1T2	1	2	5	0,94	2,98
B1T2	2	2	1	0,78	0,12
B1T3	1	3	2	1,37	0,80
B1T3	2	1	1	0,29	5,14
B1T4	1	1	3	0,72	7,02
B1T4	2	2	2	0,78	1,49
B2T1	1	1	1	0,41	2,65
B2T1	2	1	0	2,07	0,00
B2T2	1	2	1	9,57	0,67
B2T2	2	0	2	0,00	0,75
B2T3	1	1	1	4,47	7,31
B2T3	2	0	0	0,00	0,00
B2T4	1	1	1	3,95	0,25
B2T4	2	2	0	7,71	0,00
B3T1	1	1	0	4,76	0,00
B3T1	2	0	0	0,00	0,00
B3T2	1	1	3	4,73	11,50
B3T2	2	1	3	4,88	3,85
B3T3	1	3	4	0,83	7,36
B3T3	2	1	4	5,58	1,67
B3T4	1	1	1	0,35	0,69
B3T4	2	1	0	0,23	0,00
B4T1	1	1	6	4,23	1,15
B4T1	2	0	2	0,00	3,58
B4T2	1	3	2	10,39	4,53
B4T2	2	0	1	0,00	2,71
B4T3	1	2	1	1,62	4,23
B4T3	2	2	0	7,46	0,00
B4T4	1	2	4	5,61	6,03
B4T4	2	6	4	3,49	12,44

Traitement	Moyenne nb de vers / traitement jour 9	Moyenne nb de vers / traitement jour 40	Moyenne masse fraîche (g)/ traitement jour 9	Moyenne masse fraîche (g)/ traitement jour 40
1	0,75	1,50	1,51	1,09
2	1,38	2,25	3,91	3,39
3	1,63	1,63	2,70	3,31
4	2,00	1,88	2,86	3,49

Traitement	Produit	Concentration ml/m ²	Volume par parcelle	Volume de bouillie ml/m ²	Volume de bouillie ml/parcelle
1	FACIN	5	20	250	1000
2	FACIN	10	40	250	1000
3	SEVIN	2,5	10	250	1000
4	Eau	0	0	250	1000

Site: Université Laval

Dates des traitements: 10 septembre 2004

Abondance des vers de terre

Dates d'échantillonnage 20 nov. 2004

20 octobre 2004

# Échantillon	Répétition	Nb de vers jour 9	Nb de vers jour 40	Masse fraîche (g) jour 9	Masse fraîche (g) jour 40
B1T1	1	1	4	0,36	9,57
B1T1	2	5	4	1,31	1,55
B1T2	1	4	4	7,28	1,11
B1T2	2	8	5	3,10	4,55
B1T3	1	1	4	0,22	1,87
B1T3	2	2	6	4,24	7,33
B1T4	1	4	7	11,10	6,19
B1T4	2	14	7	7,52	7,07
B2T1	1	1	6	5,51	4,18
B2T1	2	11	1	1,95	5,34
B2T2	1	8	2	5,10	11,26
B2T2	2	2	4	0,24	8,56
B2T3	1	2	5	5,48	5,95
B2T3	2	8	8	8,56	6,39
B2T4	1	5	7	4,32	4,53
B2T4	2	5	7	3,03	12,29
B3T1	1	8	8	7,74	3,10
B3T1	2	2	4	0,21	2,88
B3T2	1	6	5	3,79	0,73
B3T2	2	8	2	10,43	1,20
B3T3	1	3	2	1,72	5,73
B3T3	2	1	8	0,23	2,54
B3T4	1	4	3	1,13	3,72
B3T4	2	2	0	5,74	0,00
B4T1	1	10	2	12,87	0,25
B4T1	2	3	3	2,45	0,86
B4T2	1	6	3	1,43	6,19
B4T2	2	7	8	3,21	3,33
B4T3	1	4	9	3,94	2,41
B4T3	2	5	10	1,90	4,56
B4T4	1	3	5	0,87	4,12
B4T4	2	2	7	4,14	10,76

Traitement	Moyenne nb de vers / traitement jour 9	Moyenne nb de vers / traitement jour 40	Moyenne masse fraîche (g)/ traitement jour 9	Moyenne masse fraîche (g)/ traitement jour 40
1	5,13	4,00	4,05	3,47
2	6,13	4,13	4,32	4,62
3	3,25	6,50	3,29	4,60
4	4,88	5,38	4,73	6,09

Traitement	Produit	Concentration ml/m ²	Volume par parcelle	Volume de bouillie ml/m ²	Volume de bouillie ml/parcelle
1	FACIN	5	20	250	1000
2	FACIN	10	40	250	1000
3	SEVIN	2,5	10	250	1000
4	Eau	0	0	250	1000

Site: Domaine Catarauqui

Date des traitements 29 juillet 2004

Dates d'échantillonnage

9 août 2004

Abondance des vers de terre

8 sept. 2004

# Échantillon	Répétition	Nb de vers jour 9	Nb de vers jour 40	Masse fraîche (g) jour 9	Masse fraîche (g) jour 40
B1T1	1	0	1	0,00	4,78
B1T1	2	0	0	0,00	0,00
B1T2	1	0	0	0,00	0,00
B1T2	2	0	0	0,00	0,00
B1T3	1	0	0	0,00	0,00
B1T3	2	0	0	0,00	0,00
B1T4	1	0	0	0,00	0,00
B1T4	2	0	0	0,00	0,00
B1T5	1	0	0	0,00	0,00
B1T5	2	0	0	0,00	0,00
B1T6	1	0	0	0,00	0,00
B1T6	2	0	0	0,00	0,00
B2T1	1	0	0	0,00	0,00
B2T1	2	0	0	0,00	0,00
B2T2	1	0	4	0,00	2,76
B2T2	2	0	0	0,00	0,00
B2T3	1	0	3	0,00	0,55
B2T3	2	0	0	0,00	0,00
B2T4	1	0	3	0,00	0,48
B2T4	2	0	1	0,00	0,21
B2T5	1	2	3	0,72	0,90
B2T5	2	0	0	0,00	0,00
B2T6	1	0	0	0,00	0,00
B2T6	2	0	0	0,00	0,00
B3T1	1	1	2	4,50	7,99
B3T1	2	0	4	0,00	1,34
B3T2	1	0	1	0,00	0,02
B3T2	2	0	1	0,00	1,48
B3T3	1	2	1	0,30	0,10
B3T3	2	1	3	0,05	0,20
B3T4	1	0	2	0,00	0,49
B3T4	2	0	0	0,00	0,00
B3T5	1	0	1	0,00	0,24
B3T5	2	0	0	0,00	0,00
B3T6	1	1	5	2,31	2,12
B3T6	2	1	3	0,09	0,39
B4T1	1	1	2	6,32	0,31
B4T1	2	1	4	0,03	16,18
B4T2	1	0	1	0,00	4,11
B4T2	2	0	0	0,00	0,00
B4T3	1	0	2	0,00	0,81
B4T3	2	0	0	0,00	0,00
B4T4	1	0	1	0,00	1,29

Site: Domaine Catarauqui

Date des traitements 29 juillet 2004
 Abondance des vers de terre

Dates d'échantillonnage 9 août 2004
 8 sept. 2004

# Échantillon	Répétition	Nb de vers jour 9	Nb de vers jour 40	Masse fraîche (g) jour 9	Masse fraîche (g) jour 40
B4T4	2	0	1	0,00	6,02
B4T5	1	1	1	2,29	0,10
B4T5	2	1	2	1,19	1,22
B4T6	1	1	2	6,80	0,70
B4T6	2	0	1	0,00	0,29

Traitement	Moyenne nb de vers / traitement jour 9	Moyenne nb de vers / traitement jour 40	Moyenne masse fraîche (g)/ traitement jour 9	Moyenne masse fraîche (g)/ traitement jour 40
Traitement 1	0,75	3,00	2,71	6,46
Traitement 2	0,00	0,75	0,00	1,40
Traitement 3	0,75	1,50	0,09	0,28
Traitement 4	0,00	1,00	0,00	1,95
Traitement 5	0,50	1,00	0,87	0,39
Traitement 6	0,75	2,75	2,30	0,88

Traitement	Produit	Concentration ml/m ²	Volume par parcelle	Volume de bouillie ml/m ²	Volume de bouillie ml/parcelle
1	Eau	0	0	250	4000
2	SEVIN	2,5	40	250	4000
3	FACIN	1,25	20	250	4000
4	FACIN	2,5	40	250	4000
5	FACIN	5	80	250	4000
6	FACIN	5	80	100	1000

Jour 7: 6 juillet 2004

# Échant.	Rép.	Amara aenea	Amara discors	Amara sinuosa	Agorion muelleri	Agorion incurvus	Agorion brevispinus	Agorion globulosus	Agorion quadrinacul.	Agorion transparentis	Agorion Anisotarsus 1	Agorion Dicaeus 1	Agorion affinis	Agorion Harpalus 2	Agorion Clivina fossor	Agorion Agorium	Nb total
B1T1	1				1												1
B1T1	2														1		1
B1T2	1																0
B1T2	2																0
B1T3	1																0
B1T3	2																0
B1T4	1																0
B1T4	2																0
B2T1	1																0
B2T1	2																0
B2T2	1														1		1
B2T2	2																0
B2T3	1																0
B2T3	2																0
B2T4	1																0
B2T4	2																0
B3T1	1																0
B3T1	2																0
B3T2	1																0
B3T2	2																0
B3T3	1																0
B3T3	2																0
B3T4	1																0
B3T4	2																0
B4T1	1																0
B4T1	2																0
B4T2	1																0
B4T2	2																0
B4T3	1																0
B4T3	2																0
B4T4	1																0
B4T4	2																0

Traitement	Nb total de carabes jour 7	Nb total de carabes jour 32
Traitement 1	0,88	1,50
Traitement 2	2,25	0,63
Traitement 3	1,13	0,63
Traitement 4	1,88	2,00

Traitement	Produit	Concentration ml/m ²	Vol. par parcelle (ml)	Vol. de bouillie ml/m ²	Vol. de bouillie ml/parcelle
1	FACIN	5,0	180	250	9000
2	FACIN	10,0	360	250	9000
3	SEVIN	2,5	90	250	9000
4	Eau	0	0	250	9000

Annexe 2. – SPINOSAD et autres produits

Tests effectués en janvier et février 2004 au laboratoire avec la punaise velue
Pulvérisation effectuée directement sur les insectes de stades larvaires 2-3 dans un contenant en plastique de 4 onces (118 ml)

Produit	Dose	% moyen de mortalité après le traitement (jours)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Témoin-eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agrogreen	1/50	0	3,6	12	20,5	24	24	27,7	27,7	32,5	36
Témoin-eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ail brut	100mg/ml	0	18,75	18,75	18,75	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25
Allicin	0,35mg/ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Témoin-eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Savon	15%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Diazinon	0,12ml/100ml	62,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Témoin-eau	0	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
TROUNCE	7,5ml/100ml	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Témoin-eau	0	8	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Savon	3%	74	78	82	91	100	100	100	100	100	100
	6%	83,75	83,75	87,5	87,5	91,25	100	100	100	100	100
	9%	91,25	96,25	100	100	100	100	100	100	100	100
	12%	95	95	95	95	100	100	100	100	100	100
	15%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Témoin-eau	0	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Savon	1%	75	78,75	78,75	78,75	78,75	87,5	87,5	91,25	91,25	91,25
TROUNCE	2,5ml/100ml	43	69	69	74	78	82	87	95	95	95

**Tests effectués en février 2004 au laboratoire avec la punaise velue
Pulvérisation effectuée directement sur les insectes de stades larvaires 2-3 dans un
contenant en plastique de 4 onces (118 ml) et un papier filtre**

Produit	Dose	% moyen de mortalité après le traitement (jours)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Témoin-eau	0	8	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	
Savon	0,1%	0	0	0	0	0	0	0	0	6,7	6,7	6,7
	1%	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
	5%	25	25	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5