



*Protéger la forêt...*

# *naturellement!*

Colloque sur la lutte biologique et intégrée  
19 au 21 mars 2007 | St-Georges, Beauce

*Actes  
du colloque*







---

Actes du colloque | **Protéger la forêt naturellement!**

Colloque sur la lutte biologique et intégrée



Le présent document est constitué des textes des conférences présentées lors du colloque sur la lutte biologique et intégrée en foresterie *Protéger la forêt... naturellement!* qui a eu lieu à Saint-Georges du 19 au 21 mars 2007.

Ces textes n'engagent que la responsabilité des auteurs.

Ce document et les présentations en diaporama sont disponibles en format PDF sur le site Internet de l'événement : <http://scf.mcan.gc.ca/soussite/luttebiol/>

# Table des matières

Actes du colloque sur la lutte biologique et intégrée  
*Protéger la forêt... naturellement!*

|   |    |
|---|----|
| Contexte  | 6  |
| Objectifs du colloque   | 6  |
| Programme officiel  | 7  |
| Remerciements   | 9  |
| Merci à nos partenaires financiers!   | 9  |
| Principes et applications de la lutte biologique  | 10 |
| Notre implication, nos réalisations, nos espoirs en lutte biologique et intégrée dans les pépinières forestières du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) | 14 |
| Lutte intégrée dans le secteur des pépinières privées du Québec : obligations et problématiques   | 17 |
| Les insectes et les maladies dans les vergers à graines : sous haute surveillance!  | 18 |
| Les ennemis de la culture des arbres de Noël : une lutte «intégrée» à finir   | 22 |
| Insectes et maladies dans les plantations publiques et privées du Québec : bilan et prospective   | 27 |
| L'aménagement intégré des ressources : un cadre de référence pour les érablières  | 33 |
| Le charançon du pin blanc et le grand hylésine des pins - leur contrôle avec des alliés naturels redoutables : les champignons!   | 39 |
| Lutte biologique préventive contre un pourridié des pins rouges   | 44 |
| Utilisation de phéromones sexuelles pour le contrôle des insectes nuisibles dans les vergers à graines au Québec  | 47 |
| Identification de méthodes de lutte potentielles contre les principaux ravageurs dans les pépinières forestières au Québec  | 52 |
| Développement et mise en place d'outils de lutte pour la répression des ravageurs dans les vergers à graines au Québec  | 56 |
| D'autres façons de lutter contre les lépidoptères ravageurs : mimic®, anti-pban et peptides phéromonostatiques  | 60 |
| Protection biologique du bois contre le bleuissement à l'aide d'une souche albinos du champignon de bleuissement <i>ceratocystis resinifera</i>                               | 64 |
| Lutte intégrée contre le puceron des pousses du sapin, <i>mindarus abietinus</i>  | 68 |
| La maladie hollandaise de l'orme : un exemple de lutte intégrée   | 72 |
| De la production à la commercialisation   | 73 |
| Utilisation de microorganismes antagonistes dans la lutte biologique : intérêts, limites et perspectives en protection des plantes  | 75 |
| Lutte microbienne : la situation au Canada et ailleurs dans le monde  | 79 |
| Colloque sur la lutte biologique et intégrée faits saillants de la plénière   | 83 |



---

# Contexte

Les épidémies d'insectes et les maladies sont des phénomènes naturels qui peuvent affecter négativement l'industrie forestière, les collectivités qui en dépendent et l'économie du Québec dans son ensemble. Plusieurs faits nous portent à croire que ces phénomènes subiront des changements dans les années à venir. Avec l'arrivée de l'aménagement forestier intensif et les changements climatiques, nos forêts risquent, entre autres, d'être plus vulnérables aux ravageurs indigènes. À cela s'ajoute l'intensification des échanges commerciaux avec un plus grand nombre de pays ce qui accentuera certainement les problèmes liés aux ravageurs forestiers exotiques.

Il faut aussi se souvenir qu'en 1994, le gouvernement du Québec a adopté une stratégie de protection des forêts intitulée *Aménager pour mieux protéger les forêts* qui définit les orientations devant permettre d'éliminer l'utilisation des pesticides chimiques en milieu forestier, et ce, dès 2001. Par conséquent, le principal défi posé aux gestionnaires se traduit par le maintien des rendements forestiers et des activités socio-économiques existantes en l'absence de ces produits fréquemment utilisés dans le passé.

Que ce soit contre les insectes, les champignons ou les mauvaises herbes, les chercheurs du Québec ont donc dû innover et créer de nouveaux outils de lutte à faible impact environnemental et efficaces contre les ravageurs.

Mais aujourd'hui, sommes-nous prêts à faire face aux épreuves que la nature nous réserve dans le domaine de la protection des forêts?

## Objectifs du colloque

Ce colloque a pour objectif de faire connaître la situation et les besoins des usagers de différents secteurs forestiers tels ceux des pépinières, des plantations, des vergers à graines et de la forêt naturelle. Nous voulons aussi faire connaître les travaux en cours qui mèneront au développement d'outils pour la lutte intégrée. Cette stratégie de contrôle vise à combiner différentes méthodes de lutte, qu'elles soient biologiques, biotechnologiques, physiques ou chimiques. Il sera ainsi possible de maintenir les dégâts causés par les ravageurs sous un seuil de nuisance économiquement acceptable, tout en favorisant les ennemis naturels des ravageurs.

Mais par-dessus tout, l'objectif principal de ce colloque est de favoriser les discussions entre les participants afin d'établir un pont entre les chercheurs et les utilisateurs. Il est important que les produits développés soient des outils efficaces, correspondant aux attentes des utilisateurs.

Plus précisément, le colloque a pour objectifs de :

- faire état des recherches en cours et des outils disponibles pour la lutte biologique dans un contexte de lutte intégrée et de développement durable en foresterie;
- faire connaître les outils disponibles et futurs et de faire le point sur l'état des recherches actuelles concernant la lutte intégrée en foresterie;
- stimuler les échanges sur les défis à venir pour le Québec dans le domaine de la protection des forêts.



# Programme officiel

## Lundi 19 mars 2007

16h00 - Inscription

17h00 - Cocktail d'ouverture et allocutions

18h00 - Souper-conférence : Principes et applications de la lutte biologique, Jacques Brodeur, Université de Montréal

20h15 - Fin de la journée

## Mardi 20 mars 2007

7h30 - Inscription

8h20 - Introduction : Robert Lavallée, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts

### Problèmes et solutions espérées

*Modérateur : Claude Guertin, Institut national de la recherche scientifique – Institut Armand-Frappier*

8h30 - Notre implication, nos réalisations, nos espoirs en lutte biologique et intégrée dans les pépinières forestières du MRNF – Roger Touchette, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

8h50 - Lutte intégrée dans le secteur des pépinières privées du Québec : obligations et problématiques – Richard Gohier, Centre de production de plants forestiers du Québec

9h10 - Les insectes et les maladies dans les vergers à graines : sous haute surveillance! – André Deshaies, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

9h30 - Les ennemis de la culture des arbres de Noël : une lutte intégrée à finir – André Pettigrew, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

9h50 - Pause

10h20 - Insectes et maladies dans les plantations publiques et privées du Québec : bilan et prospective – Michel Chabot, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

10h40 - Les érablières : un cadre de référence à l'aménagement intégré des ressources – Bruno Boulet, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

### La recherche en cours

*Modérateur : Louis Bernier, Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval*

11h00 - Le charançon du pin blanc et le grand hylésine des pins; leur contrôle avec des alliés naturels redoutables : les champignons! – Robert Lavallée, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts – ECOBIOM

11h20 - Lutte biologique préventive contre un pourridié des pins rouges - Gaston Laflamme, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts – ECOBIOM

11h40 - Utilisation de phéromones sexuelles pour le contrôle des insectes nuisibles dans les vergers à graines au Québec – Richard Trudel, Société de protection des forêts contre les insectes et maladies

12h00 - Dîner

13h20 - Identification de méthodes de lutte potentielles contre les principaux ravageurs dans les pépinières forestières au Québec – Claude Guertin, Institut national de la recherche scientifique – Institut Armand-Frappier – ECOBIOM

13h40 - Développement et mise en place d'outils de lutte pour la répression des ravageurs dans les vergers à graines au Québec – Claude Guertin, Institut national de la recherche scientifique – Institut Armand-Frappier – ECOBIOM

14h00 - Autres façons de lutter contre les lépidoptères ravageurs : Mimic®, Anti-PBAN et peptides phéromonostatiques– Johanne Delisle, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts

14h20 - Protection biologique du bois contre le bleuissement à l'aide d'un champignon albinos - Chantal Morin, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts

14h40 - Pause

### Problématiques particulières

*Modérateur : Gaston Laflamme, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts*

15h10 - Lutte intégrée contre le puceron des pousses du sapin *Mindarus abietinus* – Christian Hébert, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts

15h30 - La maladie hollandaise de l'orme : un exemple de lutte intégrée – Guy Bussières, Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval

15h50 - De la production à la commercialisation – Jean Cabana, AFA Environnement

16h20 - Mot de la fin de la journée – Gaston Laflamme, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts

17h00 - Cocktail et remise de la Bourse Wladimir-A.-Smirnoff

19h00 - Fin de la journée et souper libre

*Suite page suivante*



---

## **Mercredi 21 mars 2007**

**7h30** - Inscription

### **Situations à l'extérieur du Québec**

*Modérateur : Robert Lavallée, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts*

**8h30** - Utilisation de microorganismes antagonistes en lutte biologique : intérêts, limites et perspectives en protection des plantes – Patrice Rey, Université de Brest, France

**9h15** - Biopesticides microbiens : état de la situation au Canada et ailleurs dans le monde – Mark Goettel, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Alberta

**10h00** - Pause

**10h30** - Plénière sur la lutte biologique et intégrée – animateur : Gaëtan Daoust, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts

**11h30** - Mot de remerciements et fin du colloque – Robert Lavallée, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts





---

# Remerciements

Ce colloque a été possible grâce à la généreuse contribution de plusieurs partenaires financiers qui ont cru en la pertinence du sujet, nous les en remercions. Nous désirons aussi souligner la participation et le dévouement de tous les conférenciers, modérateurs et animateurs qui ont fait de cet événement un grand succès.

Nous aimerions aussi témoigner notre reconnaissance aux personnes qui ont participé au soutien logistique : Mmes Michelle Poulin, Diane Paquet et Marie Pothier de Ressources naturelles Canada, Mme Elsa Vaillancourt de l'Association forestière des Cantons de l'Est, Mme Line Sirois de FPIInnovation-FERIC, Mmes Nicole Doyon et Renelle Morin de la pépinière Bechedor et M. Benoît Arseneault de Ressources naturelles Canada.

Merci également aux participantes et aux participants présents.

Le comité organisateur du colloque

## Merci à nos partenaires financiers!





# Principes et applications de la lutte biologique



L'utilisation de pesticides de synthèse entraîne de lourds impacts environnementaux et sanitaires. La lutte biologique s'impose progressivement comme une alternative efficace et économique de contrôle des populations d'insectes indésirables. La lutte biologique consiste en l'utilisation d'organismes vivants (insectes prédateurs et parasites, nématodes, agents microbiens) comme «guerriers naturels». Chaque année, de nouveaux agents de lutte biologique sont commercialisés ou introduits dans notre environnement. Voilà autant d'illustrations du dynamisme de la lutte biologique et de la capacité d'innovation de ses artisans.

## Introduction

Des insectes nuisibles menacent parfois notre environnement, nos ressources agricoles et forestières, de même que notre santé. Depuis une soixantaine d'années, la protection contre ces ravageurs a été essentiellement assurée par des pesticides de synthèse, avec des résultats mitigés et de lourds impacts environnementaux et sanitaires. Les principaux problèmes récurrents associés à la lutte chimique concernent la contamination du sol, de l'air et de l'eau, l'exposition des populations humaines aux résidus, les effets négatifs sur les organismes non-ciblés (pollinisateurs, décomposeurs, etc.) et le développement de résistance de certains ravageurs aux produits.

En 1959, l'identification de ces problèmes, jumelée à l'émergence des préoccupations de la société face à l'environnement, à des lois plus restrictives sur les pesticides, et à l'augmentation des coûts d'utilisation des pesticides ont contribué au développement du concept de lutte intégrée contre les organismes nuisibles. Ce concept origine du milieu agricole, mais s'applique à toute situation où des insectes, des acariens, des mauvaises herbes, des maladies ou d'autres organismes nuisibles causent des dommages aux ressources ou à la santé animale et humaine. La lutte intégrée se présente comme une approche multidisciplinaire et écologique de gestion des populations de ravageurs qui repose sur l'utilisation concertée d'une variété de méthodes de contrôle. L'approche multidisciplinaire implique que des intervenants aux compétences diverses et complémentaires sont appelés à travailler ensemble pour réaliser la lutte intégrée. L'approche est dite écologique dans le sens où elle est fondée sur la science qui étudie les relations entre les organismes vivants et leur milieu. La lutte intégrée prône la gestion des problèmes phytosanitaires et non l'élimination des ravageurs. Finalement, pour contrôler les ravageurs, la lutte intégrée fait appel à une variété d'approches : chimiques, biologiques, culturelles, transgéniques, physiques ou autres. La lutte intégrée vise à promouvoir les facteurs de mortalité naturelle des ravageurs; au besoin, lorsque les seuils de rentabilité économique sont

menacés, elle utilise des moyens artificiels de contrôle. Le concept de gestion intégrée des insectes nuisibles implique que (i) les insectes ravageurs font partie intégrante de l'écosystème, (ii) les ravageurs ne doivent pas nécessairement être éradiqués, mais leur densité de population contrôlée, et (iii) certains niveaux de dommages causés par les ravageurs sont acceptables.

L'une des plus grandes réussites de la lutte intégrée est d'avoir encadré et balisé le recours aux pesticides de synthèse. La lutte chimique est, et demeurera pour longtemps encore, la principale approche de lutte contre les ravageurs des cultures. Tel est le principal constat du rapport d'un groupe d'experts récemment mandaté par le gouvernement des États-Unis pour statuer sur le rôle et le devenir des pesticides en agriculture. Ce constat s'explique entre autres parce que la compatibilité environnementale des pesticides augmente (sélectivité et innocuité plus grande des nouvelles molécules, formulations et méthodes d'application plus performantes) et que les autres solutions efficaces et économiques ne sont pas universellement disponibles. Dans ce contexte, la lutte biologique offre plusieurs avantages et s'impose désormais comme une

«La lutte intégrée se présente comme une approche multidisciplinaire et écologique de gestion des populations de ravageurs (...).»

alternative efficace, sûre et économique aux pesticides de synthèse. Elle fait partie intégrante des politiques gouvernementales de recherche et de développement et supporte une industrie, certes petite, mais en pleine croissance. L'importance relative de la lutte biologique et des biopesticides sur le marché global des pesticides augmente modestement, mais constamment depuis quelques décennies. D'un infime 0,2 % en 2000, les parts de marché ont totalisé 1,7 % en 2003 pour aujourd'hui atteindre 2,5 %.



## L'abc de la lutte biologique

Dans sa plus simple expression, la lutte biologique se définit comme «l'utilisation d'organismes vivants ou de produits dérivés d'organismes vivants, telles des toxines, pour le contrôle des organismes nuisibles». Les agents de lutte biologique diffèrent essentiellement par leur groupe taxonomique, leur mode d'action et leur spécificité biologique, c'est-à-dire le nombre d'espèces ou de groupes de proies/hôtes qu'ils exploitent. Ils appartiennent à l'un des quatre groupes suivants : les prédateurs, les parasitoïdes, les nématodes et les entomopathogènes (virus, bactéries et champignons). La lutte biologique vise à maintenir ou à rétablir un équilibre entre les ravageurs et leurs ennemis naturels. Ce principe guide l'élaboration des stratégies de lutte biologique, que ce soit en milieu agricole, forestier ou urbain. La lutte biologique peut être de nature curative ou préventive. Les interventions curatives visent une répression rapide et massive du ravageur. Elles sont destinées à protéger les ressources à grande valeur commerciale ou esthétique : fruits, légumes, plantes ornementales, arbres. Bien qu'en général le délai d'action en lutte biologique soit plus long que le délai observé en lutte chimique, il existe des agents de lutte

«La production d'agents de lutte biologique et de biopesticides relève d'une industrie dynamique et en expansion.»

biologique qui répriment rapidement les infestations de certains agents pathogènes et prédateurs. Les interventions préventives offrent des solutions bénéfiques lorsqu'une

infestation est en voie de développement ou qu'un problème de ravageurs se manifeste de façon récurrente dans une culture. Ce type d'intervention est conséquemment utilisé dans une perspective de lutte à moyen et à long terme.

La lutte biologique se développe à un rythme accéléré depuis le milieu des années 70 et son évolution est fascinante à bien des égards. Elle témoigne non seulement des drames causés par les arthropodes nuisibles, mais aussi de l'ingéniosité des humains à innover et à mettre au point des approches originales de contrôle. Le tableau 1 résume les étapes importantes qui ont jalonné le développement de la lutte biologique. Ses succès sont manifestes, voire spectaculaires, pour ce qui concerne les cultures maraîchères et les cultures en serre. Au Québec, des programmes de lutte biologique sont solidement implantés dans les cultures maraîchères en serre. Par exemple, un producteur de tomate dispose des agents de lutte biologique et des techniques nécessaires pour contrôler efficacement toutes les espèces d'insectes et d'acariens pouvant infester ses cultures, et ce, à des coûts moindres que s'il avait recours à la lutte chimique. Ainsi, en 2004, l'artillerie disponible pour protéger la tomate de serre comprenait 23 espèces d'agents de lutte biologique issues de 6 familles d'insectes prédateurs, de 2 familles d'acariens prédateurs et de 4 familles de parasitoïdes. Une fois le virage biologique amorcé, les producteurs peuvent difficilement se retourner vers des pesticides, car ils sont toxiques pour les agents de lutte biologique et les bourdons pollinisateurs. Cette conjoncture assure la pérennité des programmes de lutte biologique. Elle a aussi pour conséquence de dynamiser les secteurs de la recherche et de la production d'ennemis naturels. Ceci explique en partie pourquoi le secteur serricole demeure le fer de lance de la lutte biologique. La lutte biologique est en marche, en très bonne position grâce à ses succès, et possède la détermination et les compétences

requis pour s'adapter rapidement aux nouveaux problèmes. Ainsi, les introductions récentes en serre de nouvelles espèces de mouches blanches (*Bemisia tabaci*) et d'acariens (*Aculops lycopersici*) ont entraîné la mobilisation des chercheurs et la commercialisation rapide de nouveaux prédateurs et de nouveaux parasitoïdes. Depuis les années 80, la lutte biologique a également été pratiquée avec succès dans certaines cultures en champs comme les crucifères, le maïs et les vergers ainsi qu'en milieu forestier. L'utilisation au Québec du *Bacillus thuringiensis* (*B.t.*) pour réprimer les infestations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette constitue un exemple probant. Le *B.t.* demeure le produit vedette de la lutte biologique avec des ventes annuelles d'environ \$120 millions de dollars et ce montant est toujours en progression.

La production d'agents de lutte biologique et de biopesticides relève d'une industrie dynamique et en expansion. Il y a à peine trente ans, les deux premiers agents de lutte biologique, *Phytoseiulus persimilis* et *Encarsia formosa*, étaient commercialisés en Europe pour contrôler respectivement le tétranyque à deux points et l'aleurode des serres. Aujourd'hui, une grande variété d'auxiliaires (agents de lutte biologique), plus de 220 en 2006, sont offerts pour le contrôle des ravageurs. Même si plusieurs agents de lutte biologique sont commercialisés pour les productions serricoles, des superficies de plus en plus grandes de champs et de pépinières bénéficient maintenant de leur protection.

## De la boîte noire aux fondements théoriques

La mise en œuvre de systèmes de lutte biologique exige une connaissance approfondie du mode d'action des agents de lutte biologique, des conditions favorisant leur efficacité et de leurs interactions avec les constituantes de l'environnement. La lutte biologique a longtemps progressé à tâtons, au gré des essais et des erreurs, sans véritable fondement théorique. Toutefois, ces dernières années des chercheurs ont analysé un très grand nombre de programmes de lutte biologique afin d'identifier des modèles schématiques. Ces analyses sont précieuses puisqu'elles ont permis de mettre en évidence les conditions qui déterminent le succès ou l'échec d'un programme de lutte biologique. Nous connaissons désormais beaucoup mieux les attributs biologiques des agents de lutte biologique et les caractéristiques des systèmes plantes-ravageurs qui favorisent la lutte biologique. Cette dernière n'est désormais plus le résultat d'une approche empirique, mais relève d'une démarche prédictive. La lutte biologique s'articule principalement autour de deux principaux éléments : les relations ravageurs-ennemis naturels et la théorie du contrôle des populations.

Les relations ravageurs-ennemis naturels concernent les interactions des organismes à l'échelle individuelle. Elles s'appliquent à décrire les déterminismes de la spécificité des auxiliaires, l'influence des facteurs abiotiques sur les organismes ravageurs et les organismes bénéfiques, la voracité/virulence des auxiliaires, les réponses fonctionnelle et numérique des auxiliaires, et les interactions parfois complexes entre les auxiliaires eux-mêmes. L'étude de ces paramètres permet de mesurer le potentiel des auxiliaires et d'identifier les meilleurs candidats destinés à un programme de lutte biologique. La théorie du contrôle des populations concerne les changements dynamiques, en fonction du temps et de l'espace, des systèmes biologiques. Elle fait appel à la modélisation des paramètres démographiques et s'applique aux populations et aux communautés. Les modèles les plus récents



|                 |   |
|-----------------|---|
| 8 000 av. J.-C. | Début de l'agriculture  |
| 2 500 av. J.-C. | Première mention d'un pesticide (soufre)  |
| 300 av. J.-C.   | Première mention de la lutte biologique (utilisation de fourmis dans les vergers en Chine)          |
| 1870            | Première réussite de la lutte biologique classique (coccinelle versus cochenille en Californie)     |
| 1879            | Premier essai d'un champignon entomopathogène ( <i>Metarhizium anisopliae</i> ) en Russie           |
| 1895            | Discussion à Londres sur la production en masse de parasitoïdes (Trichogramme)                      |
| 1901            | Découverte du <i>Bacillus thuringiensis</i> ( <i>B.t.</i> ) par S. Ishiwatari                       |
| 1916            | Utilisation des trichogrammes contre une tordeuse dans les vergers                                  |
| 1920-29         | Utilisation commerciale du <i>B.t.</i>  |
| 1939            | Découverte des propriétés insecticides du dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT)                     |
| 1946            | Premier cas de résistance à un insecticide (mouche domestique contre DDT)                           |
| 1950-59         | Utilisation commerciale de formulations à base de spores de <i>B.t.</i>                             |
| 1959            | Introduction des concepts de lutte intégrée   |
| 1962            | Publication de <i>Silent Spring</i> par R. Carson   |
| 1972            | Bannissement du DDT aux États-Unis  |
| 1972            | Commercialisation aux Pays-Bas des premiers prédateurs et parasitoïdes                              |
| 1975            | Homologation aux États-Unis d'un virus du polyédrose nucléaire (NPV) contre le <i>Heliothis zea</i> |
| 1977            | Découverte du <i>B.t. israelensis</i> contre les diptères   |
| 1983            | Découverte du <i>B.t. tenebrionis</i> contre les coléoptères  |
| 1986            | Essai en champ des plantes transgéniques <i>B.t.</i>  |
| 1996            | Utilisation à grande échelle des plantes transgéniques <i>B.t.</i> (maïs, coton, etc.)              |
| 1998            | Développement de résistance des insectes face aux plantes transgéniques <i>B.t.</i>                 |
| 1998            | Environ 175 biopesticides sont homologués (700 produits)  |
| 2006            | Environ 220 agents de lutte biologique sont commercialisés  |

Tableau 1 : Quelques événements importants du développement de la lutte biologique

intègrent les interventions humaines dans les agro-écosystèmes (pratiques culturales, applications de pesticides, modifications de l'habitat) et leurs impacts sur les populations de ravageurs et d'auxiliaires. Ces modèles permettent d'identifier les paramètres écologiques pouvant être manipulés dans le but de maintenir les populations de ravageurs sous un seuil économique acceptable pour le producteur et d'obtenir des états d'équilibre aussi stables que possible.

Ces théories sont désormais suffisamment intégrées et précises pour favoriser la prise de décision dans plusieurs programmes de contrôle des insectes nuisibles. Elles procurent une base conceptuelle qui permet :

1. d'identifier les ravageurs et les cultures les plus propices au développement, à l'implantation et au succès de la lutte biologique;
2. d'identifier les auxiliaires les plus performants lors du processus de sélection;
3. de prédire les conséquences (succès versus échec) de l'utilisation d'un auxiliaire;
4. de prédire l'impact de l'introduction d'un auxiliaire sur l'écosystème et les espèces non ciblées;
5. de mettre au point des stratégies optimales de lâchers d'auxiliaires;
6. de faciliter notre compréhension des processus en cause dans la lutte biologique.

Divers autres outils et techniques furent également développés ces dernières années en lutte biologique. Ils témoignent de la vitalité de cette approche. Ainsi, la biologie moléculaire est de plus en plus au service de la biosystématique et des études en milieu naturel. Les techniques d'analyse du polymorphisme enzymatique et de la variabilité de l'ARN ribosomale, de l'ADN mitochondriale et de l'ADN génomique facilitent la caractérisation fine des biotypes de prédateurs, de parasitoïdes et d'agents pathogènes. Elles permettent aussi de suivre au champ le devenir des génotypes introduits et, s'il y a lieu, les échanges de matériel génétique entre les populations indigènes et exotiques. Dans ce domaine, la majorité des travaux ont été réalisés sur des virus, des bactéries et des champignons. Des approches de sélection génétique ont également permis l'amélioration d'agents de lutte biologique. Les succès les plus importants s'observent au niveau du développement de souches de prédateurs et de parasitoïdes résistantes à diverses classes de pesticides.

« Dans sa plus simple expression, la lutte biologique se définit comme « l'utilisation d'organismes vivants ou de produits dérivés d'organismes vivants, telles des toxines, pour le contrôle des organismes nuisibles. »

### Freins au développement de la lutte biologique

Plusieurs éléments freinent le développement et l'implantation de la lutte biologique. Il y a d'abord, à mon avis, les trop faibles incitatifs dans nos sociétés pour délaisser la lutte chimique, bien que, parfois, les pressions du public font rapidement bouger les choses. C'est entre autres ce que nous avons vécu ces dernières années au Québec avec



l'adoption d'un code original et avant-gardiste de gestion des pesticides en milieu urbain. Ce code a permis le retrait du marché des pesticides considérés comme dangereux pour la santé humaine et l'environnement et qui étaient utilisés pour des fins esthétiques dans les espaces verts urbains.

Le faible coût apparent de la lutte chimique freine également l'implantation de la lutte biologique. Des recherches sont en cours afin de parvenir à une évaluation économique qui soit juste et crédible des programmes de lutte biologique, laquelle demeure

«La production en masse des agents de lutte biologique s'avère trop souvent un frein majeur à leur commercialisation.»

souvent perçue comme une alternative coûteuse. De nouvelles grilles d'analyse économique intègrent les coûts et bénéfices directs (quantifiables et immédiats) et indirects. Pour plusieurs auteurs, les bénéfices indirects que retire la

société lorsque la lutte biologique a préséance sur la lutte chimique devraient impérativement être comptabilisés lors de l'évaluation d'un programme de contrôle des ravageurs. Les effets négatifs indirects associés à l'utilisation de pesticides, c'est-à-dire les problèmes de santé humaine et d'environnement, augmentent d'autant les coûts de la lutte chimique sans pour autant qu'ils soient considérés dans le choix de cette méthode de contrôle.

Des acquis récents dans le domaine de la lutte biologique pour certaines cultures et face à certains ravageurs sont remis à la suite de la commercialisation de nouvelles molécules insecticides à la fois performantes et moins dommageables pour l'environnement. Un exemple probant est l'abandon presque total ces dernières années des méthodes biologiques de lutte contre le doryphore de la pomme de terre après l'arrivée sur le marché d'une nouvelle classe de pesticide, les nicotinamides. Toutefois, le retrait au Canada de plusieurs pesticides problématiques offre une opportunité intéressante pour la promotion de la lutte biologique, particulièrement dans les cultures de faible importance économique où les probabilités d'homologation de nouveaux pesticides sont réduites.

La production en masse des agents de lutte biologique s'avère trop souvent un frein majeur à leur commercialisation. Actuellement, des efforts majeurs sont investis afin de mettre au point des diètes artificielles pour la production de prédateurs et de parasitoïdes et des formulations favorables à la multiplication et à la conservation des entomopathogènes. Des solutions existent désormais pour minimiser les principaux problèmes associés à la culture d'organismes en laboratoire et à leur production en masse : consanguinité (*inbreeding*), dérive génétique, mutation, ratio des sexes, contamination. Parallèlement, des efforts récents ont permis aux entreprises qui produisent et distribuent des agents de lutte biologique de se doter de mesures rigoureuses de contrôle de la qualité. Sous la supervision de l'Organisation internationale de lutte biologique contre les animaux et les plantes nuisibles (OILB), un groupe de travail a harmonisé des lignes directrices pour la commercialisation de plus de 27 espèces d'auxiliaires. Les recommandations concernent l'étiquetage des produits et le contrôle de la qualité en usine et chez les producteurs.

La bonne réputation de la lutte biologique fut récemment entachée par la publication d'études démontrant le tort causé à la faune indigène après l'introduction malheureuse de parasitoïdes et de prédateurs. Le débat sur l'importation et le lâcher d'agents de lutte biologique s'intensifie. Les groupes environnementaux et certaines instances gouvernementales font désormais partie intégrante des discussions. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a ainsi ratifié en 1995 un code de bonne conduite, volontaire, qui établit les risques associés à l'introduction d'organismes exotiques et les responsabilités des gouvernements, des agences et des entreprises qui promeuvent la lutte biologique. Actuellement, cette problématique ralentit considérablement, notamment au Canada, le développement et la commercialisation de nouveaux auxiliaires. Cependant, il est nécessaire d'être prudent et de se doter de procédures efficaces afin de préserver la biodiversité et l'intégrité de nos écosystèmes.

À ces obstacles au développement et à la promotion de la lutte biologique s'ajoutent des problèmes récurrents reliés à la petite taille de l'industrie du biocontrôle : diversité et disponibilité des produits, formation et aide (suivi) aux utilisateurs, capitalisation des entreprises, sous-financement de la recherche, problème d'homologation des biopesticides et des entomopathogènes.

## Conclusion

Les efforts multiples consacrés à la lutte biologique aboutissent aujourd'hui à des applications concrètes. Chaque année, de nouveaux agents de lutte biologique sont introduits dans notre environnement ou font leur entrée sur le marché. Voilà autant d'illustrations du dynamisme actuel de la lutte biologique et de la capacité d'innovation de ses artisans. Les principaux avantages du biocontrôle résident dans l'efficacité des agents de lutte biologique, leur innocuité vis-à-vis de l'environnement et de la santé humaine, leur compatibilité avec les programmes de lutte intégrée et le faible coût de développement et d'homologation d'un agent de lutte biologique ou d'un biopesticide par rapport à un pesticide de synthèse. Les principaux désavantages associés à la lutte biologique sont leur efficacité variable selon les écosystèmes et les conditions climatiques, l'effet différé entre le moment où un agent de lutte biologique est introduit dans un système et la mortalité du ravageur, la faible durée de vie sur les tablettes des nématodes, prédateurs, parasitoïdes et entomopathogènes, ainsi que leur plus grande difficulté d'utilisation par rapport aux pesticides de synthèse.

Nous avons cependant des choix à faire quant aux cibles (ravageur et culture) à privilégier. Les théories récentes sur la lutte biologique devraient guider notre démarche en ce sens. Nous devons également afficher une grande prudence face aux agents de lutte biologique que nous désirons introduire dans notre environnement. De même, dans ce nouveau contexte, il serait approprié comme société de revoir nos stratégies de promotion, de financement et d'implantation de la lutte biologique.





# Notre implication, nos réalisations, nos espoirs en lutte biologique et intégrée dans les pépinières forestières du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF)



C'est dans un contexte hautement spécialisé, organisé et contrôlé que les pépiniéristes forestiers tentent de mettre en pratique les principes de la lutte intégrée. Cependant, l'usage des pesticides dans la production de plants forestiers est incontournable. On s'applique, néanmoins, à rendre le plus sécuritaire possible les opérations qui y sont reliées et à minimiser les impacts sur nos travailleurs et l'environnement. On cherche à utiliser les produits les moins toxiques, on favorise les produits dits «à risques réduits», on s'implique dans la recherche de biopesticides.

Les ravageurs auxquels les pépiniéristes forestiers ont à faire face sont nombreux. Il est possible de le constater en comptabilisant les unités de pesticides (fongicides, herbicides, insecticides) utilisées par les pépinières du MRNF au cours des dernières années. De ces pesticides consommés, 75 à 85 % sont des herbicides, le reste est réparti en parts égales entre les insecticides et les fongicides.

## Les mauvaises herbes

Une grande partie des herbicides est utilisée pour les productions à racines nues puisque ce mode de production couvre une plus grande superficie.

Pour le désherbage, les traitements visent à fournir à la culture un avantage compétitif, dès l'apparition de la végétation. Dans les pépinières forestières, autant pour les productions à racines nues (de plein champ) que pour les productions en récipients, on doit

maintenir cette pression sur les mauvaises herbes tout au long de la saison, surtout les premières années, car les plants forestiers ne peuvent compétitionner efficacement avec les adventives.

Le contrôle des mauvaises herbes dans les pépinières forestières est surtout chimique. Bien sûr, lors des rotations de culture, les engrais verts vont faire une pression sur les vivaces et réduire la banque de graines de mauvaises herbes dans le sol. Cela fait partie d'une approche intégrée, non chimique. Cependant, en cours de production, les interventions non chimiques sont plus limitées. On a tout de même exploré des méthodes mécaniques : comme les sarclours entre sillons et les houes rotatives ainsi que des méthodes thermiques. Ces moyens ne réduisent toutefois pas le besoin de recourir, malgré tout, aux applications d'herbicides et au sarclage manuel. La place est donc grande ouverte pour l'utilisation d'approches biologiques. C'est un souhait souvent renouvelé de la part de nos pépiniéristes.



## Les maladies et les insectes

Des pesticides utilisés par les pépiniéristes, 15 à 25 % sont des fongicides et des insecticides; ce qui ne reflète pas nécessairement les efforts consentis pour la lutte contre les insectes et les maladies. Contrairement aux mauvaises herbes qui nous laissent un certain temps de réaction, les insectes et les maladies peuvent s'installer rapidement et causer des dommages considérables avant la mise en place de mesures correctrices.

### Les maladies

#### Fonte des semis

Avant même l'émergence des semis, le pépiniériste est aux aguets : une fonte des semis peut survenir. Dans le passé, c'était presque un dogme : plusieurs applications de fongicides nous assuraient la tranquillité d'esprit. En fait, des vérifications assez simples, faites pendant plusieurs années dans quelques pépinières, ont indiqué qu'il était impossible de faire des liens évidents entre la survie des plantules et l'emploi des fongicides contre la fonte des semis. Quand même! Les dogmes ont la couenne dure! Malgré un certain contrôle des conditions de germination, le caractère incertain des conditions climatiques demeure et, en définitive, une décision humaine doit gérer un risque toujours présent. Tout de même on a réduit globalement l'utilisation des fongicides pour le contrôle de la fonte des semis.

Pour le contrôle de cette maladie, je pense que les espoirs sont bons qu'avant longtemps on puisse utiliser des biofongicides dans les productions à racines nues et en récipients. Des biofongicides sont déjà homologués pour des productions horticoles sous serres. Il faudra, pour l'industrie des biopesticides, développer des formulations à coût raisonnable pour les cultures extérieures ou utilisant de grandes surfaces.

#### Pourriture racinaire

Plus tard au cours de la croissance, d'autres pathogènes constituent une nouvelle menace : la pourriture racinaire des semis en est un. Pendant plusieurs années, ce fut un problème important et répandu, qui a causé des pertes de plants et une réduction de la qualité des semis surtout à racines nues, mais aussi en récipients. Le premier réflexe a été de chercher le bon produit chimique qui nous débarrasserait du problème. On a aussi travaillé à la recherche de solutions biologiques : l'introduction de microorganismes bénéfiques pour faire compétition aux organismes pathogènes du sol.

À la pépinière de Berthier, on a aussi testé un pasteurisateur de plate-bande à la vapeur, mobile, d'une efficacité non démontrée par rapport à la pourriture racinaire et d'un bilan écologique douteux, puisque très énergivore. On est allé également du côté de la fumigation pour les cas les plus graves. Cependant, les pépiniéristes étaient très réticents à s'engager dans une logique de fumigation avant chaque production, même si cette façon de faire est largement répandue chez nos voisins du Sud.

On en était alors au début de nos actions pour l'amélioration des sols et la fumigation nous semblait incompatible avec les concepts d'activation de la microfaune et de la microflore pour compétitionner avec les organismes pathogènes du sol. C'est précisément en suivant cette voie, c'est-à-dire en améliorant la qualité physique de nos sols par

la décompaction, le nivelage et le drainage et en favorisant une vie plus active dans le sol par des apports de matières organiques (bois raméaux, compost, fumier, boues diverses, etc.), par la rotation des cultures avec des engrais verts ainsi qu'en raffinant certaines opérations comme le repiquage, que finalement la perte de plants a été ramenée presque à zéro. Même si on détecte encore dans nos sols les organismes pathogènes responsables de la pourriture racinaire, c'est, je crois, un bel exemple réussi de lutte intégrée.

Malgré nos efforts de prévention, la production de plants forestiers demeure victime à l'occasion de divers pathogènes pour lesquels des traitements fongiques sont requis. On souhaite que d'autres formes de lutte, biologiques ou intégrées, prennent la relève.

### Les insectes

#### Punaise terne

L'insecte qui nous préoccupe le plus pour la production de plants forestiers est sûrement la punaise terne (*Lygus lineolaris*). On le retrouve dans les modes de production à racines nues, en récipients et aussi dans la production de peupliers hybrides. Les plants déformés qui résultent des attaques de l'insecte sont souvent une perte pour le producteur.

Dans nos recherches pour de nouvelles plantes pour les engrais verts, on s'est rendu compte que la punaise terne a une préférence pour certaines d'entre elles et que c'est faute de mieux qu'elle se retrouve sur les conifères. De là l'idée de fournir à l'insecte son plat préféré, sous forme d'une plante attractive. On y regroupe les punaises ternes et ainsi on soustrait les conifères aux attaques des insectes. Le principe peut être adapté pour les productions à racines nues et en récipients.

Pour les cultures au champ, lors de la fauche des engrais verts, on conservera une bande non fauchée qui servira de refuge pour les insectes. Quelques jours plus tard, cette bande sera pulvérisée avec un insecticide avant d'être fauchée à son tour.

Encore une fois, une meilleure connaissance des habitudes de l'insecte nous a mis sur la voie de la lutte intégrée. Cependant, il faut bien le dire, il reste encore du chemin à faire : l'utilisation des insecticides organophosphorés est encore la norme pour lutter contre la punaise terne. On compte sur la lutte biologique pour nous aider. En collaboration avec l'INRS-Institut Armand-Frappier, le MRNF participe financièrement à la recherche sur plusieurs insectes présents dans nos pépinières, dont la punaise terne.

#### Charançon de la racine du fraisier

Le charançon de la racine du fraisier (*Otiorthynchus ovatus*) est un autre insecte important des pépinières forestières. Nous ne sommes pas à l'abri d'un retour en force de ce ravageur qui est toujours présent de façon endémique dans nos sols.

«Contrairement aux mauvaises herbes qui nous laissent un certain temps de réaction, les insectes et les maladies peuvent s'installer rapidement et causer des dommages considérables.»



Encore une fois, les premières méthodes envisagées ont été chimiques, avec des succès variables. L'insecte fait ses dommages au niveau racinaire et n'est pas toujours facile à atteindre. Nos meilleurs résultats ont de nouveau été obtenus à l'aide d'une approche intégrée.

Après un travail minutieux et acharné de détection, nous avons nettoyé ou traité les haies brise-vent, là où l'insecte se tenait. Après la récolte des plants forestiers, l'entretien d'une jachère (sol nu) avant l'ensemencement de l'engrais vert permet des réductions importantes des populations de charançon. Dans certains cas, l'utilisation de la houe rotative a pu exercer un contrôle direct de l'insecte en perturbant ses sites de ponte à la base des jeunes plants.

On voit donc qu'une bonne pratique de gestion des sols, telle que l'utilisation de la houe rotative (qui procure des bienfaits par rapport au contrôle des mauvaises herbes, à l'aération du sol, et à l'efficacité de la fertilisation et de l'irrigation) peut aussi contribuer à la lutte contre les ravageurs.

Des populations de charançon de la racine du fraisier persistent et se maintiennent toujours dans certains secteurs des pépinières; l'insecte pourrait revenir en force. Il faut donc s'y préparer.

## La détection, la prévention

Quand on parle de lutte intégrée, on devrait toujours sous-entendre l'intégration des personnes. Depuis plusieurs années, les producteurs de plants forestiers ont la chance de compter sur une équipe du ministère qui, en plus de réaliser la certification sanitaire des plants, a acquis une grande expertise sur les ravageurs rencontrés dans les pépinières forestières.

«Quand on parle de lutte intégrée, on devrait toujours sous-entendre l'intégration des personnes.»

Leurs connaissances sont constamment transférées au personnel des pépinières qui comptent maintenant des équipes de plus en plus aguerries à la détection.

Ces équipes ont été capables d'adapter diverses méthodes de détection au contexte des pépinières forestières : identification des insectes et des maladies, échantillonnage, utilisation de filet, de pièges collants, de pièges à phéromones, de pièges lumineux, etc. La lutte aux ravageurs est maintenant plus efficace grâce à une meilleure planification des traitements, à l'adaptation de l'équipement et à une bonne évaluation de l'efficacité des interventions.

Cette partie de la lutte intégrée est à notre portée. Pour aller encore plus loin, l'accessibilité aux biopesticides serait nécessaire.

## Protection des travailleurs, protection de l'environnement

Pour la production de plants forestiers, on tente constamment d'améliorer notre produit final et cela passe aussi par le contrôle des ravageurs de toutes sortes : mauvaises herbes, insectes, maladies; on pourrait ajouter rongeurs, oiseaux, écureuils, chevreuils, etc. Ce contrôle, on veut l'exercer dans un esprit de développement durable pour l'environnement, mais aussi de façon sécuritaire pour les travailleurs de nos pépinières qui ont à manipuler les plants et pour ceux qui auront à les reboiser.

Notre personnel a accès à l'équipement de sécurité disponible pour la manipulation des produits antiparasitaires et les utilise. Il a la formation et les certificats requis par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Sur le territoire de la pépinière, on s'entend sur des procédures pour avertir qu'il y a eu applications de produits antiparasitaires, sur les distances de protection et sur les délais à respecter avant de retourner sur le site traité pour chaque produit antiparasitaire appliqué. Dans des outils informatiques comme Plantec 2, on a colligé l'information sur les produits antiparasitaires pour la rendre disponible aux utilisateurs.

## Conclusion

Réduire les risques reliés à l'utilisation des produits de phytoprotection fait partie des souhaits de notre organisation. Toutes nos actions pour une meilleure gestion des cultures tendent à s'approcher de l'idéal de lutte intégrée, mais dans le contexte artificialisé de la production de plants forestiers, le recours aux produits antiparasitaires paraît inévitable.

Nous tentons, tout de même, d'éviter et de réduire l'usage des pesticides les plus toxiques. Nous recherchons les produits antiparasitaires dits «à risque réduit» de la nouvelle classification de Santé et Agriculture Canada.

Nous souhaitons que la recherche scientifique et le développement de l'industrie des biopesticides nous permettent d'aller encore plus loin dans notre démarche d'amélioration de la protection des travailleurs et de l'environnement, tout en assurant une protection adéquate de nos cultures.







# Lutte intégrée dans le secteur des pépinières privées du Québec : obligations et problématiques

Le texte de Monsieur Richard Gohier n'était pas disponible lors de l'impression

## Résumé de la conférence :

Les pépinières forestières privées du Québec sont regroupées au sein de l'Office des producteurs de plants forestiers du Québec. Ces 18 pépinières produisent approximativement 100 millions de plants résineux par année, tous en contenant. Les essences produites sont principalement l'épinette noire, le pin gris et l'épinette blanche. Présentes dans la majorité des régions du Québec, ces pépinières doivent relever des défis importants liés à la lutte contre les différents ravageurs.

Ces défis dépendent de plusieurs exigences :

- 1- L'obligation de détenir un certificat phytosanitaire émis par la Direction de l'environnement et de la protection des forêts pour chaque lot de plants expédié vers les sites de reboisement.
- 2- L'importance de bien contrôler les ravageurs en deçà d'un seuil qui permet d'atteindre les objectifs de livraison et par conséquent les revenus financiers budgétés.
- 3- La responsabilité de respecter les différentes législations en vigueur.
- 4- La responsabilité de respecter le contexte environnemental entourant la pépinière.
- 5- La responsabilité de maintenir un cadre de travail sécuritaire pour l'ensemble des employés.

La conférence a abordé ces éléments dans une perspective d'information et en traitant des défis à relever.





# Les insectes et les maladies dans les vergers à graines : sous haute surveillance!



Malgré de bonnes années pour la production de cônes, les insectes et les maladies peuvent causer des dommages importants surtout lors d'années semencières moyennes. Les pesticides homologués pour lutter contre ces ravageurs sont très peu nombreux ou inexistantes. La lutte biologique est utilisée comme alternative et fait maintenant partie intégrante du programme de lutte intégrée.

## Introduction

Cette présentation se divise en quatre sections : le réseau des vergers à graines, les ravageurs de cônes, le suivi de l'état de santé des vergers, et enfin la lutte intégrée comme une alternative viable pour l'aménagement des vergers à graines.

Le programme d'amélioration des arbres forestiers a commencé il y a plus d'une trentaine d'années. Il s'est établi un réseau de vergers à graines afin de pouvoir combler les besoins en semences du programme de reboisement. Ce dernier a même déjà eu un objectif jamais atteint de 300 millions de plants par année.

Les vergers à graines de la première phase d'établissement sont maintenant rendus à maturité. La bonne production de semences comble la majorité de nos besoins en semences. Depuis 1999, nous sommes à la deuxième phase d'établissement avec des vergers de deuxième génération comprenant principalement des épinettes blanches, des épinettes noires et des pins gris. En 2007, nous pouvons dire que plus de 80 % des plants livrés seront améliorés. Nous escomptons que 75 % ou plus des plants seront livrés améliorés les prochaines années.

## Le réseau des vergers à graines

Un verger à graines est une plantation de clones ou de semis provenant d'arbres sélectionnés, isolée pour prévenir la pollinisation par des individus non désirables et aménagée pour une production rapide et abondante de semences améliorées en vue du reboisement. Les vergers de semis furent utilisés surtout au début du programme d'amélioration génétique lorsque nous ne connaissions pas la valeur génétique de l'arbre plus sélectionné en forêt naturelle. Les caractéristiques d'un verger à graines sont les suivantes :

- Clones ou semis répartis aléatoirement
- Espacement entre les arbres variant de 3 à 5 mètres selon les essences
- Arbres identifiés par une étiquette sur le terrain
- Arbres aménagés intensivement
- Isolement contre le pollen étranger
- Texture du sol recherchée : loam sableux
- Superficies restreintes variant de 1 à 56 hectares (moyenne = 9,5 ha)
- Arbres ayant une grande valeur et représentant un capital forestier à préserver

Ces caractéristiques influencent beaucoup les interventions de la lutte contre les ravageurs. On peut voir sur la photo 1 un exemple de l'entretien intensif d'un verger incluant le fauchage des herbacées au moins une fois par année dans les jeunes vergers.



Photo 1



Les arbres affichent un excellent bilan nutritif avec de bons taux d'azote. Cela crée un problème parce qu'ils sont ainsi attirants pour les insectes. De plus, la production abondante de cônes favorise probablement une quantité d'insectes et de maladies plus importante qu'en forêt naturelle.

La photo 2 illustre un verger à graines qui est composé d'arbres ayant une cime bien développée pour maximiser la photosynthèse et indirectement la production de cônes. Il y a eu un élagage des branches basses pour faciliter les traitements comme le dégagement mécanique ou la fertilisation.



Photo 2

Le réseau compte un peu moins d'une centaine de vergers à graines. Cela représente plus de 1 000 hectares répartis dans toutes les régions du Québec. Onze vergers de deuxième génération sont établis sur les sites des pépinières publiques pour faciliter l'entretien et l'aménagement. Il ne faut pas oublier que nous comptons aussi sur une bonne vingtaine de tests de descendances et de provenances qui ont été éclaircis.

On peut voir au tableau 1 que les vergers à graines sont bien représentés en ce qui concerne les trois principales essences forestières du Québec. Il y a environ 600 000 semenciers pouvant combler 80 % des besoins en semences.

| Essence                        | Nombre    | Superficie (ha) | Nombre d'arbres |
|--------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|
| EPN                            | 27        | 614             | 365 721         |
| EPB                            | 24        | 143             | 53 525          |
| PIG                            | 14        | 330             | 114 360         |
| PIB                            | 6         | 32              | 12 604          |
| EPO, MEU, MEJ<br>MEL, PIR, PIS | 21        | 53              | 20 706          |
| FEUILLUS                       | 4         | 1               | 463             |
| <b>Total</b>                   | <b>96</b> | <b>1 173</b>    | <b>567 376</b>  |

Tableau 1 : Nombre de vergers à graines selon les essences au Québec.

## Suivi des ravageurs de cônes

Au début de la production de cônes dans les vergers, plusieurs récoltes de cônes furent détruites par les insectes et les maladies. Pour résoudre ce problème, un plan d'action fut élaboré pour le contrôle des insectes et des maladies. Les différentes étapes sont les suivantes :

1. Élaboration et mise en place d'un suivi de la floraison
2. Mise en place d'un suivi des ravageurs de cônes
3. Organisation de la lutte intégrée
4. Développement de méthodes alternatives

Le suivi de la floraison comporte un forçage de bourgeons sur des rameaux prélevés au mois de février. Les résultats étant connus avant la floraison, ce suivi permet de mieux planifier les opérations. Une évaluation plus précise de la floraison est réalisée au printemps si un arrosage pour lutter contre les ravageurs est planifié. En outre, une évaluation de la fructification est toujours réalisée avant tout projet de récolte de cônes.

Le suivi des ravageurs de cônes n'est pas réalisé systématiquement pour toutes les sources de semences. Les sources retenues sont celles qui correspondent à des besoins en semences importants pour une région donnée et lorsqu'on observe la présence récurrente de ravageurs. De plus, la source doit avoir atteint l'âge de produire des cônes. Enfin, une source est retenue lorsque l'impact des ravageurs observés nuit à la santé des arbres ou à la production de cônes.

En général, les vergers d'épinettes blanches, de pins blancs, de mélèzes laricins et d'épinettes de Norvège sont les sources faisant l'objet d'un suivi plus intensif.

Dans un premier temps, une détection est faite par les techniciens en protection des forêts. Cette opération consiste à récolter des cônes qui semblent présenter des dommages. Ils sont expédiés au laboratoire de la Direction de l'environnement et de la protection des forêts pour analyse. Par la suite, une étude d'impact est prescrite si les insectes sont abondants, si la maladie est répandue et si les dommages sont importants.

L'étude d'impact consiste en un prélèvement des cônes réalisé selon un plan de sondage. L'analyse des cônes en laboratoire permet de produire un rapport sur le nombre de cônes affectés et sur les semences affectées dans ces mêmes cônes.

À l'analyse des résultats des suivis réalisés de 1999 à 2006, un des premiers constats a été la grande diversité des agents rencontrés : 23 espèces d'insectes et 7 maladies différentes. Ils causent des dommages aux cônes principalement à ceux de l'épinette blanche, du pin blanc et du mélèze laricin.

La mouche granivore (*Strobilomyia neanthracina* Mich.) est sans contredit l'insecte causant les plus grandes pertes de semences. Ensuite, la rouille jaune tardive (*Pucciniastrum americanum* (Farl.)) est souvent la cause du rejet de cônes entiers. Enfin, la tordeuse des graines de l'épinette (*Cydia strobilella* L.) cause aussi des dégâts importants. Les insectes s'attaquant aux cônes du pin blanc sont aussi très importants. Un seul scolyte des cônes du pin blanc (*Conophthorus coniperda* Schwarz), lequel mesure à peine quelques millimètres, est responsable de la destruction complète de plusieurs cônes.

La moitié des cônes sont affectés à des degrés divers selon les années. Dans ces cônes, il y a généralement en moyenne 41,5 % des semences qui sont détruites. Les arrosages réalisés lors des bonnes années semencières semblent diminuer le nombre de cônes affectés.

Dans les vergers d'épinettes blanches, selon les données des suivis de



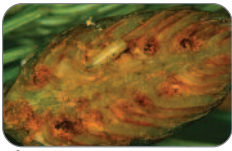


Photo 3

(voir photo 3).

Sur la figure 1, on peut remarquer que les dégâts causés par la mouche granivore de l'épinette sont particulièrement importants les années de fructification moyenne, faible ou nulle. Lors des bonnes années, le nombre de cônes peut être tellement important que le taux de cônes affectés est relativement plus faible. Comme une année de fructification moyenne peut faire l'objet d'une récolte de cônes, il faut souvent procéder au contrôle de la mouche granivore pour les conserver.

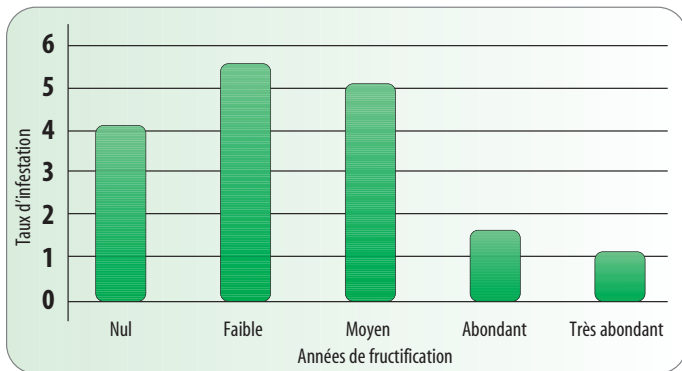


Figure 1 : Dégâts causés par la mouche granivore de l'épinette selon les années de fructification.

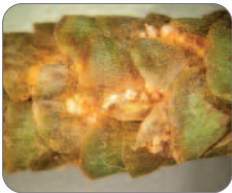


Photo 4

Il ressort assez clairement que le taux des dommages est supérieur en présence de framboisiers : 31,9 % contre 6 %.



Photo 5

et la Gaspésie (8,0 %).

Le scolyte des cônes du pin blanc a des impacts majeurs sur la production des cônes du pin blanc. La femelle adulte creuse un trou à la base du pédoncule du conelet de pin blanc pour déposer l'oeuf. Par la suite, la croissance du conelet ralentit ou s'arrête complètement. Le cône sera finalement détruit. Le nombre de cônes affectés est de 15,5 % en moyenne pour les six vergers à graines de pins blancs.

1999 à 2006, la mouche granivore de l'épinette attaque en moyenne 40 % des cônes et détruit 41 % de leurs semences. À cela, il faut ajouter la rouille jaune tardive qui est responsable en moyenne de la destruction de 23 % des cônes. Les larves de mouche granivore sont très petites et difficiles à détecter sur le terrain

La rouille jaune tardive (photo 4) peut causer certaines années des dommages importants dans la production de cônes de certains vergers à graines par exemple les vergers d'Aubin de l'Isle à Saint-Benjamin en Beauce. Le framboisier étant un hôte alterne à ce champignon, nous avons comparé le taux de cônes affectés selon la présence du framboisier dans les vergers d'épinettes blanches.

La tordeuse des graines de l'épinette (photo 5) cause des dommages non négligeables dans les cônes. En tenant compte de la localisation des vergers à graines, il ressort que les vergers situés dans les sous-domaines bioclimatiques du sud-ouest de la province ont plus de cônes affectés (22,8 %) que ceux situés dans le Bas-Saint-Laurent

Cependant, il arrive qu'une production de cônes soit complètement perdue surtout lors des années de production moyenne. Ce fut le cas notamment au verger de Verchères à Saint-Amable et à celui d'Aubin de l'Isle à Saint-Benjamin en Beauce où plus de 50 % des cônes furent détruits. Le perce-cône du pin blanc est responsable d'autres dommages dans une proportion moyenne de 10,7 %.

En ce qui a trait au pin rouge, il y a encore plus de ravageurs de cônes. En effet, il y a huit insectes différents qui causent des dommages jusqu'à un taux de 18 % chacun. Ainsi, il y a plus de la moitié des cônes qui sont détruits annuellement dans le verger de pins rouges de Verchères.

Au verger de mélèze Laricin de Rémigny au sud-ouest de Rouyn-Noranda, la mouche granivore du mélèze endommage de 7 à 58 % des cônes selon les années.

### Suivi de l'état de santé des arbres

À l'analyse des résultats du suivi des insectes et des maladies dans les vergers à graines, on se rend compte qu'il existe aussi une grande diversité d'agents qui causent des dégâts à des degrés divers. Les techniciens et le personnel du laboratoire de la Direction de l'environnement et de la protection des forêts ont détecté pas moins de 178 espèces d'insectes, 69 maladies, 12 facteurs abiotiques comme la gelure printanière, et finalement des dégâts causés par 9 espèces animales différentes. Si l'on ajoute les ravageurs de cônes, cela représente un total de plus de 300 agents différents. Comme la détection a lieu pendant une courte période de l'été, il y a fort à parier que la diversité est plus grande.

Les trois principaux agents : le charançon du pin blanc qui est présent dans 41 vergers à graines, la gelure printanière présente dans 49 vergers et le diprion de l'épinette qui fut détecté dans 21 vergers. Il ne faut pas oublier la rouille tumeur autonome qui affecte sérieusement plusieurs vergers de pins gris.



Photo 6

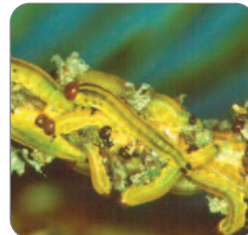


Photo 7



Photo 8

La cécidomyie de l'épinette occasionne des problèmes particulièrement cette année alors qu'une partie non négligeable des greffons d'épinette noire subissent l'attaque de cet insecte. La tenthrède à tête jaune (photo 6) a causé des dommages relativement importants dans quelques vergers à graines d'épinettes noires. Le diprion de Swaine (photo 7) peut créer des dommages surtout dans la plaine du Lac-Saint-Jean où nous avons plusieurs vergers à graines de pins gris dont deux de deuxième génération.

Au verger à graines de pins blancs d'Huddersfield situé près de Fort-Coulonge, la rouille vésiculeuse (photo 8) a tué plusieurs arbres. Des traitements culturaux furent exécutés dont la taille des branches basses, le dégagement mécanique manuel, la destruction des arbres atteints et des tailles de formation de la cime. Cela a permis de contrôler la maladie.

En 2006, en 2007 et en 2008, trois vergers à graines de pins gris de deuxième généra-



tion seront établis. Nous devons lutter contre le nodulier du pin gris en détruisant l'insecte et en effectuant des tailles de formation.

## Lutte intégrée comme alternative viable

Il faut noter qu'il n'existe pas de solution magique pour lutter contre les différents ravageurs retrouvés dans les vergers à graines. Malgré l'existence de quelques produits assez puissants pour contrôler les populations d'insectes, il y a peu ou pas d'information sur les doses à appliquer, la méthode d'application, la période d'arrosage ou le nombre de pulvérisations. L'application de produits devant se faire manuellement arbre par arbre à partir du sol ajoute une difficulté.

Malgré que la production de graines dans les vergers ressemble plus à une production agricole, notre ministère favorise davantage les actions qui protègent l'environnement. Les traitements culturaux sont un des premiers moyens utilisés. La Direction générale des pépinières et des stations piscicoles (DGPSP) investit plus de 30 000 \$ chaque année pour lutter contre les dommages faits par les insectes et les maladies ou pour les corriger. Ces traitements culturaux consistent principalement en la taille phytosanitaire, la protection contre les animaux, le piégeage, la taille de formation ou de correction et le dégagement mécanique.

«Les ressources sont retenues pour un arrosage seulement si les besoins en semences le justifient et que les ravageurs sont récurrents.»

Mais il arrive que ces traitements ne soient pas assez efficaces. C'est pourquoi nous sommes dans l'obligation de procéder à un arrosage afin d'éviter la perte d'arbres ou de cônes. Les ressources sont retenues pour un arrosage seulement si les besoins en semences le justifient et que les ravageurs sont récurrents. Cet arrosage est effectué au printemps après la pollinisation. Un secteur-témoin est habituellement conservé afin d'évaluer l'efficacité du traitement. Un suivi des résultats est donc assuré.

La lutte chimique est très peu répandue, puisqu'elle n'a touché qu'une douzaine de vergers d'épinettes blanches lors des bonnes années semencières. L'arrosage a consisté en une application manuelle avec une lance à partir du sol sur les arbres ayant des cônes. Comme c'est une application arbre par arbre, le taux du produit épandu à l'hectare est très inférieur à d'autres cultures.

Pendant ce temps, la DGPSP, en collaboration avec l'Institut national de recherche scientifique, investit depuis plusieurs années dans le développement de méthodes de rechange dont la lutte biologique. Il s'agit entre autres de la confusion reproductive pour le scolyte des cônes du pin blanc et la tordeuse des graines de l'épinette, l'arrosage avec du *Bacillus Thuringiensis* (*B.t.*) pour le contrôle de la pyrale des cônes et l'utilisation d'un champignon pathogène pour le contrôle de la mouche granivore. Mais je laisse mes collaborateurs, messieurs Claude Guertin et Richard Trudel, vous expliquer en détails ces projets de recherche.

Pendant ce temps, la DGPSP réalise des essais techniques sur l'efficacité de produits moins toxiques. Nous mettons au point

l'injection de ces produits directement dans le tronc des arbres. Cette méthode s'avère sécuritaire tant sur le plan de la santé et de la sécurité des travailleurs que pour l'environnement. Les doses seront petites et ne représenteront qu'une fraction négligeable de ce qui est utilisé en agriculture.

La lutte intégrée fait maintenant partie de l'aménagement des vergers à graines au Québec. Nous avons élaboré un plan d'action, mis en place des suivis et, dans la mesure du possible, exécuté des traitements culturaux. Parfois, la lutte chimique reste la seule solution viable. Mais des moyens de lutte biologique et la recherche de méthodes de rechange nous permettront de limiter au maximum l'utilisation de pesticides chimiques. Un suivi des résultats nous permet de faire le bilan et de réajuster le plan d'action. En un mot, la lutte intégrée est devenue un mode de vie à la DGPSP.





# Les ennemis de la culture des arbres de Noël : une lutte «intégrée» à finir



La production d'arbres de Noël se retrouve principalement dans le sud du Québec, plus particulièrement en Estrie et dans la région de Beauce-Appalaches, limitrophe à la région estrienne.

Au Québec, plus de 250 entreprises cultivent les arbres de Noël sur 8 500 hectares. Annuellement, on récolte 1 500 000 arbres dont 1 000 000 sont exportés et le reste se retrouve sur le marché provincial ou interprovincial. Cette activité génère des revenus de 30 à 35 M\$ par année.

Les espèces cultivées comme arbres de Noël sont le sapin baumier (*Abies balsamea*) et le sapin Fraser (*Abies fraseri*).

## Les insectes

Contrairement aux insectes que nous retrouvons dans les plantes agricoles, la plupart des ravageurs des plantations d'arbres de Noël sont propres aux sapins. Au cours de leur évolution, ils ont développé des mécanismes de survie afin de faire face aux différentes conditions environnementales. Comme dans ces plantations ils trouvent un environnement plus propice à leur développement qu'en forêt naturelle, leurs dégâts peuvent devenir importants s'il n'y a pas d'intervention.

Mais si les ravageurs ne causent pas la mortalité des arbres, ils peuvent en affecter l'apparence au point de nuire à la vente ou de retarder leur mise en marché de quelques années. L'esthétique est un facteur déterminant dans la commercialisation des arbres.

«L'esthétique est un facteur déterminant dans la commercialisation des arbres.»

Plusieurs ravageurs se retrouvent dans les plantations. Les trois principaux insectes nuisibles que nous retrouvons régulièrement sont le puceron des pousses du sapin (*Mindarus abietinus*

Koch), la cécidomyie du sapin (*Paradiplosis tumifex* Gagné) et le tétranyque de l'épinette (*Oligonychus ununguis* Jacobi).

On retrouve à l'occasion d'autres insectes dans les plantations, mais ces derniers causent généralement peu de dommages. D'autres enfin sont des insectes de quarantaine causant des problèmes à l'exportation dans certains pays plutôt qu'à l'arbre lui-même.

## Les principaux ravageurs

### Le puceron des pousses du sapin

Cet insecte suceur est le principal ravageur dans les plantations d'arbres de Noël. Ses dégâts sont facilement reconnaissables. Si l'infestation est importante, l'arbre est déclassé ou difficilement vendable pendant quelques années. La dynamique de la population des pucerons est cyclique, atteignant un niveau d'infestation important tous les 5 à 7 ans.

Cet insecte fait l'objet d'une autre conférence du colloque qui aborde son cycle de développement, ses prédateurs et les outils (seuil et période d'intervention, modèle de degrés-jours) qui ont permis de mettre en place une stratégie de lutte intégrée.

Cette stratégie repose sur deux pivots : le Réseau d'avertissements phytosanitaires/arbres de Noël et l'implantation d'un service de dépistage. Ces actions ont permis de réduire considérablement les applications d'insecticide. Certaines années, un seul traitement suffit alors que, d'autres années, aucun traitement n'est effectué si le nombre de ravageurs ou de prédateurs ne le justifie pas. C'est un changement très important, puisqu'avant cette approche, les plantations recevaient entre deux et quatre traitements préventifs sans évaluation du degré d'infestation.

### La cécidomyie du sapin

C'est le deuxième ravageur en importance dans les plantations d'arbres de Noël. Au cours des deux à trois dernières années du cycle de vie des populations de cet insecte, le cycle de développement atteint son



maximum et le degré d'infestation augmente à un point tel qu'on doit appliquer un insecticide afin d'éviter des dommages aux arbres. À la fin de la dernière année d'infestation importante, la population de cécidomyie diminue tellement qu'elle prend sept à huit ans pour être de nouveau en mesure de causer des préjudices aux arbres.

La cécidomyie du sapin est une mouche minuscule de la famille des diptères. Elle a l'apparence d'un petit maringouin à longues pattes. L'adulte émerge du sol vers la 3<sup>e</sup> semaine de mai et pond ses œufs sur les aiguilles. Après l'éclosion, les larves demeurent sur l'aiguille, sécrètent des substances chimiques qui modifient les tissus cellulaires de l'aiguille. En se transformant, les tissus recouvrent complètement la larve en donnant l'apparence d'une galle sur l'aiguille. Cette pseudo galle devient à la fois son refuge et sa réserve nutritive. La larve poursuit son développement jusqu'à l'automne; à ce moment, elle sort de son refuge et hiberne dans les débris organiques qui jonchent le sol. L'émergence des adultes recommence au printemps suivant.

Les aiguilles affectées par la cécidomyie du sapin pâlisent et tombent l'automne venu. Au cours des dernières années d'infestation, la défoliation est importante et affecte l'apparence des arbres au point que certains d'entre eux ne seront pas vendus s'il n'y a pas d'intervention.

Dans les dernières années du cycle, la dynamique prédateurs-ravageurs est la cause principale de la chute substantielle de la population de cécidomyie. Dans cette dynamique de populations, le prédateur qui joue le rôle le plus important est une autre cécidomyie : la *Dasineura balsamicola*.

Au début de la formation de la pseudo galle, la larve de la *Dasineura balsamicola* s'infiltré à l'intérieur de la cavité afin de profiter du refuge et de la nourriture. Jusqu'à mi-parcours de leur cycle de développement, les larves cohabitent, puis la *Dasineura* finit par tuer son hôte par contact avec celui-ci avec ses poils urticaires, et termine seule son cycle de développement.

D'autres ravageurs jouent un rôle secondaire, mais primordial, dans la diminution de la population de cécidomyie; il s'agit de guêpes miniatures du genre *Platygaster* et d'autres, inconnues de la taxonomie, qui provoquent la mortalité des larves de la cécidomyie en les parasitant sous des formes complexes.

### Moyens de lutte

En 2002, un projet a démarré et devait s'échelonner sur trois ans. Il avait comme objectif de mieux définir le cycle de la cécidomyie au Québec, d'approfondir nos connaissances sur ce prédateur et de développer des outils de lutte intégrée. Malheureusement, après deux ans, le projet a dû être interrompu en raison de l'absence de cécidomyie au printemps 2004.

Les données recueillies ont démontré qu'au sommet de l'infestation par la cécidomyie, selon les sites, de 20 à 60 % des galles contenaient la *Dasineura* et que celle-ci, combinée à d'autres prédateurs, a fait chuter la population de cécidomyie au point de la faire pratiquement disparaître.

Malgré la fin du projet après deux ans, nous avons pu approfondir nos connaissances sur le rôle majeur des prédateurs et développer des outils comme une méthode de dépistage et la période idéale pour l'application d'insecticide.

Dans la plupart des entreprises, nous avons pu limiter les applications à un seul traitement, contrairement au début des années 90 au moment où les traitements étaient préventifs et administrés de façon répétitive (deux à trois traitements).

### Le tétranyque de l'épinette

Il s'agit du troisième ravageur en importance dans les plantations d'arbres de Noël. Contrairement aux deux premiers, il s'attaque à plusieurs espèces de conifères et se retrouve sur plusieurs continents. Ce minuscule acarien (adulte : 0,5 mm de longueur) est un bel exemple de l'équilibre entre ravageurs et prédateurs. Il est généralement présent dans les plantations et, dans la plupart des cas, il ne cause pas de dommage préjudiciable aux arbres.

Cet acarien piqueur-suceur utilise ses mandibules pour perforer les cellules de l'aiguille et en sucer le contenu. Le dommage typique donne une apparence marbrée à l'aiguille et affecte sa durée de vie. En cas d'infestation grave, l'aiguille tombe parfois au cours de l'année de l'infestation.

Le tétranyque de l'épinette est très prolifique. Au Québec, nous pensons qu'il se produit entre trois et quatre générations par année. En présence de prédateurs (coccinelle, araignée, acarien), la population demeure sous contrôle.

Pour des raisons indéterminées, il arrive à l'occasion que l'équilibre soit rompu et que l'augmentation rapide de la population de tétranyques demande une intervention.

Nos connaissances sont limitées tant sur son cycle de développement au Québec que sur les moyens d'intervention par la lutte intégrée. Aux États-Unis, la documentation scientifique nous indique que les dommages attribuables au tétranyque sont plus importants dans les états plus chauds. Les moyens de lutte intégrée n'y sont toutefois pas suffisamment décrits pour que nous puissions les utiliser au Québec.

Nos observations nous indiquent qu'à certains endroits au Québec l'équilibre entre ravageurs et prédateurs n'est jamais rompu, tandis qu'à d'autres, l'équilibre est fragilisé et qu'il faut intervenir à l'occasion (application de pesticide). L'une des raisons probables de la présence élevée du tétranyque est la diminution des prédateurs. L'application préventive de pesticide est possiblement un facteur qui abaisse la population de prédateurs, mais d'autres facteurs inconnus jouent probablement sur ces populations.

Comme le problème n'est sporadique qu'à certains endroits, nous privilégions une approche qui favorise le dépistage et le développement de niches écologiques favorables aux prédateurs, permettant ainsi le contrôle des ravageurs.

Afin d'acquiescer des outils de lutte intégrée, une demande pour un projet de recherche a été déposée. Nous pensons que l'acquisition

«Le tétranyque de l'épinette est très prolifique. Au Québec, nous pensons qu'il se produit entre trois et quatre générations par année.»



d'outils, comme une méthode de dépistage et l'application d'un seuil d'intervention, permettra de réduire de façon appréciable les traitements de pesticide.

## Autres ravageurs dans les plantations d'arbres de Noël

Généralement, ces ravageurs causent peu de dommages aux arbres. Cependant, il faut parfois intervenir à titre préventif à la suite de l'observation de dommages dans la plantation.

Voici les principaux :

**le longicorne noir** : se nourrit de l'écorce de la jeune pousse, ce qui engendre la nécrose de la pousse de l'année;

**le perce-pousse du sapin** : présence régulière. Les dégâts n'affectent que quelques pousses. Il est recommandé de ne pas faire d'intervention;

**le pyrale du cône** : phénomène rare. S'attaque aux jeunes tiges des arbres et cause des préjudices. Faire un traitement préventif l'année suivante;

La plupart des maladies sont causées par des champignons, quoique certains dégâts proviennent de facteurs abiotiques.

**le puceron des racines** : présence occasionnelle. Semble affecter la croissance des jeunes arbres;

**les insectes de quarantaine** : insectes causant peu de dommages, mais interdits dans certains pays. Il n'y a pas

d'intervention à faire. Ne pas couper les arbres ou ne pas vendre les arbres dans les pays concernés.

Les principaux insectes dans cette catégorie sont le grand hylésine des pins, la spongieuse et la cochenille-tordue du pin.

## Les maladies

La plupart des maladies sont causées par des champignons, quoique certains dégâts proviennent de facteurs abiotiques. Dans la plupart des cas, l'infestation par des champignons est facilitée par un mauvais site d'implantation ou attribuable à une mauvaise régie.

Nous pouvons catégoriser les maladies selon leur localisation sur les racines, les branches, les troncs et les aiguilles.

## Les maladies des racines

Les maladies des racines sont causées par des champignons qui infectent les racines et finissent par provoquer leur pourriture. Quoique plus fréquentes chez les jeunes arbres (1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> année d'implantation), elles se retrouvent dans toutes les catégories d'âge.

C'est dans les sols humides, saturés d'eau pendant quelques semaines que les champignons en profitent pour infester les racines des arbres. Au cours des printemps particulièrement pluvieux des années 2005 et 2006, ils ont fait augmenter le taux de mortalité des arbres. À certains endroits, le taux de mortalité a atteint de 20 à 50 %. Dans l'ensemble, ce sont plusieurs dizaines de milliers de plants qui ont été affectés.

Les champignons à l'origine de la pourriture racinaire sont des décomposeurs qui se retrouvent naturellement dans le sol. Ils s'attaquent aux arbres moribonds ou déjà morts.

Parmi ceux-ci, nous retrouvons le *Cylindrocarpon sp.*, le *Phomopsis sp.*, le *Fusarium sp.* et le *Pythium*. En ce qui a trait aux deux derniers, la mortalité des deux dernières années nous porte à croire qu'ils auraient peut-être un degré de virulence plus élevé que ce que nous pensions.

Deux champignons ont un taux de virulence élevé puisqu'ils peuvent se propager facilement d'un arbre à un autre. Quoiqu'observés à plusieurs reprises, ils ont infecté un nombre peu élevé de sites. Il s'agit du *Phytophthora sp.* et du pourridié-agaric (armillaire). Le premier se retrouve dans les sols humides puisqu'il a besoin de l'eau pour se propager. Le pourridié-agaric commence par infecter une souche avant de se propager aux arbres sains. On le retrouve dans les peuplements naturels ou dans les plantations souvent là où il y a présence de vieilles souches.

## Moyens de lutte

La prévention demeure l'outil à privilégier puisqu'aucun fongicide ne peut apporter de correction suffisante. Il ne faut pas planter les arbres dans les sols dont la texture est trop fine (loam argileux, argile), car ils retiennent trop longtemps l'humidité du sol.

Au cours des prochaines années, des essais sur ces types de sol seront effectués pour favoriser un meilleur drainage de surface.

## Les maladies des branches et du tronc

Ces maladies appelées chancre sont le fait de champignons qui infectent une partie de l'arbre à partir d'une blessure. Lors de l'infection, l'arbre sécrète de la résine afin de détruire le champignon. Par la suite, il génère des cellules spécialisées qui empêcheront la propagation de l'agent pathogène, donnant l'apparence d'un bourrelet autour de la partie infectée. Ces symptômes sont un indice de la présence d'un chancre. À l'issue de la bataille, si le champignon triomphe, l'arbre ou une partie de l'arbre se desséchera.

Il est naturel de retrouver ces champignons dans les plantations. Si l'infestation touche plus de 2 % des arbres, une combinaison de facteurs liés à la régie et aux conditions climatiques a certainement influencé l'intensité de l'infestation.

Dans de telles circonstances, les trois principaux facteurs sont :

- une blessure à l'arbre causée par la régie culturelle (taille, tracteur, etc.) ou par des facteurs climatiques (grêle, verglas, etc.);
- la présence considérable de spores de décomposition du bois dans l'air environnant la plantation (l'inoculum). Ces spores proviennent d'un ancien bûcher, de déchets de la plantation (arbres morts ou couronne), etc.;
- les conditions climatiques sont déterminantes : l'humidité doit être élevée, les vents dominants doivent diriger les spores du site infecté vers la plantation.

Plusieurs espèces de champignons peuvent causer des chancres. Ce sont ces champignons que l'on retrouve naturellement sur le bois en décomposition. S'ils provoquent des chancres, c'est «l'occasion qui fait le larron». Les principaux sont le *Phomopsis sp.*, le *Scolecocetria sp.*, le *Cytospora sp.* et le *Thyronectria*.





### Moyens de lutte

Lorsque le champignon se retrouve à l'intérieur de l'arbre, il est difficile de s'en débarrasser avec un fongicide de correction. Aucune application n'est recommandée. La prévention demeure la meilleure solution. Il faut éliminer les sites propices au développement des spores (bûchers, déchets d'arbre, etc.) dans l'entourage des plantations. Il faut utiliser les outils adéquats pour la taille et éviter les blessures mécaniques inutiles. Il est préférable enfin de ne pas faire de travaux qui favorisent les blessures (taille) durant les journées pluvieuses.

«Mes arbres sont rouges.»

un dommage. Ce dommage, très apparent, n'est que temporaire et n'a pas d'impact sur l'apparence de l'arbre.

La plupart des plantes alternes sont de la famille des fougères. Après la sporulation de la fin de juin, les spores se retrouvent sur le feuillage de la plante alterne. Au printemps suivant, à partir du feuillage mort, les spores sont transportées par le vent sur les jeunes aiguilles du sapin et le cycle recommence.

En éliminant les plantes hôtes dans les plantations ou en bordure de celles-ci, on diminue l'incidence de propagation.

## Les maladies des aiguilles

Les maladies qui infectent les aiguilles sont des rouges et des rouilles.

### Les rouges

Les rouges (*needlecast*) sont les champignons qui infectent l'intérieur des aiguilles. Après un cycle variant de 1 à 3 ans selon les espèces en cause, l'aiguille finit par sécher et tomber. Chaque aiguille infectée contient des milliers de spores qui sont rejetées dans l'air ambiant et l'infestation s'amplifie avec le temps.

Dans des conditions de bonne régie, à l'exception de quelques individus plus sensibles aux rouges, les arbres se défendent assez bien contre cette maladie. Il faut se débarrasser des arbres fragiles afin de diminuer la présence des spores près des arbres.

Il arrive que l'infestation devient importante et, à de rares occasions, épidémique. Les raisons sont attribuables à une mauvaise ventilation dans la plantation, ce qui favorise un taux d'humidité élevé. En n'éliminant pas les arbres affectés au début de l'infestation, on contribue à l'épidémie.

### Moyens de lutte

- Favoriser une bonne ventilation, ce qui permet de diminuer le taux d'humidité.
- Éliminer la végétation herbacée sous les arbres.
- Élaguer les branches dans le bas des arbres, jusqu'à une hauteur de 30 cm.
- Ne pas planter les arbres trop près les uns des autres et garder une distance raisonnable entre les rangées (1,65 m).

Au Canada, aucun fongicide n'est homologué comme moyen préventif dans les plantations d'arbres de Noël. Aux États-Unis, des applications de fongicide, au bon moment, semblent réduire l'incidence d'infestation dans les sites problématiques.

### Les rouilles

Contrairement aux rouges, la dizaine d'espèces de rouilles qui affectent les arbres ont besoin d'une plante hôte alterne pour compléter leur cycle de développement.

Bien visible sur les aiguilles de l'année au moment de la sporulation à la fin de juin, la rouille peut paraître inquiétante. Mais après la chute des aiguilles infectées en juillet, ce ne sont que quelques aiguilles, sur la centaine que la pousse contient, qui subissent

### Le balai de sorcière

Ce champignon est aussi une rouille, mais, contrairement aux autres rouilles, elle affecte la branche plutôt que les aiguilles. Elle peut survivre quelques années sur l'arbre. Si elle n'est pas contrôlée annuellement, après quelques années, elle cause assez de dommages pour avoir un impact financier sur l'entreprise. En effet, il faudra alors prévoir du temps pour éliminer les branches infectées et, de plus, l'arbre sera déclassé lors de la vente.

Son contrôle est facile. Il faut couper l'endroit d'où partent les spores. En prenant l'habitude de couper les nouvelles branches infectées chaque printemps et de se débarrasser des plantes alternes de la famille des caryophyllacées, l'ampleur des travaux diminue après quelques années d'infestation et la plantation s'en porte mieux.

## Autres facteurs

### «Mes arbres sont rouges»

Il arrive à l'occasion que je reçoive ce commentaire. Plusieurs facteurs peuvent provoquer le rougeoiement d'une partie d'un arbre. Cela peut être attribuable à un insecte, à une maladie ou à un facteur abiotique.

Les facteurs abiotiques sont des brûlures de racines ou d'aiguilles faites par un herbicide, un engrais, une blessure mécanique quelconque, un coup de chaleur ou un mauvais entreposage des plants.

Il est recommandé de visiter régulièrement la plantation afin de détecter rapidement les symptômes anormaux. Il arrive que la cause principale soit abiotique, mais que les arbres affectés subissent une infestation secondaire par un champignon, ce qui complique parfois le diagnostic.

## De la recherche aux utilisateurs

Je constate à l'occasion que les connaissances acquises en recherche appliquée ne sont pas utilisées par les producteurs visés. Cette rupture entre les résultats de recherche et leur application n'encourage pas le développement de projets. Comme elle est très démotivante, elle nuit au secteur, tant en aval qu'en amont.

Dans mon travail, j'essaie d'éviter cette situation en favorisant le transfert et l'utilisation des connaissances. Au cours des 15 dernières années, plusieurs activités ont été mises en place dans le secteur de la culture des arbres de Noël pour favoriser ce transfert de connaissances. En voici quelques-unes :



- *Le Réseau d'avertissements phytosanitaires / arbres de Noël*

Il s'agit du recueil d'information et de la publication d'avertissements et de bulletins reliés à la phytoprotection à partir de 11 sites d'observation. Les avertissements indiquent la situation phytosanitaire dans les plantations. Ils sont publiés hebdomadairement pendant une dizaine de semaines à partir du printemps. Les bulletins informent les lecteurs sur des points techniques, la régie culturale, les résultats de recherche, etc. En 2006, le réseau a rejoint 450 abonnés. Une partie de l'information transmise provient des connaissances issues de la recherche.

- *Le Club agroenvironnemental de l'Estrie*

Une des tâches principales des professionnels du Club est de faire le dépistage des insectes et des maladies dans les plantations, l'évaluation de la situation et des recommandations pour une approche de lutte intégrée. Les outils de dépistage proviennent des travaux de recherche sur le puceron des pousses du sapin et sur la cécidomyie du sapin.

- *Site Internet Agri-Réseau / Arbres de Noël*

On retrouve sur ce site une section sur la production des arbres de Noël. Une autre section est consacrée à la phytoprotection.

- *Revue de l'Association des producteurs d'arbres de Noël du Québec (APANQ)*

La revue *La Branche* est publiée trois fois l'an. Elle diffuse les résultats de recherche et relate les essais effectués dans cette spécialité.

- *Fonds de recherche de l'Association des producteurs d'arbres de Noël*

Créé il y a une dizaine d'années, à la suite du projet de recherche sur le puceron des pousses du sapin, ce fonds, modeste en soi, permet l'engagement des entreprises productrices d'arbres de Noël dans le monde de la recherche. Leur influence et leur collaboration orientent la recherche vers des sujets qui préoccupent les producteurs et facilite un maillage entre les deux «mondes».

## Lutte intégrée à finir!

Au cours des prochaines années, deux points devront être explorés en rapport avec la lutte intégrée : les outils contre le tétranyque de l'épinette (seuil et période d'intervention, méthodes de dépistage) et le développement de biopesticides. Dans le premier cas, ces outils devront être complémentaires à ceux déjà utilisés contre les deux autres principaux ravageurs.

Le remplacement des pesticides de synthèse par des biopesticides est un souhait exprimé par les producteurs d'arbres de Noël. Actuellement, la réalité ne correspond pas à ce souhait, mais tous nos efforts doivent s'en rapprocher.

La lutte intégrée n'est pas une lutte à finir, mais elle continuera d'évoluer en fonction des ravageurs qui seront toujours présents. Ce qui est à finir, c'est l'acquisition d'outils de base afin que nos interventions

soient plus performantes, plus biologiques. Pour atteindre ces objectifs, le maillage entre les producteurs d'arbres de Noël et la recherche devra se poursuivre.

### Références

*Deland, J.P., Berthiaume, R., Hébert, C., Cloutier, c. 1998. 1998. Programme alternatif de protection du sapin de Noël contre le puceron des pousses du sapin dans le contexte d'une saine gestion des ressources environnementales, Université Laval et Centre de foresterie des Laurentides.*

*Coutier, C., Jean, C., Brodeur, J. 2003. Outils de lutte intégrée contre la cécidomyie du sapin dans les plantations d'arbres de Noël, Projet 412-16 001103, Université Laval et CDAQ.*

*Site du Réseau d'avertissements phytosanitaires*

<http://www.agrireseau.qc.ca/rap/default.aspx>

*Site d'Agri-Réseau sur la production des arbres de Noël*

<http://www.agrireseau.qc.ca/Horticulture-arbresdenoel>

«Le remplacement des pesticides de synthèse par des biopesticides est un souhait exprimé par les producteurs d'arbres de Noël.»





# Insectes et maladies dans les plantations publiques et privées du Québec : bilan et prospective

Le recours au reboisement par plantation au Québec remonte aussi loin que dans les années 20 et 30. Toutefois, il a fallu attendre les années 60 pour que cette pratique prenne une certaine importance. C'est aussi au cours de cette décennie qu'un premier insecte s'est manifesté dans des plantations de pins rouges, le diprion de LeConte (Anonyme, 1970). Au cours des décennies suivantes, les méthodes de production de plants et de plantations se sont perfectionnées de sorte que la survie et la croissance se sont progressivement améliorées (Dorais, 1991; Trottier, 1998). L'avènement des plants en récipient est venu révolutionner la pratique du reboisement au cours des années 80. Rappelons-nous que l'objectif de reboisement de 300 millions de plants visé par le gouvernement au milieu



des années 80 n'aurait pu être envisagé avec des plants à racines nues. De plus, l'abandon des phytocides chimiques pour l'entretien des plantations a conduit au développement de plants de forte dimension. Le ministère responsable des forêts mettait sur pied, à cette même époque, un programme de certification des plants produits en pépinière de même qu'un réseau de surveillance pour évaluer l'état de santé des plantations. Les travaux pour établir ce réseau ont permis de dresser une première liste de l'importance relative des insectes et des maladies rencontrés dans les plantations à ce moment-là (Boulet, 1989).

Au cours de la présentation, après avoir dressé un bilan de l'effort de reboisement par plantation depuis les années 1960, on passera en revue la liste des principaux problèmes anticipés. Par la suite, on fera un bref état de situation pour chacun d'eux. Un parallèle sera établi entre les problèmes associés à certaines essences et à leur utilisation pour les reboisements ultérieurs. Quelques éléments de prospective seront exposés pour aborder la nature des enjeux futurs reliés au reboisement.

## Bilan des plantations

Près de quatre milliards de plants ont été mis en terre au Québec de 1960 à 2004, dont les deux tiers sur terres publics. Le nombre maximal

de plants mis en terre en une année a été atteint en 1989 (figure 1). Après cette date, le recours au reboisement par plantation a connu une baisse importante en raison notamment de l'instauration de la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS). Les statistiques disponibles par essence couvrent la période 1971-2004. Au cours de cette période, les principales essences reboisées en forêt publique ont été l'épinette noire (55 %), le pin gris (24 %), l'épinette blanche (15 %) et l'épinette de Norvège (3 %). En forêt privée, ce sont l'épinette blanche (38 %), l'épinette noire (22 %), le pin gris (13 %) et l'épinette de Norvège (11 %) qui ont été les plus utilisés.

Ces quatre essences totalisent 92 % des plants utilisés pour le reboisement au Québec de 1971 à 2004. Quatre autres essences



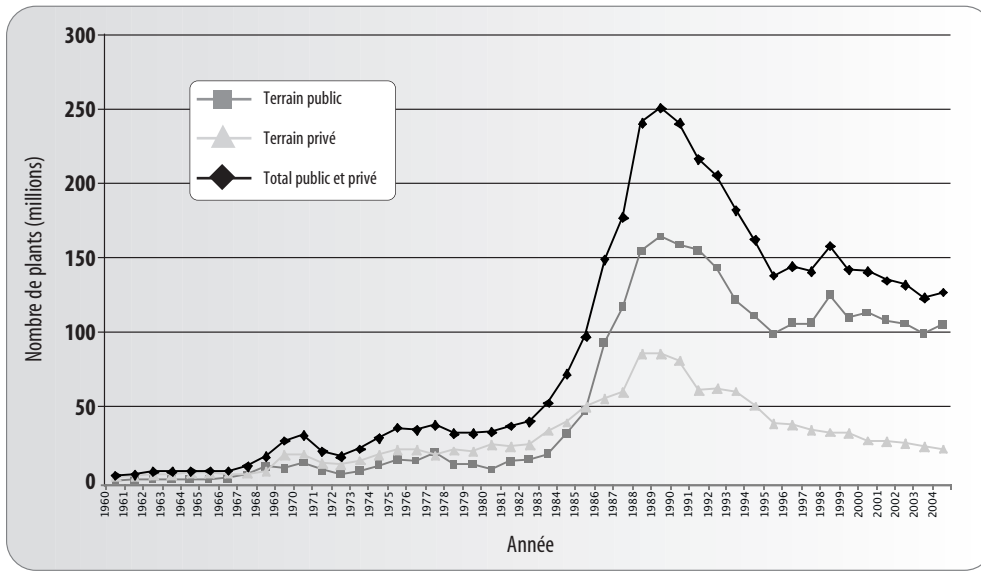


Figure 1 : Nombre de plants mis en terre au Québec de 1960 à 2004 en terrain public et en terrain privé

comptent pour 6 % des plants qui servent au reboisement. Ce sont, par ordre décroissant, le pin rouge, l'épinette rouge, le pin blanc et le mélèze laricin.

En forêt publique, l'épinette blanche, le pin gris et l'épinette de Norvège étaient les essences les plus utilisées dans les années 70. Depuis le début des années 80, c'est l'épinette noire.

En forêt privée, chaque année de 1971 à 2004, l'épinette blanche comptait pour 25 % de l'ensemble des plants qui servaient au reboisement. L'épinette noire dépasse les 25 % depuis 1989. L'épinette de Norvège a dépassé les 20 % jusqu'au début des années 80. Le pin

rouge a connu ses heures de gloire au début des années 70. Son taux d'utilisation atteignait 37 % en 1971. Quant au pin blanc, son importance a culminé à la fin des années 70, début des années 80, mais à des taux inférieurs à 10 %.

La superficie des plantations figurant sur les cartes écoforestières du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) est présentée à la figure 2 par sous-domaine bioclimatique et selon cinq périodes : avant 1970 (incluant celles pour lesquelles l'année d'établissement n'est pas connue), de 1970 à 1979, de 1980 à 1989, de 1990 à 1999 et 2000 et plus (données partielles pour 2000 et 2001 seulement). D'une part, on peut constater la concentration des plantations sur la rive sud du Saint-Laurent avant les années 80.

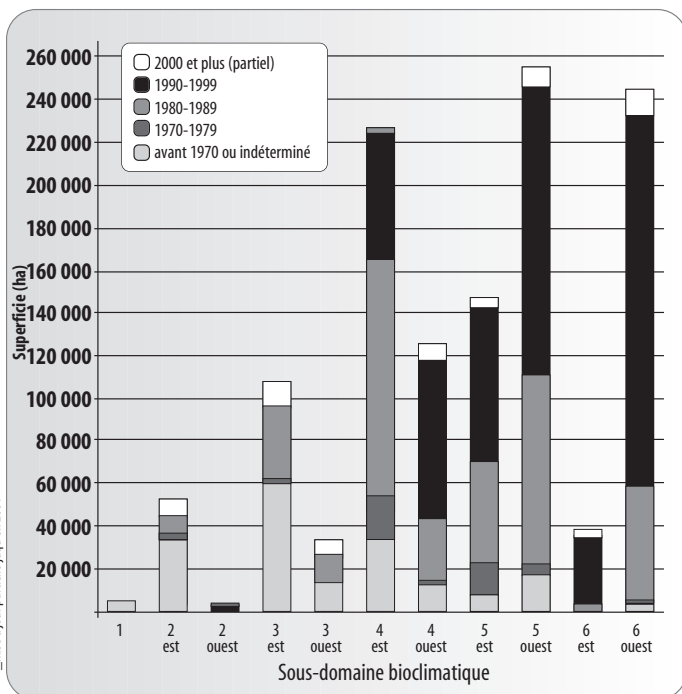


Figure 2 : Superficie par sous-domaine bioclimatique des plantations publiques et privées répertoriées sur les cartes écoforestières du MRNF selon cinq périodes de référence

D'autre part, on est à même de constater la généralisation du recours au reboisement par plantation dans les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleaux jaunes (4 ouest et 4 est), de la sapinière à bouleaux blancs (5 ouest et 5 est) et dans le sous-domaine de la pessière à mousse de l'ouest.

À la figure 3, on peut visualiser la superficie par sous-domaine bioclimatique des plantations répertoriées sur les cartes écoforestières du MRNF et comprenant les quatre essences les plus utilisées, soit l'épinette noire, le pin gris, l'épinette blanche et l'épinette de Norvège.

Sur la rive sud du Saint-Laurent, les plantations d'épinettes noires sont particulièrement abondantes dans le sous-domaine de la sapinière à bouleaux jaunes de l'est (4 est). Ailleurs, elles sont les plus abondantes dans les sous-domaines de la pessière à mousse de l'ouest (6 ouest) et de la sapinière à bouleaux blancs de l'ouest (5 ouest). Les plantations de pins gris sont particulièrement abondantes dans les sous-domaines de la sapinière à bouleaux blancs de l'ouest (5 ouest) et de la pessière à mousse de l'ouest (6 ouest).

Les plantations d'épinettes blanches et d'épinettes de Norvège sont, quant à elles, plus abondantes sur la rive sud du Saint-Laurent dans les sous-domaines de la sapinière de l'est (4 est et 5 est).

### Réseau de surveillance et importance relative des insectes et des maladies

Le réseau de surveillance des insectes et des maladies mis en place au cours des années 80 a permis de dresser une première liste des insectes et des maladies selon leur importance relative (Boulet, 1989). Les critères utilisés à cette fin ont été : le type de dommage, le risque d'épidémie, la vocation forestière et le type d'impact. Cinq organismes avaient alors reçu une cote AA, se méritant ainsi la plus grande attention. Il s'agissait de trois insectes soit la tordeuse de l'épinette (à ne pas confondre avec la tordeuse des bourgeons de l'épinette), le charançon du pin blanc et le diprion de LeConte, et de deux maladies soit le chancre scléroderrien et la rouille vésiculeuse du pin blanc.



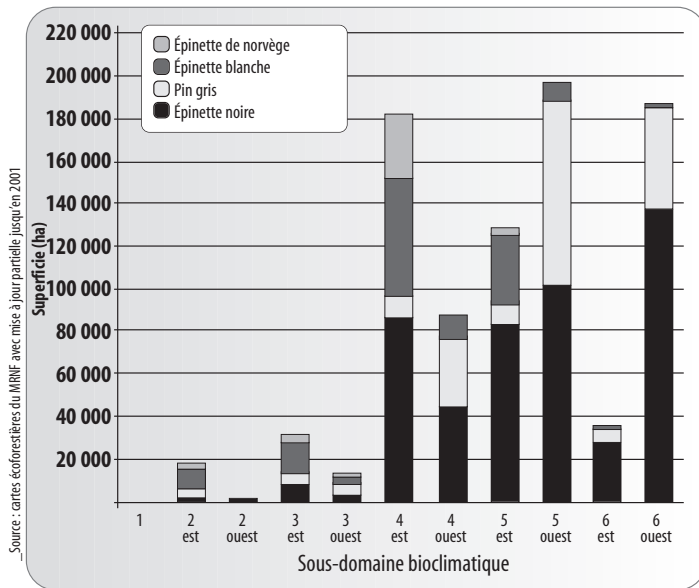


Figure 3 : Superficie par sous-domaine bioclimatique des plantations publiques et privées d'épinettes noires, de pins gris, d'épinettes blanches et d'épinettes de Norvège

Une révision de cette liste a été faite un peu plus tard lors de l'élaboration de la Stratégie de protection des forêts (Anonyme, 1994). On y a alors ajouté un insecte, la tenthrède à tête jaune de l'épinette et deux maladies, le pourridié-agaric et la maladie du rond.

## Modèle d'analyse des insectes et maladies d'importance

Un modèle général inspiré de l'agriculture a été utilisé pour guider l'acquisition de l'information nécessaire pour une gestion éclairée des problématiques engendrées par les insectes et les maladies d'importance. Le modèle suggère d'abord de faire la collecte d'information sur l'organisme, de même qu'un examen des caractéristiques des milieux où on le retrouve. Par la suite, le modèle propose de déterminer les relations entre l'organisme, son hôte et le milieu afin de comprendre les conditions qui lui sont favorables ou défavorables et, s'il y a lieu, d'évaluer son impact. Cette information servira à établir s'il est pertinent de développer une stratégie d'intervention selon le seuil de dommages que nous sommes prêts à tolérer. Les connaissances acquises sur les relations organisme-hôte-milieu seront alors très utiles pour identifier les situations les plus à risque et ainsi faire les bons choix lors de l'installation de futures plantations. De plus, ces connaissances sont essentielles pour apporter, au besoin, des mesures correctives dans les plantations existantes.

Cette approche s'inscrit dans une stratégie de lutte intégrée. La lutte biologique peut constituer une des tactiques à privilégier à titre préventif (avant que le problème ne survienne) ou curatif (une fois le problème détecté).

## Brève synthèse des connaissances sur les insectes et les maladies d'importance

### La tordeuse de l'épinette

Cet insecte indigène a comme hôte l'épinette blanche. Les dommages qu'il cause entraînent une perte de dominance apicale temporaire de

son hôte (épinette de champ). Ce sont les plantations établies sur des friches qui sont les plus affectées (Boulet, 1990). Les populations se résorbent lorsque le couvert se referme et que la majorité des arbres recouvrent alors leur dominance apicale. Les travaux de Gagnon et al. (1990) ont conduit à retirer cet insecte de la liste des organismes d'importance, compte tenu du faible impact qu'il est susceptible d'entraîner sur le rendement des plantations affectées et étant donné qu'il y a de moins en moins de nouvelles plantations établies sur des friches.

### Le charançon du pin blanc

Les dommages causés par cet insecte entraînent la perte de dominance apicale pour des périodes plus ou moins longues. En forêt naturelle, cet insecte est associé au pin blanc. En plantation, l'épinette de Norvège s'est révélée son hôte de prédilection, mais les plantations de pins blancs et, dans une moindre mesure, celles d'épinettes blanches sont aussi affectées. Les connaissances acquises, particulièrement depuis le milieu des années 80 dans le cas de l'épinette de Norvège, ont permis d'établir une relation entre le drainage des stations et la gravité des attaques (Archambault et al., 1993), comme cela avait déjà été démontré pour le pin blanc en forêt naturelle. Il a été aussi démontré qu'il est possible d'atténuer les dommages par un suivi rigoureux des plantations. Les traitements mécaniques, lorsque requis, sont admissibles à l'aide financière pour la forêt privée par l'intermédiaire des agences de mise en valeur des forêts privées. Par ailleurs, il a aussi été démontré que, sur des stations convenables et malgré des attaques répétées du charançon, la valeur des produits tirés des plantations d'épinettes de Norvège surpasse celle des plantations d'épinettes blanches (Daoust et Mottet, 2006). Depuis le début des années 90, la baisse de popularité de l'épinette de Norvège, particulièrement chez les propriétaires privés, n'est certes pas étrangère aux dommages causés par cet insecte. Dans le cas du pin blanc, une approche intégrée et fondée sur les connaissances est aussi à privilégier. La prise en compte des zones de susceptibilité définies par Boulet (1995) en constitue une des assises.

«Les connaissances acquises, particulièrement depuis le milieu des années 80 dans le cas de l'épinette de Norvège, ont permis d'établir une relation entre le drainage des stations et la gravité des attaques.»

### Le diprion de LeConte

Ce défoliateur du pin rouge a fait l'objet de beaucoup d'attention dans le passé quand le reboisement avec cette essence était plus important, particulièrement chez les propriétaires privés. Un moyen de lutte biologique a été développé et a été utilisé encore récemment pour lutter contre cet insecte. Il s'agit d'un très efficace virus à polyèdre nucléaire qui a été obtenu à partir de larves malades. Les plantations dans lesquelles les populations de diprion se développent à l'état épidémique sont généralement établies sur d'anciennes terres agricoles au sol mince, à texture grossière et très exposées au soleil. La faible importance du reboisement en pins rouges ne peut cependant pas être attribuée à ce problème qui peut facilement être résolu par un bon choix de station.



### La tenthrède à tête jaune de l'épinette

Cet insecte défoliateur de l'épinette noire en forêt naturelle est indigène et présent un peu partout au Québec à l'état endémique. La montée en flèche des plantations d'épinettes noires à partir des années 80 a favorisé, à la fin de cette décennie, le développement de foyers d'infestation dans les domaines de la sapinière à bouleaux jaunes et de la sapinière à bouleaux blancs, ce qui a fait ajouter cet insecte à la liste des organismes auxquels on devait accorder une attention particulière. Chabot et Aubin (1997) ont observé que la plupart des arbres gravement défoliés survivent et récupèrent après le déclin naturel des populations. La récupération est telle qu'on a peine à voir qu'ils ont été gravement défoliés auparavant. Les quelques cas de mortalité importante qui ont été relevés ont été associés à des stations à sol mince et très exposées au soleil, de même qu'à des pratiques de préparation de terrain entraînant une réduction, voire parfois une élimination, de la couche de matière organique. Dans certains cas, l'entretien des plantations à l'aide d'herbicide a pu exacerber la

Cette maladie pourrait être en partie la cause de la baisse de popularité du pin rouge pour le reboisement en forêt privée depuis le début des années 90.»

situation en exposant les jeunes arbres à la lumière. Toutefois, les conditions qui prévalent dorénavant pendant la période de plantation des épinettes noires sont moins propices à la tenthrède. Cependant, comme les insecticides chimiques ne peuvent plus être utilisés au Québec, il

serait intéressant de pouvoir avoir recours à un moyen de lutte biologique au cas où les conditions viendraient à changer de façon substantielle (changement climatique conduisant à des stress hydriques, acidification des sols, etc.), compte tenu de l'ampleur des superficies reboisées avec l'épinette noire.

### Le chancre scléroderrien

Cette maladie a été largement étudiée au Québec, notamment par des chercheurs du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada. Son hôte de prédilection est le pin rouge, mais d'autres espèces de pins y sont vulnérables, en particulier le pin gris lorsqu'il se trouve en dehors de son aire de distribution naturelle. Parmi les mesures préventives de la stratégie de lutte développée pour contrer les effets de cette maladie, il y a le respect de l'aire de distribution des espèces de pins vulnérables. Il faut aussi éviter les sites où les accumulations de neige sont abondantes (dépressions, lisières, etc.). Il faut également s'assurer d'utiliser des plants certifiés. Si la maladie apparaît malgré ces mesures, tout n'est pas perdu puisqu'un programme d'élagage et d'hygiène peut corriger la situation (Laflamme, 1991). Ces travaux sont admissibles à une aide financière tant en forêt publique qu'en forêt privée.

Cette maladie pourrait être en partie la cause de la baisse de popularité du pin rouge pour le reboisement en forêt privée depuis le début des années 90.

### La rouille vésiculeuse du pin blanc

Un champignon originaire d'Asie est à l'origine de cette maladie qui affecte plusieurs espèces de pins à cinq aiguilles, dont les pins blancs

en Amérique du Nord, tant en forêt naturelle qu'en plantation. La faible performance des plantations de pins blancs au Québec, soit leur faible taux de survie et leur faible croissance en hauteur (Dorais, 1991 et Trottier, 1998) et la faible utilisation de cette essence peuvent être attribuées en grande partie à cette maladie, étant donné sa virulence. Par ailleurs, l'absence de moyens de lutte biologique éprouvés nous oblige à recourir à une stratégie fondée sur des éléments de connaissance concernant la maladie et ses relations avec son hôte et le milieu. Le premier élément de la stratégie consiste à faire un choix judicieux des stations à remettre en production. Il s'agit de stations où les *Ribes sp.* sont absents ou peu abondants et situées sur des plateaux secs et bien aérés ou situées sur le haut des pentes. On évitera les dépressions propices aux brumes automnales (Anonyme, 1996). La carte des zones de vulnérabilité élaborée par Lavallée (1986) demeure un outil de référence utile, qui mériterait toutefois d'être amélioré pour préciser les sites où il est le plus pertinent d'opter pour le pin blanc, que ce soit pour la plantation ou pour la régénération naturelle.

L'élagage systématique de la moitié inférieure du houppier des arbres vers l'âge de 8 ans et des inspections régulières par la suite font partie intégrante de la stratégie. La sélection d'arbres résistants et la lutte biologique sont d'autres moyens explorés pour prévenir ou limiter les dégâts de cette maladie qui est dorénavant considérée résidente en Amérique du Nord.

### Le pourridié-agaric

Cette maladie des racines des plantes est causée par des champignons du genre *Armillaria spp.* (Lachance, 1996). L'infection peut se produire chez les arbres de tout âge. Cependant, la mortalité rapide causée par ces champignons est surtout présente chez les arbres de 15 ans ou moins. Tous les facteurs de stress rendent l'arbre plus vulnérable à l'infection par les armillaires. Dans les plantations, on doit s'assurer du choix judicieux de l'essence plantée en fonction du site disponible. En général, les espèces indigènes sont plus résistantes que les espèces exotiques. L'utilisation de plants en mauvaise condition ou une mauvaise technique de reboisement sont aussi des facteurs favorables à la maladie. Les blessures causées aux jeunes arbres lors des travaux d'entretien favorisent cette maladie.

La prévalence des caries de racines n'est pas préoccupante outre mesure pour le moment puisque la majorité des plantations sont jeunes et que les taux de mortalité sont généralement inférieurs à 5 %. Les plantations de pins gris dans la zone de la pessière noire à mousse sont toutefois les plus susceptibles d'être infectées (Anonyme, 2006).

On sait toutefois que cette maladie pourrait prendre de l'importance avec le vieillissement des plantations. Les arbres plus âgés peuvent survivre longtemps aux infections causées par cet agent pathogène, mais leur taux de croissance sera ralenti. Des cas de synergie entre cette maladie et la défoliation causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette ont été observés dans le passé de même que récemment dans de nouveaux foyers épidémiques. Les éclaircies pratiquées au bon moment visant à maintenir la vigueur des arbres sont la meilleure avenue pour en prévenir les effets.

### La maladie du rond

Découverte au Québec en 1989 dans des plantations de pins rouges, cette maladie n'a pas pris les proportions attendues : les foyers découverts ne se sont pas agrandis malgré l'absence d'application rigoureuse



de méthodes préventives. Parmi les méthodes qui ont été largement recommandées, notamment aux agences de mise en valeur des forêts privées, la plus simple est la pratique des éclaircies pendant l'hiver, au moment où les spores du champignon responsable de la maladie sont absentes. Le traitement des souches fraîchement coupées avec une solution d'urée est une autre mesure à caractère préventif qui empêche la propagation de l'infection (Laflamme, 1993). Un champignon antagoniste à celui responsable de la maladie pourrait bientôt devenir une solution de remplacement à l'urée (Laflamme, comm. pers., 2006).

## Prospective

On a pu voir que, jusqu'à aujourd'hui, le recours à la lutte biologique a été, somme toute, assez limité pour résoudre des problématiques d'insectes et de maladies en plantation. Ce sont surtout des stratégies de lutte intégrée à caractère préventif qui ont le plus souvent été préconisées pour résoudre les problèmes rencontrés. Dans quelques cas, la stratégie d'acquisition de connaissances a même permis de

« En 2005, 45 % des plantations de pins gris visitées étaient infestées. »

diminuer la cote d'importance relative de certains organismes.

Parmi les organismes à surveiller au cours des prochaines années dans

les jeunes plantations, il y en a un qui se rencontre de plus en plus. Il s'agit du nodulier du pin gris. En 2005, 45 % des plantations de pins gris visitées étaient infestées. Dans la zone de la pessière, ce pourcentage était de 62 %. Dans les plantations où les dommages étaient quantifiables, le taux moyen d'arbres infestés a été évalué à 9 % (Anonyme, 2006). Même s'il ne s'agit pas d'un insecte capable de tuer son hôte, l'intérêt à le documenter tient à l'importance des superficies de pins gris reboisées et à l'impact possible des dommages sur la qualité des tiges et leur croissance en hauteur.

Les caries de racines devraient retenir aussi notre attention dans un avenir rapproché tant chez les jeunes plantations, particulièrement dans la zone de la pessière, que chez les plantations plus âgées situées plus au sud, plus spécifiquement dans un contexte d'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Dans les plantations plus âgées, il ne faudrait pas non plus sous-estimer l'importance possible d'insectes subcorticaux tels que les dendroctones, en particulier chez le mélèze et l'épinette blanche. Ces insectes sont associés à des arbres en état de stress engendré notamment par des conditions climatiques, certaines caractéristiques des stations ou causé par une trop grande densité des peuplements.

Des dégâts d'origine abiotique et surtout liés à des phénomènes climatiques (verglas, neige, gel, etc.) seront probablement la cause de pertes plus importantes dans le futur et devront être mieux documentés.

Les interactions entre des espèces d'arbres exotiques et des organismes indigènes souvent sans histoire sont de plus en plus fréquentes. Par exemple, en 2005, 15 espèces d'insectes et 19 espèces de maladies ont été répertoriées dans des plantations de peupliers hybrides. Il faut ajouter les dégâts causés par des agents abiotiques (blessure mécanique, bris de glace, bris de verglas, gelure printanière, insolation). Les mélèzes importés sont aussi plus sensibles à certains organismes indigènes, comme le dendroctone du mélèze.

Il existe aussi un danger potentiel d'interactions entre des espèces d'arbres indigènes ou exotiques et des organismes exotiques. Les cas rencontrés jusqu'à maintenant ont causé plus de peur que de mal (ex. : le grand hylésine des pins). Toutefois, cette situation pourrait changer avec l'avènement de conditions défavorables à une bonne croissance des plantations. De plus, il ne faudrait pas sous-estimer l'impact des introductions récentes d'organismes (ex. : la guêpe européenne perce-bois, *Sirex noctilio*) ou de futures introductions, lesquelles sont de plus en plus susceptibles de survenir dans le contexte de l'augmentation des échanges commerciaux entre les continents.

Enfin, le rythme et l'ampleur des changements climatiques pourraient apporter leur lot de surprises particulièrement lorsque ces changements feront en sorte d'éloigner les plantations de leurs conditions optimales de croissance.

## Remerciements

Mes remerciements s'adressent aux personnes suivantes : Gilles Gagnon, Louis Morneau et Bruno Boulet pour l'information transmise et leurs commentaires judicieux sur les premières versions de la conférence de même qu'à Francine Bart et Diane Côté pour la production des compilations des données relatives au reboisement.

## Références

**Anonyme. 1970.** Répression expérimentale de la tenthrède de LeConte par des virus dans les plantations du Québec. (Compte-rendu d'un programme de démonstration en forêt mené conjointement par le Service canadien des forêts et le ministère des Terres et Forêts du Québec). Rapport d'information DPC-X-1. 33 p.

**Anonyme. 1994.** Une stratégie : aménager pour mieux protéger. Ministère des Ressources naturelles du Québec. Publication no FQ94-3051. 197 p.

**Anonyme. 1996.** Les maladies des arbres : la rouille vésiculeuse du pin blanc. Ministère des Ressources naturelles du Québec. Feuillet d'information RN-3030d. 4 p.

**Anonyme. 2006.** Insectes, maladies et feux dans les forêts québécoises en 2005. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Direction de la protection des forêts. [www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forêts/fimaq/insectes/bilan2005.pdf](http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forêts/fimaq/insectes/bilan2005.pdf). 65 p.

**Archambault, L., Morissette, J., Lavallée, R. et B. Comtois. 1993.** Susceptibility of Norway spruce plantations to white pine weevil attacks in southern Quebec. *Can. J. For. Res.* 23 : 2362-2369.

**Boulet, B. 1989.** Importance relative des divers ravageurs forestiers rencontrés au Québec. Rapport interne, gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la protection contre les insectes et les maladies. 13 p.

**Boulet, B. 1990.** Problématique associée aux attaques de *Zeiraphera canadensis* Mut. and Free. (Lepidoptera : Tortricidae) dans les plantations d'épinettes au Québec. *Revue d'entomologie du Québec*, Vol. 35, nos 1 et 2 (Décembre 1990) p. 45-62.

**Boulet, B. 1995.** Zones de susceptibilité aux attaques du charançon du pin blanc, *Pissodes strobi* (Peck), dans les plantations au Québec. Dans «Compte-rendu du colloque sur le charançon du pin blanc». Ministères



des Ressources naturelles du Canada et du Québec. Numéro de catalogue Fo18-38/1995F, p. 100-110.

**Chabot, M. et É. Aubin. 1997.** *La tenthrède à tête jaune de l'épinette au Québec.* Direction de la conservation des forêts, ministère des Ressources naturelles du Québec. Publication no RN97-3073. 23 p.

**Daoust, G. et M.-J. Mottet. 2006.** *Impact du charançon du pin blanc (Pissodes strobi [Peck]) dans les plantations d'épinettes de Norvège (Picea abies [L.] Karst.). Partie 1 : Productivité et qualité des sciages.* For. Chron. 82(4) : 538-549.

**DeRainville, P., G. Labrecque et P. Lainé, 1994.** *Étude vérifiant les facteurs associés au développement de la carie de racine, Armillaria spp., dans certaines plantations du Québec.* Ministère des ressources naturelles du Québec. Direction de la conservation des forêts. Rapport interne. 31 p.

**Dorais, P. 1991.** *Performance des plantations établies dans les forêts publiques du Québec entre 1980 et 1989.* Gouvernement du Québec, Publication no FQ91-3040. 91 p.

**Gagnon, R. R., G. Pelletier, B. Boulet et M. Chabot. 1990.** *Comparaison de deux secteurs d'une même plantation inégalement endommagés par Zeiraphera canadensis Mut. et Free. (Lepidoptera : Tortricidae).* Revue d'entomologie du Québec, Vol. 35, nos 1 et 2 (Décembre 1990) p. 63-78.

**Lachance, D. 1996.** *Le pourridié-agaric.* Service canadien des forêts. Feuillet d'information CFL 14. 11 p.

**Laflamme, G. 1991.** *Le chancre scléroderrien des pins.* Centre de foresterie des Laurentides. Feuillet d'information CFL 3.

**Laflamme, G. 1993.** *La maladie du rond.* Encart de la revue L'Aubelle no 95, formation continue, cours no 28. 12 p.

**Lavallée, A. 1986.** *Zones de vulnérabilité du pin blanc à la rouille vésiculeuse au Québec.* For. Chron. 62 (1). p.24-28.

**Lavallée, A. 1991.** *Évolution de la rouille vésiculeuse du pin blanc dans les jeunes plantations de pins blancs.* Forêts Canada. Rapport d'information LAU-X-101.

**Trottier, F. 1998.** *Performance des plantations établies par le ministère des Ressources naturelles dans les forêts publiques du Québec, de 1986 à 1995.* Ministère des Ressources naturelles du Québec. Publication no : RN98-3085. 124 p.







# L'aménagement intégré des ressources : un cadre de référence pour les érablières



La sylviculture exige des connaissances diverses que le propriétaire ou l'ingénieur forestier doivent intégrer pour aménager convenablement les érablières. Le potentiel d'une érablière est surtout tributaire de la productivité du site et de l'état de dégradation des arbres. Les objectifs d'aménagement doivent donc être réalistes et adaptés aux caractéristiques de la forêt. La méthode de classification MSCR a été développée pour évaluer objectivement l'état de santé des arbres afin de marteler en priorité les arbres en décroissance, sénescents ou malades et de laisser croître les sujets dont la viabilité ou la qualité n'est pas compromise à moyen terme.

Face aux agents perturbateurs, les érablières sont beaucoup plus stables, donc plus résilientes, que les peuplements pionniers. Les mesures sylvicoles destinées à augmenter la vitalité des arbres revêtent une importance considérable dans les érablières, car les champignons de carie du bois y ont plus d'emprise que les épidémies d'insectes. Bien qu'elle soit habituellement une tactique de dernier recours dans les érablières, la lutte biologique pourrait cependant s'avérer utile pour contrôler les organismes

## Introduction

L'aménagement intégré des ressources sous-entend, par définition, la prise en compte de plusieurs objectifs ou préoccupations dans la conception, la planification et l'application de principes ou de programmes pour la mise en valeur des forêts. Le sylviculteur et le propriétaire visent à exploiter les ressources tout en respectant les limites de production et de renouvellement de la forêt avec le souci constant de préserver l'intégrité écologique.

## L'intégration des connaissances pratiques

La sylviculture des érablières exige des connaissances pratiques, entre autres, dans les domaines de la synécologie, de l'autécologie, de l'écophysiologie, de la pathologie et de l'entomologie. L'intégration de ces connaissances est un défi qui est néanmoins à la portée de l'ingénieur forestier préoccupé de bien planifier ses interventions

en forêt. La figure 1 illustre brièvement les étapes à suivre pour planifier et réaliser une prescription sylvicole pour laquelle le martelage des arbres à abattre est requis.

Selon cette démarche, il faut avant tout connaître le potentiel de l'érablière. À cet effet, il faut évaluer non seulement la qualité et l'abondance des perches et des gaules de la régénération désirée, mais aussi la valeur sur pied du capital forestier productif apte à l'entaillage ou à produire du bois d'œuvre. Pour y arriver, le sylviculteur tente de retracer, dans la mesure du possible, les perturbations passées qui auraient pu altérer la structure et la composition du peuplement (coupe, pacage, verglas, etc.). Il évalue ensuite la productivité du site grâce au type écologique et, le cas échéant, il délimite sur le terrain des strates homogènes (< 4 strates suffisent généralement) dans lesquelles il détermine les essences principales à privilégier selon leurs exigences écologiques et leurs limites de stress. Il planifie alors un



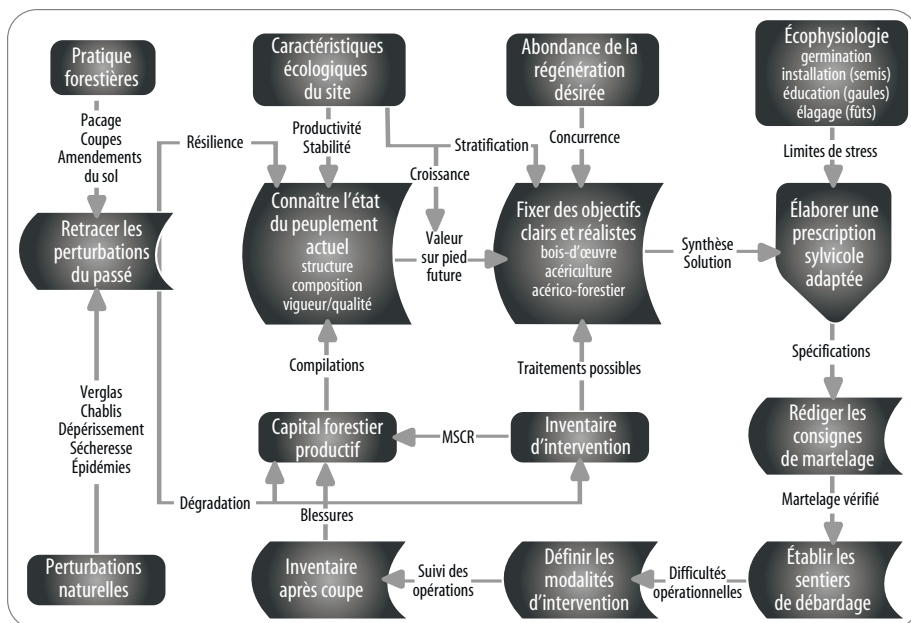


Figure 1 : Approche suggérée pour planifier et réaliser les traitements sylvicoles dans les peuplements feuillus et mélangés où le martelage des arbres est requis.

À la lumière des données forestières dont il dispose, l'ingénieur forestier, de concert avec le propriétaire, fixe des objectifs clairs et réalistes pour mettre en valeur la forêt dans le respect de ses multiples fonctions (ex. : préoccupations fauniques, espèces en situation précaire, etc.). Il élabore ensuite la prescription sylvicole (et les variantes, s'il y a lieu) et rédige les consignes de martelage pour réaliser les travaux qu'il convient de faire. Compte tenu de l'accès et des autres difficultés opérationnelles, il définit enfin les modalités d'intervention et planifie un inventaire après la coupe pour évaluer la qualité des travaux effectués et l'impact des blessures sur le capital forestier productif (figure 1).

Soulignons que les coupes partielles effectuées dans les peuplements irréguliers exigent une attention particulière à toutes les étapes de planification et de réalisation des travaux. La moindre défaillance à l'une ou à l'autre des étapes du processus peut compromettre l'opération ou modifier considérablement les effets escomptés du traitement.

| Capital forestier | Définition  | Priorité de récolte | Code terrain <sup>a</sup> |
|-------------------|---|---------------------|---------------------------|
| En perte          | Arbre qui risque de mourir avant la prochaine coupe                             | 1 <sup>b</sup>      | <b>M</b>                  |
| Improductif       | Arbre qui risque de se dégrader, mais dont la survie n'est pas menacée          | 2                   | <b>S</b>                  |
| En croissance     | Arbre défectueux à conserver dont le bois marchand ne risque pas de se dégrader | 3                   | <b>C</b>                  |
| En réserve        | Arbre d'avenir en réserve, sain ou peu défectueux                               | 4                   | <b>R</b>                  |

a. Ce système de classification des tiges pour le martelage porte l'acronyme MSCR.  
 b. Récupérer en priorité les arbres qui mourront avant la prochaine rotation est essentiel pour atteindre les objectifs sylvicoles prévus et augmenter la vigueur du peuplement et la valeur du capital forestier productif. Toutefois, la priorité de récolte peut être ajustée au besoin, conformément aux objectifs d'aménagement, aux difficultés opérationnelles ou simplement pour la protection d'habitats pour la faune (8).

Tableau 1 : Classification des arbres selon les défauts externes et les indices de la carie des arbres.

inventaire d'intervention visant à évaluer, pour chaque strate, la viabilité des arbres et la qualité des tiges sur un horizon de 20 ou 25 ans en utilisant la classification MSCR conçue à cet effet (tableau 1).

<sup>1</sup> Le marqueteur sérieux doit avoir une solide formation et les compétences en la matière sont dorénavant reconnues par le Programme de reconnaissance professionnelle des marqueteurs au Québec mis sur pied par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (8).

## Les bases de la classification MSCR

Une méthode de classification des arbres a été développée et expérimentée pour évaluer objectivement l'état de santé des arbres au moment du martelage (11); cette méthode diagnostique permet d'identifier précisément les défauts sur les arbres afin d'obtenir des données d'inventaire fiables et vérifiables. Elle sert à discriminer les arbres en décroissance, sénescents ou malades (classes S et M), des autres sujets dont la viabilité et la valeur économique ne sont pas compromises avant la prochaine coupe (classes C et R) (7, 8). Les définitions des classes MSCR sont présentées au tableau 1. Les arbres qui appartiennent aux classes C et R font partie du capital forestier productif à conserver sur pied pour améliorer à la fois la qualité, la vitalité et la résilience des peuplements à long terme. Les arbres des classes S et M constituent le capital en décroissance qui est susceptible de mourir (M) dans les 25 prochaines années ou dont la qualité du bois dépréciera grandement (S) au cours de la même période.

Soulignons qu'un martelage judicieux des arbres en décroissance peut rendre de précieux services aussi bien au sylviculteur soucieux de produire du bois d'œuvre haut de gamme qu'à l'acériculteur désireux d'améliorer sa production sucrière.

Selon la classification MSCR, les arbres les plus susceptibles de mourir au cours d'une rotation (classe M) sont prioritairement ciblés pour la récolte (tableau 1). Toutefois, l'élimination systématique des arbres de cette catégorie n'est pas forcément souhaitable dans le cas d'une coupe partielle et ce, tant des points de vue écologique, qu'économique ou opérationnel (24). Soulignons, qu'à cet égard, les actions à privilégier ne doivent pas servir de prétextes pour aller à l'encontre des principaux objectifs du traitement (8).



## 1. Actions fondées sur des préoccupations d'ordre écologique :

- conserver des arbres-refuges de forte dimension (dhp > 30 cm) fournissant des sites de choix pour la faune qui recherche les cavités, entre autres pour s'abriter ou se reproduire (14, 16, 24, 25);
- maintenir des sources de faines, de noix ou de glands utiles dans l'alimentation de certains mammifères, comme l'écureuil, l'ours noir et le cerf de Virginie et de la faune ailée, tels les geais bleus qui contribuent à la dispersion des fruits (16);
- restreindre la taille des trouées en conservant des arbres-abris dont l'ombrage est utile pour prévenir l'envahissement des essences indésirables et atténuer les stress attribuables au gel, à l'insolation ou à la sécheresse chez les essences recherchées (figure 1);
- étaler dans le temps la création et l'élargissement des trouées, si les grands arbres de faible valeur économique ne nuisent pas aux recrues de choix ni aux arbres d'avenir de la classe C ou R;
- protéger les meilleurs arbres-semenciers indispensables pour contrer la raréfaction d'essences très appréciées comme le chêne rouge, le chêne blanc, le noyer cendré et le pin blanc;
- enfin, régénérer les autres essences compagnes essentielles à la stabilité du peuplement.

## 2. Motifs économiques et difficultés opérationnelles :

- valeur des produits trop faible pour couvrir les coûts inhérents à la récolte (bois de trituration);
- entaillage rentable à court terme des érables à sucre dont la rupture éventuelle n'est pas une menace pour l'équipement acéricole;
- abattage manuel dangereux : arbres encroués, penchés et sous tension, arbres creux dont le pied est très pourri;
- abattage difficile, exigeant des précautions particulières (tiges en bouquet ou fourchues dont les cimes sont enchevêtrées, arbres établis sur un site en surplomb ou en pente forte);
- abattage manuel d'un arbre de faible valeur qui risque dans sa chute d'endommager gravement des tiges en réserve.

Ces aspects pratiques sont aussi importants à connaître que la classification MSCR, car ils permettent de moduler, pas à pas, le choix des tiges à marteler en fonction d'autres valeurs (sécurité des personnes et des biens), enjeu (biodiversité) ou objectifs (acéricole) qui s'ajoutent à celui de produire du bois d'œuvre.

On tient parfois pour acquis, malheureusement, qu'une connaissance sommaire de la classification MSCR suffit pour réaliser un bon martelage,

mais il n'en est rien<sup>2</sup>. Pour maîtriser toutes les connaissances utiles, le marteleur, tout comme l'ingénieur forestier, doivent consentir des efforts soutenus et prévoir une certaine période d'apprentissage et d'entraînement pour enfin espérer recueillir des données d'inventaire de qualité et formuler une prescription sylvicole adaptée aux besoins du propriétaire et aux caractéristiques de sa forêt (figure 1). Le propriétaire ne devrait donc pas hésiter à consulter un conseiller forestier pour l'aider à comprendre les fondements des actions à entreprendre dans le plus grand intérêt de son boisé.

Les difficultés qu'impose l'aménagement intégré des ressources sont certes proportionnelles à la complexité écologique et structurelle de la forêt. Les forêts de feuillus tolérants de la zone méridionale ont en effet un lourd héritage de perturbations naturelles et d'interventions humaines qui ont eu pour effet d'accroître l'hétérogénéité des peuplements pour lesquels l'aménagement est devenu parfois difficile.

L'ingénieur forestier, préoccupé de réaliser le meilleur traitement au bon endroit, doit donc faire preuve de souplesse au moment de rédiger les consignes de martelage à l'intention des marteleurs afin qu'ils puissent s'adapter, pas à pas, aux règles de la nature qui régissent la dynamique forestière et la conduite du peuplement.

## Perturbations et dynamique forestière

## Les fondements

Les perturbations naturelles façonnent une mosaïque forestière complexe qu'on peut tenter d'imiter lors des coupes forestières<sup>3</sup>. Qu'elles soient d'origines naturelle ou anthropique, les perturbations modifient la composition, la structure et la santé des forêts (figure 1). Les pertur-

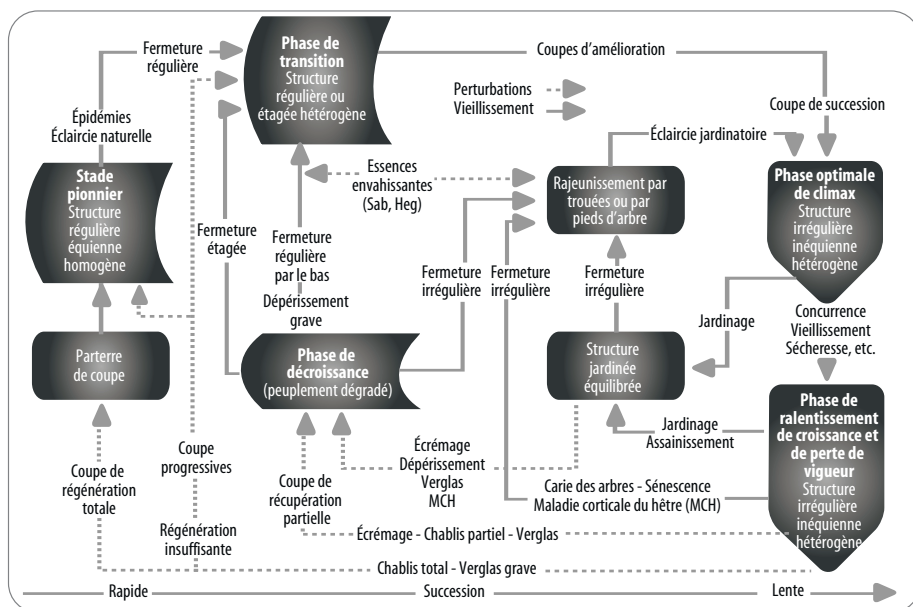


Figure 2 : Stratégie sylvicole fondée sur la dynamique naturelle liée au vieillissement et aux perturbations dans les futaies feuillues irrégulières, dominées par l'érable (inspiré de Leibundgut [1978], Mayer et al. [1979], Schütz [1982] in Duchiron [1994]) (13).

<sup>3</sup> Imiter la nature lors des coupes forestières représente encore un grand défi, mais il faudra pourtant le relever pour assurer une production optimale des ressources forestières à long terme.

<sup>4</sup> Ce concept renvoie le lecteur aux différents guides de reconnaissance des types écologiques élaborés par région et publiés par la Direction des inventaires forestiers du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec.

<sup>5</sup> La mise en valeur des sous-produits à haute valeur ajoutée, tels que l'érable piqué et les autres bois d'apparence dont la valeur est traditionnellement peu connue (bois ondulé, bois ronceux, bois flammé, bois coloré, etc.) représente une avenue prometteuse pour le petit producteur forestier qui désire augmenter le retour sur les investissements sylvicoles consentis dans son érable sans nécessairement recourir à des méthodes d'aménagement intensif qu'il juge trop coûteuses (10).



bations favorisent habituellement la régénération, elles éclaircissent les peuplements en croissance, elles en accélèrent la succession écologique et elles modifient parfois les habitats fauniques (6, 16).

La dynamique forestière reflète l'évolution normale de la structure et de la composition de la forêt sous l'effet du vieillissement et, plus particulièrement, elle décrit aussi le comportement des peuplements après les perturbations (13).

La figure 2 illustre les effets des perturbations et du vieillissement des arbres sur la dynamique des peuplements de la zone méridionale qui caractérisent le domaine de l'érablière. La forêt feuillue se modifie sans cesse, mais son évolution revient tôt ou tard à la phase de climax. Plus un peuplement est stable, plus il se remet rapidement d'une perturbation. Ce concept se traduit par l'extension du sens qu'on accorde au terme *homéostasie* (13) ou par l'expression *balance of nature hypothesis* (21).

La résilience traduit la résistance au changement, donc le degré de stabilité des peuplements face aux perturbations (figure 1). Les peuplements climaciques sont, par définition, beaucoup plus stables, donc plus résilients à la dégradation des arbres et aux épidémies que les peuplements pionniers ou de transition (19). La nature des interventions sylvicoles réalisées pour restaurer ou remplacer divers types de peuplements endommagés par la tempête de verglas, en 1998, corrobore sans équivoque ce postulat (3, 4, 18, 23). De plus, les érablières lourdement endommagées et établies sur les sites les plus productifs (types écologiques<sup>4</sup> : Fe32, Fe33, Fe22, Fe23) sont d'ailleurs plus résilientes que celles qui occupent les stations moins productives où le sol est mince (Fe30, Fe42, Fe50). De fait, certaines érablières établies dans les sites en haut de pente ou sur les sommets se sont tellement dégradées depuis 1998 qu'on a dû revoir les objectifs de production; leurs vocations acéricole ou de bois d'œuvre ont été sérieusement compromises à long terme (Boulet, données non publiées).

### Phases évolutives menant au climax

Au cours des différentes phases de l'évolution se succèdent les essences pionnières, intermédiaires (de transition) et climaciques. Issus de perturbations importantes (ex. : coupe totale, verglas grave, chablis total), les peuplements pionniers ont une structure équilibrée, régulière et comptent habituellement quelques essences intolérantes à l'ombre. Comme leur cime occupe le même étage, les arbres se livrent alors une lutte sans merci pour la lumière disponible. La concurrence y est vive et les sujets les plus faibles meurent avant d'atteindre la maturité, victimes d'une trop forte domination, de la maladie ou d'une épidémie d'insectes.

Ces forêts plutôt instables sont envahies par des essences semi-tolérantes ou tolérantes à l'ombre qui remplacent progressivement les espèces intolérantes. La structure verticale des peuplements de transition se modifie au fur et à mesure que les arbres vieillissent et, avec le temps, les essences qui exigent moins de lumière prennent de plus en plus de place pour finalement occuper tous les étages du peuplement. Parvenues au terme de ce lent processus de succession (le climax), les forêts sont hétérogènes et ont alors une structure irrégulière et inéquienne qui leur confère une grande stabilité (figure 2).

Les effets de la concurrence et du vieillissement des arbres se font aussi sentir dans les forêts climaciques. La dynamique des trouées traduit les changements qui s'y opèrent naturellement pour renouveler la forêt

dans le temps et dans l'espace (12, 24). Les générateurs de grande trouée sont habituellement les grands arbres dont la cime dépérit et qui meurent sur pied, ceux qui sont renversés par le vent ou encore ceux affaiblis par la carie et qui se rompent soudainement (5, 8). Dans les érablières, la carie du bois a donc beaucoup plus d'emprise sur les vieux arbres que les épidémies d'insectes.

## Stratégie d'intervention

### Tactiques à privilégier

Les mesures destinées à réduire les pertes causées par la carie du bois dans les érablières revêtent alors une importance considérable, parce qu'on exploite la forêt de plus en plus intensivement et que la demande de bois de bonne qualité ne cesse d'augmenter<sup>5</sup>. La meilleure stratégie de lutte contre les maladies et les insectes du bois (ex. : le perceur de l'érule) est l'adoption de techniques sylvicoles susceptibles de prévenir ou de réduire les pertes à long terme (5, 6, 21). Au moyen de la coupe de jardinage, par exemple, le sylviculteur peut améliorer grandement la qualité, la croissance et la vitalité des arbres (1, 7), même si la première intervention d'assainissement s'avère parfois peu rentable (11). Outre le jardinage, le propriétaire ou l'ingénieur forestier dispose d'une panoplie de traitements sylvicoles pour aménager les futaies qui ont le potentiel de produire des érables à sucre et autres feuillus nobles (figure 2). Tous ces traitements ont essentiellement pour but de contrer les effets du vieillissement des arbres (ex. : la carie du bois) dans le respect de la dynamique naturelle des peuplements. Par exemple, la coupe de succession est appropriée dans les peuplements de transition où les essences pionnières ou semi-tolérantes parvenues à maturité laissent progressivement leur place au profit des essences tolérantes comme l'érule à sucre. D'autres traitements, comme les coupes progressives, sont surtout appropriés pour pallier les effets des perturbations. Dans ce cas, ils visent surtout à améliorer les peuplements dégradés, en perte de vitalité ou encore à récupérer une partie du bois en perdition tout en maintenant une ambiance forestière (arbres-abris) qui n'entrave pas davantage les mécanismes naturels de régénération et qui concourt au rétablissement de la forêt.

La lutte directe est certainement une stratégie de dernier recours dans les érablières contrairement à la situation qui prévaut dans les peuplements pionniers (tableau 2). En effet, il n'est généralement pas justifié, tant sur le plan économique qu'environnemental, d'utiliser des insecticides dans les érablières pour contrôler les épidémies d'insectes comme la livrée des forêts, la spongieuse ou les arpeuteuses printanières. Les mesures sylvicoles d'atténuation y sont généralement utilisées pour limiter les dommages à la forêt, puisque la mortalité des arbres directement attribuable à la défoliation est plutôt faible (2). Soulignons cependant que le chaulage du sol d'une érablière touchée par le dépérissement en cime a un effet bénéfique à long terme qui permettrait, le cas échéant, de conserver la représentativité de l'érule à sucre dans les peuplements qui occupent les sites acides et pauvres en calcium (20). Toutefois, les traitements avec des engrais ou de la chaux dolomitique n'ont pas d'effets majeurs pour revigorer les érables endommagés par le verglas (18).

L'approche à privilégier diffère tout autant lorsqu'on évalue les coûts relatifs à l'établissement et à l'entretien des plantations par rapport à ceux que nécessite la régénération naturelle (tableau 2). La diversité et l'impact des insectes et des maladies dans les érablières et dans les



plantations de feuillues n'ont pas de commune mesure. Le reboisement avec des essences feuillues n'a d'ailleurs jamais pris son essor en raison des coûts prohibitifs d'entretien et des efforts soutenus de protection qu'il faut consentir pour obtenir des résultats probants. Les pratiques sylvicoles visant à stimuler la régénération naturelle réduisent à la fois les coûts inhérents à la remise en production des sites et du même coup, la dépendance aux moyens de lutte directe pour contrôler les épidémies.

### La menace des organismes introduits

La maladie corticale du hêtre est causée par des champignons pathogènes du genre *Neonectria*, dont la propagation dans les régions des Maritimes, du Québec et du Maine est attribuable à un insecte, *Cryptococcus fagisuga*, introduit en Nouvelle-Écosse vers 1890 (9). Cette maladie a entraîné le dépérissement grave du hêtre et la dégradation de la qualité des tiges qui font en sorte que son bois n'est pas très recherché par l'industrie. Détectée pour la première fois dans le sud-ouest du Québec, en 1990, la maladie du chancre du noyer cendré, *Sirococcus clavignenti-juglandacearum*, est une autre maladie introduite accidentellement qui risque d'entraîner la disparition du noyer cendré dans plusieurs parties de son aire de distribution (15, 22). Inquiets des dommages que ces maladies causent à la forêt, les sylviculteurs appréhendent de plus en plus les effets potentiels de certains autres organismes exotiques sur la santé des forêts, comme le longicorne asiatique, *Anoplophora glabripennis* (17). Avec le réchauffement climatique, la rigueur du climat constitue en effet une barrière de moins en moins efficace pour contrer l'expansion des espèces nuisibles. La lutte biologique pourrait certes être utile, le cas échéant, pour contrôler certains organismes, insectes ou maladies, accidentellement introduits qui parviendraient à s'établir et à causer des dommages dans les érablières.

### Conclusion

Les perturbations font partie intégrante des écosystèmes qui sont en constante évolution. Leurs effets dans les érablières sont plutôt insidieux et les mauvaises pratiques ne font qu'accroître les problèmes. Un mauvais choix de tiges au moment de la coupe partielle affecte indéniablement la croissance, le taux de survie, la production de bois de qualité, la vitalité des arbres et le rendement acéricole.

L'aménagement intégré met résolument l'accent sur les mesures préventives visant à augmenter la vitalité et la résistance des arbres et sur les mesures de mitigation pour minimiser les pertes encourues à la suite d'une perturbation sans nuire au rétablissement de la forêt.

Le véritable défi, que le propriétaire ou le sylviculteur devront relever, consiste, dès maintenant, à tout mettre en œuvre pour minimiser les effets appréhendés des écarts climatiques extrêmes (ex. : sécheresse, chablis, gel et dégel hâtifs) qui découlent vraisemblablement du réchauffement climatique. Les arbres qui poussent en marge de leur optimum de croissance sont moins résistants, croissent moins vite, dépérissent ou vivent moins longtemps en santé que ceux qui profitent de conditions idoines. Par conséquent, les interventions visant à privilégier les essences les mieux adaptées à leur milieu sont un gage de succès à long terme.

### Remerciements

| pionnière                        | Phase de succession                          |                 |
|----------------------------------|--|-----------------|
|                                  | ou   | climax          |
| plantation                       | Mode de régénération des feuillus            | naturelle       |
| <b>Peuplement</b>                |  |                 |
| homogène                         | Composition                                  | hétérogène      |
| faibles                          | Interactions (diversité)                     | nombreuses      |
| régulière                        | Structure <sup>a</sup>                       | irrégulière     |
| équienne                         |  | inéquienne      |
| courte ou moyenne                | Révolution <sup>a</sup> (longévitité)        | longue          |
| lumière                          | Concurrence <sup>a</sup> (autoéclaircie) eau |                 |
| faible ou moyenne                | Résilience (stabilité)                       | forte           |
| <b>Perturbations (épidémies)</b> |  |                 |
| grande                           | Diversité (organismes)                       | faible          |
| élevée                           | Fréquence                                    | faible          |
| moyenne                          | Envergure                                    | petite          |
| élevé                            | Impact                                       | faible          |
| <b>Stratégie de lutte</b>        |  |                 |
| lutte directe                    | Approche                                     | lutte indirecte |
| lutte biologique                 | Tactique à privilégier                       | sylviculture    |
| élevée                           | Dépendance (répression)                      | faible          |
| prioritaire                      | Besoins de recherche (lutte biologique)      | secondaire      |

a. critère peu discriminant ou inadéquat selon le mode de régénération

Tableau 2 : Succession, mode de régénération, perturbations et stratégies d'intervention en forêt feuillue : synthèse.

Je tiens à souligner l'aide précieuse de MM. Michel Huot, ing. f. et Michel Chabot, ing. f. dont les commentaires pertinents et constructifs ont été fort appréciés au moment de la révision du manuscrit, de même que l'aide de Mme Sylvie Jean pour la mise en forme finale des figures.

### Références

- (1) Bédard, S. et Z. Majcen. «Ten-Year Response of Sugar Maple-Yellow Birch-Beech Stands to Selection Cutting in Québec». *Northern Journal of Applied Forestry*, Vol. 18, no 4, 2001, p. 119-126.
- (2) Boulet, B. «Les principaux insectes forestiers : historique, distribution et impact sur les forêts québécoises - Chapitre 3». In pp. 37-55, Potvin, C. et D. Cantin, *L'utilisation durable des forêts québécoises - De l'exploitation à la protection*. Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Qc, 1996, 157 p.



- (3) **Boulet, B.** «Le verglas de janvier 1998 : évaluation des dommages et des effets appréhendés sur les arbres et la forêt». In pp. 63-69, Association québécoise de gestion de la végétation, Compte-rendu du congrès annuel de l'A.Q.G.V., La végétation, une dynamique à gérer!, Sherbrooke, Qc, 4 et 5 novembre, 1998, A.Q.G.V., Ressources naturelles Canada, 104 p.
- (4) **Boulet, B., F. Trottier et G. Roy.** L'aménagement des peuplements forestiers touchés par le verglas – Vigueur et qualité des arbres, critères de décision, avis d'intervention et méthode d'évaluation. Ressources naturelles, Gouv. du Québec, Charlesbourg, Qc, Publ. no 2000-3069, 2000, 67 p.
- (5) **Boulet, B.** «Les champignons des arbres : un aperçu de leur importance au sein des écosystèmes forestiers». *Le Naturaliste canadien*, Vol. 125, no 3, 2001, p. 187-191.
- (6) **Boulet, B.** Les champignons des arbres de l'est de l'Amérique du Nord. Les Publications du Québec, Sainte-Foy, Qc, 2003, 728 p.
- (7) **Boulet, B.** «La pathologie forestière appliquée au jardinage des forêts feuillues». *Forêt*, Vol. 78, 2003, p. 3-4.
- (8) **Boulet, B.** Défauts externes et indices de la carie des arbres – Guide d'interprétation. 2e Éd., Les Publications du Québec, Sainte-Foy, Qc, 2007, Sous presse.
- (9) **Boyce, J.S.** *Forest Pathology*. 3rd Ed., McGraw-Hill, New York, 1961, 572 p.
- (10) **Bragg, D.C.** «Potential Contributions of Figured Wood to the Practice of Sustainable Forestry». *Journal of Sustainable Forestry*, Vol. 23, no 3, 2006, p. 67-81.
- (11) **Brassard, F., B. Boulet et G. Landry.** 2003. Essai de martelage avec le Guide d'interprétation des défauts indicateurs de la carie des arbres - Projet d'amélioration des pratiques de jardinage – Phase II. Ressources naturelles Faune et Parcs, Gouv. du Québec, Qc, Publ. no 2003-3100, 2003, 42 p.
- (12) **Dahir, S.E. et C.G. Lorimer.** «Variation in canopy gap formation among developmental stages of northern hardwood stands». *Canadian Journal of Forestry Research*, Vol. 26, 1996, p. 1875-1892.
- (13) **Duchiron, M.-S., Ed.** *Gestion des futaies irrégulières et mélangées*. Nancy, Paris, 1994, 201 p. + annexes.
- (14) **Holloway, G.L., J.P. Caspersen, M.D. Vanderwel et B.J. Naylor.** «Cavity tree occurrence in hardwood forest of central Ontario». *Forest Ecology and Management*, Vol. 239, 2007, p. 191-199.
- (15) **Innes, L.** «*Sirococcus clavignenti-juglandacea-rum* on butternut and black walnut fruit». In pp. 129-132, *Compte-rendu du congrès de l'UFRO, Foliage, shoot and stem diseases of trees*. Québec, Qc, 2 février, 1997, Ressources naturelles-Canada, Serv. Can. For., Centre de Foresterie des Laurentides.
- (16) **Keddy, P.A. et C.G. Drummond.** «Ecological Properties for the Evaluation, Management, and Restoration of Temperate Deciduous Forest Ecosystems». *Ecological Applications*, Vol. 6, no 3, 1996, p. 748-762.
- (17) **Kimoto, T., M. Duthie-Holt et L. Dumouchel.** *Guide des insectes forestiers exotiques*. Agence canadienne d'inspection des aliments. Agriculture et agroalimentaire Canada, Ottawa, 2004, 120 p.
- (18) **Lautenschlager, R.A. et C. Nielsen.** «Ontario's Forest Science Research and Extension Effort after the 1998 Ice Storm». *Journal of Forestry*, Vol. 105, no 1, 2007, p. 34-42.
- (19) **Lorimer, C.G. et A.S. White.** «Scale and frequency of natural disturbances in the northeastern US: implications for early successional forest habitats and regional age distributions». *Forest Ecology and Management*, Vol. 185, 2003, p. 41-64.
- (20) **Moore, J.-D. et R. Ouimet.** «Ten-year effect of dolomitic lime on the nutrition, vigor and growth of sugar maple». *Canadian Journal of Forestry Research*, Vol. 36, 2006, p. 1834-1841.
- (21) **Muzika, R.M. et A.M. Liebhold.** «A critique of silvicultural approaches to managing defoliating insects in North America». *Agricultural and Forest Entomology*, Vol. 2, 2000, p. 97-105.
- (22) **Ostry, M.E. et K. Woeste.** «Spread of Butternut Canker in North America, Host Range, Evidence of Resistance Within Butternut Populations and Conservation Genetics». In pp. 114-120, Michler, C.H., P.M. Pijut, J.W. Van Sambeek, M.V. Coggeshall, J. Seifert, K. Weostre, R. Overton et F. Jr. Ponder. *Compte-rendu du 6th Walnut Council research symposium, Black walnut in a new century*, Lafayette, IN, 25-28 juillet, 2004. Gen. Tech. Rep. NC-243, St. Paul, MN, U.S.D.A., For. Serv., North Central Research Station. 188 p.
- (23) **Raulier, F., M.-J. Lavoie, S. Guay, D. Pothier, D. Rioux, Y. Maufette, B. Boulet, et M. Dumont.** «Dommages dus au verglas et entaillage : développement d'un indice de vigueur». In pp. 6-11, ACER-Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc., *Compte-rendu du colloque Verglas et forêt : qu'en est-il cinq ans plus tard?*, Sherbrooke, Qc, 28-30 janvier, 2003. ACER, Ressources naturelles Québec, Ressources naturelles Canada, 2006, 78 p.
- (24) **Vanderwel, M.C., J.P. Caspersen et M.E. Murray.** «Snag dynamics in partially harvested and unmanaged northern hardwood forests», *Canadian Journal of Forestry Research*, Vol. 36, 2006, p. 2769-2779.
- (25) **Yamasaki, M. et W.B. Leak.** «Snag Longevity in Managed Northern Hardwoods», *Northern Journal of Applied Forestry*, Vol. 23, no 3, 2006, p. 215-217.





# Le charançon du pin blanc et le grand hylésine des pins - leur contrôle avec des alliés naturels redoutables : les champignons!

## Problématique du charançon du pin blanc

Le charançon du pin blanc (CPB) (*Pissodes strobi*, Peck) *Coleoptera* : *Curculionidae*) est un insecte qui cause des problèmes au Canada. Un manque apparent de connaissances sur la biologie de l'insecte et l'absence de méthodes de contrôle préventif ont amené un désintérêt pour le reboisement des essences hôtes. Au Québec, faute d'avoir mis en place des mesures de contrôle contre ce ravageur, le nombre de plantations attaquées par le CPB s'est considérablement accru au cours des années 80 et 90 (MRNQ, 1999). En 1997, 50 % des plantations d'épinette de Norvège ont été attaquées par le CPB et la proportion moyenne des attaques y était de 14% (MRNQ, 1998).



Le CPB n'a qu'une génération par année. Après avoir passé l'hiver dans la litière, les insectes remontent vers les flèches terminales à la fin du mois d'avril et au début de mai pour se nourrir et y pondre leurs œufs, ce qui dure en moyenne 4 semaines (Trudel et al., 2001). Les œufs vont éclore après environ 10 jours, et les larves vont se nourrir du cortex puis descendre dans la flèche tuant la pousse de l'année précédente. Au cours du mois de juillet, on verra aussi flétrir la pousse terminale et les pousses latérales (Lavallée et al., 1997). Selon les températures estivales, la métamorphose en adulte aura lieu vers la fin du mois de juillet, et les adultes vont alors émerger et demeurer actifs jusqu'à l'automne au moment où ils regagneront la litière.

## Problématique du grand hylésine des pins

Un autre coléoptère, le grand hylésine des pins (GHP) (*Tomicus piniperda* L. (*Coleoptera* : *Scolytidae*)), est un scolyte d'origine européenne qu'on retrouve maintenant au Québec. Cet insecte a causé relativement peu de dommages à ce jour, mais son statut demeure incertain pour les années à venir. En effet, en Europe cet insecte cause des dommages importants dans les plantations de

pins et d'épinettes soumis à des stress durant leur croissance.

Dans son aire naturelle, le GHP occupe un territoire compris depuis l'Europe de l'Ouest jusqu'à la Sibérie et le Japon (Langström, 1983; Ye, 1991). En Amérique du Nord, le GHP a été découvert en Ohio en 1992 (Poland et al., 2000) et par la suite dans le sud de l'Ontario et dans le sud du Québec respectivement en 1993 et en 1998 (Gagnon, 2000). En Europe, son hôte principal est le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) (Langström, 1983).

En Amérique du Nord, dans la région des Grands Lacs, le grand hylésine manifeste une préférence pour le pin sylvestre, suivie par le pin rouge (*P. resinosa* Ait.), le pin gris (*P. banksiana* Lamb.) et le pin blanc (*P. strobus* L.) (Lawrence et Haack, 1995). Durant les périodes très populeuses, les adultes peuvent aussi se reproduire sur les billes d'épinette (*Picea* spp.), de sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et de mélèze (*Larix* spp.) (CFIA, 1999). Le GHP peut se reproduire et se développer sur des arbres stressés, mourants ou morts récemment (Siegert et McCullough, 2001).

Les adultes passent l'hiver cachés dans l'écorce externe à la base des





Figure 1 : Application au sol de *B. bassiana*.

arbres et recommencent leur activité tôt au printemps, quand les températures journalières maximales atteignent 10 à 13°C avec le vol d'émergence des adultes (Annala et al., 1999; Langström, 1983). La période au cours de laquelle le vol d'émergence se produit est brève et varie d'une année à l'autre. Ainsi, au Québec, en 2000, des adultes ont été capturés dans des pièges Lindgren durant les deux premières semaines du mois d'avril (P. Desrochers, données non publiées). En 2007, le 12 avril, l'émergence n'avait pas encore débuté. Sur du matériel de ponte adéquat, chaque femelle dépose environ 65 œufs par galerie dans le phloème (Poland et al., 2000). Les adultes de la nouvelle génération émergent 12 à 13 semaines plus tard, en juillet (Ryall et Smith, 2000), et volent vers les couronnes des arbres sains où ils se nourrissent à l'intérieur des pousses de l'année (Siegert et McCullough, 2001). Ces adultes se dirigeront éventuellement vers la base des arbres où ils passeront l'hiver enfouis dans l'écorce (Lawrence et Haack, 1995).



Figure 2 : Test d'application au sol en plantation avec *B. bassiana*.

Parce que le pin sylvestre et le pin gris sont utilisés dans les programmes de reboisement au Canada, le GHP est considéré comme une menace possible. Par conséquent, depuis 2000, l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA-CFIA) a imposé une quarantaine sur le transport de pins potentiellement infestés et, durant la période à haut risque, il est nécessaire de retirer l'écorce des billes importées et d'en disposer de façon appropriée (CFIA, 2000).



Figure 3 : Test en plantation avec application de *B. bassiana* sur la pousse terminale.

### Les champignons entomopathogènes

En tant qu'agents de lutte contre les insectes forestiers nuisibles indigènes et exotiques plus acceptables d'un point de vue environnemental que les insecticides chimiques, les champignons entomopathogènes ont un grand potentiel de développement. On retrouve plus de 800 espèces de champignons qui peuvent potentiellement infecter les insectes et jouer un rôle dans la régulation de leurs populations. Si on les compare avec d'autres microorganismes, comme les bactéries ou les virus, ils ont l'avantage de pouvoir infecter

leurs hôtes à la fois par ingestion et par contact, rendant ainsi vulnérables tous les stades de croissance.



Figure 4 : Test en plantation avec application de *B. bassiana* sur la pousse terminale.

Plusieurs champignons entomopathogènes sont actuellement utilisés contre les insectes nuisibles. Le champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin

(Hyphomycètes) est bien connu, et il est naturellement présent et largement répandu comme agent pathogène de plusieurs coléoptères nuisibles (Gottwald et Tedders, 1983; Khan et Selman 1984, 1987, 1988; Rodrigez et Pratisoli, 1990; Ardan, 1994; Padin et al., 1997). Les conidies du *B. bassiana* peuvent déclencher une infection en étant en contact autant avec la cuticule de l'hôte qu'avec le canal alimentaire ou le système respiratoire (Boucias et Pendland, 1998). Le champignon envahit alors le corps de l'insecte, se multiplie dans l'hémocèle et forme des conidiophores externes (Shapiro-Ilan et al., 2003). De plus, le *B. bassiana* possède la capacité de persister dans l'environnement et de se propager par transmission horizontale entre les insectes (Godonou et al., 2000; Meikle et al., 2001). Pour ces raisons, le *B. bassiana* devrait être considéré comme une alternative pour contrôler les populations d'insectes coléoptères nuisibles au Canada.





## Recherches en cours

Notre objectif est de démontrer l'efficacité du *B. bassiana* comme outil de lutte contre le CPB et le GHP, puis de développer des techniques d'application qui peuvent s'intégrer aux pratiques d'aménagement. Ainsi, au cours des dernières années, notre groupe de recherche a travaillé à développer et à améliorer les méthodes d'isolation, de manipulation et de production des champignons entomopathogènes. De plus, le potentiel insecticide de différents isolats de *B. bassiana* contre le CPB et le GHP a été déterminé en laboratoire afin d'identifier les isolats les plus virulents et les valider en condition de laboratoire et en milieu naturel. Contre le CPB, deux stratégies de contrôle ont été étudiées en laboratoire : d'une part, l'application d'une suspension de spores directement sur la pousse terminale et, d'autre part, une application à la surface de la litière. Avec les deux stratégies, il a été possible d'obtenir un taux de mortalité intéressant durant une période de deux semaines après l'application (Trudel et al., 2007). Au cours de l'année 2006, des tests ont été effectués en milieu naturel

pour valider l'efficacité du *B. bassiana* contre le CPB. Les travaux avaient pour objectif de valider l'efficacité de l'arrosage au sol (Fig. 1 et 2) et sur des pousses terminales (Fig. 3 et 4) pour contrôler le CPB. Des taux de mortalité différents ont été obtenus selon la période où le *B. bassiana* est appliqué au sol, soit l'automne ou le printemps (Fig. 5, 6, et 7). L'arrosage de la litière au printemps occasionne une forte mortalité durant une courte période suivant la période d'hibernation. Il y a eu peu de ponte faite par le groupe de CPB placé sur les litières traitées avec du *B. bassiana* comparativement au groupe témoin (Tableau 1). Durant l'expérience de vaporisation de la pousse terminale avec du *B. bassiana*, nous avons évalué la persistance de la virulence de l'agent pathogène quand il est exposé aux conditions environnementales. Avant d'y placer des CPB adultes, nous avons comparé le potentiel insecticide des sections de flèches qui venaient d'être vaporisées après des durées de 0, 3, 6 et 9 jours. Une réduction de la mortalité a été observée après une période d'exposition aux conditions environnementales (Fig. 8).

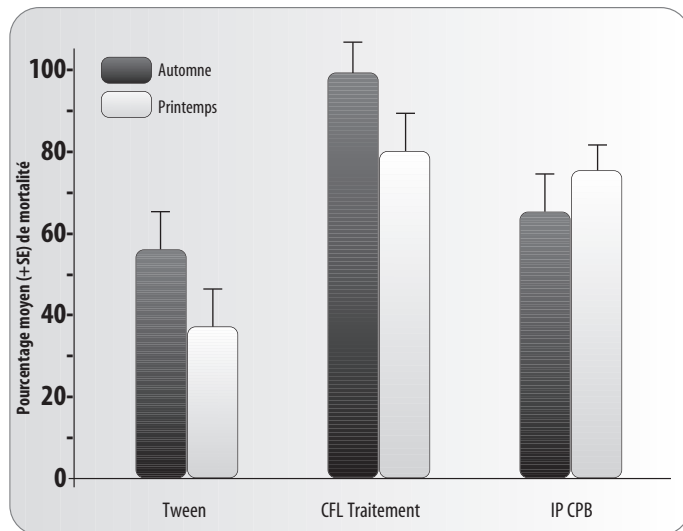


Figure 5 : Mortalité du CPB, après la période d'hibernation en chambre froide et suivant une application au sol de *B. bassiana*.

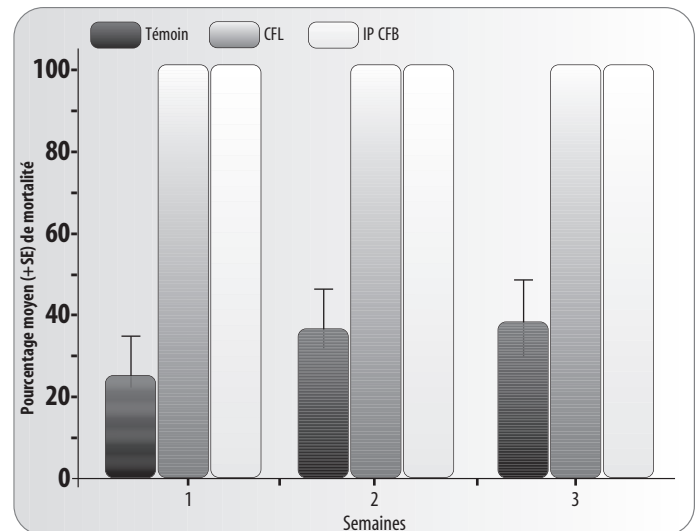


Figure 7 : Mortalité des CPB durant les 3 semaines après une période d'hibernation et faisant suite à une application de printemps au sol de *B. bassiana*.

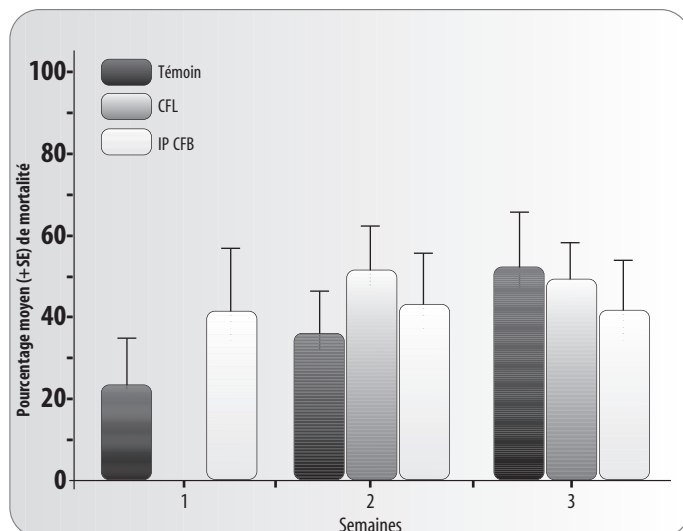


Figure 6 : Mortalité du CPB durant les 3 semaines après une période d'hibernation faisant suite à une application d'automne au sol de *B. bassiana*.

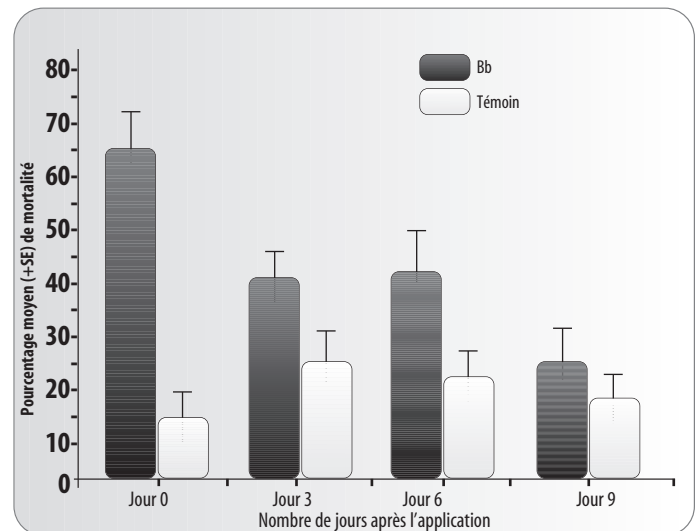


Figure 8 : Pourcentage de mortalité des CPB suivant une période d'exposition variable de *B. bassiana* aux agents UV naturels.





Figure 9 : Application de *B. bassiana* sur des bûches de pin Sylvestre.



Figure 10 : Galeries parentales.

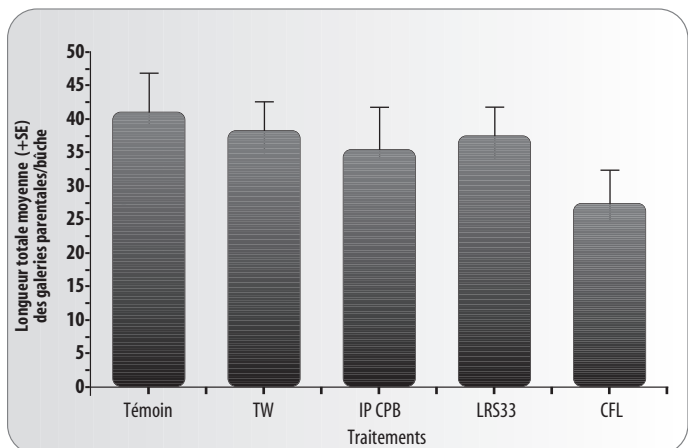


Figure 11: Longueur des galeries parentales du GHP selon les différents traitements (pas de différence significative).

| Isolat   | Nombre d'oeufs* |
|----------|-----------------|
| Contrôle | 437             |
| IP CPB   | 63              |
| CFL      | 0               |

\*Pour le CPB

Tableau 1: Nombre d'œufs obtenus après la période de ponte selon les différents traitements.

Des essais en milieu naturel ont été réalisés en 2004 et en 2005 contre le GHP pour démontrer l'efficacité des isolats de *B. bassiana* sélectionnés. Au cours de l'été 2006, nous avons cherché à valider si l'utilisation de bûches pièges vaporisées avec du *B. bassiana* était une stratégie valable dans la lutte contre le GHP. Les bûches ont été vaporisées avec différents isolats (CFL, IP CPB, ou LRS 33) ou une solution témoin (Fig. 9). Les paramètres évalués ont été le nombre de trous d'émergence et la longueur moyenne de la galerie parentale par bûche (Fig. 10). Durant ce test, aucune différence significative ne fut cependant observée entre les bûches avec traitements et le témoin (Fig. 11).

### Conclusion

D'ici quelques années, les plantations soumises à des régimes intensifs de production permettront d'assurer aux Canadiens une place de choix dans le marché concurrentiel international. Pour tous les types de production, des vergers à graines en passant par les pépinières jusqu'aux plantations privées et publiques, les insectes peuvent devenir de sérieuses nuisances à la production de fibre et de bois d'œuvre de qualité. Dans un contexte de changements climatiques, d'échanges commerciaux accrus et de disponibilité abondante de plantations, le statut de ces insectes pourrait changer. Puisqu'il n'y a pas de méthodes de contrôle pour ces insectes, les mycoinsecticides peuvent devenir des solutions à leur gestion. Il n'y a pas encore de mycoinsecticides homologués pour le contrôle des insectes au Canada, mais des produits commerciaux sont disponibles aux États-Unis, en Asie et en Europe (ex. : Mycotrol, Botanigard). Leur efficacité et leur acceptabilité comme produit sécuritaire et efficace en remplacement des insecticides chimiques s'accroissent sans cesse.

### Références

**Annala, E., B. Långström, M. Varama, R. Hiukka et P. Niemelä. 1999.** Susceptibility of defoliated Scots pine to spontaneous and induced attack by *Tomicus piniperda* and *Tomicus minor*. *Silva Fenn.* 33: 93-106.

**Ardan K. 1994.** Microbial control of storage pests using the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* with special reference to *Sitophilus zeamais* and *Callosobruchus chinensis*. M.Sc. Thesis, University of London, UK.

**Boucias D.G., J.C. Pendland. 1998.** Entomopathogenic fungi; Fungi Imperfecti. In: *Principles of Insect Pathology*, Vol. 10. Ed. by Boucias DG, Pendland JC, Kluwer Academic Publishers, Boston, 183-192.

**CFIA. 1999.** *Tomicus piniperda* L. Common pine shoot beetle. Canadian Food Inspection Agency, Science Branch. <http://www.inspection.gc.ca/english/sci/surv/data/tompine.shtm>.



- CFIA. 2000.** D-94-22, Plant protection requirements on pine plants and pine materials to prevent the entry and spread of pine shoot beetle, 4th revision. Canadian Food Inspection Agency, Plant Products Directorate, Plant Health and Production Division. <http://www.inspection.gc.ca/english/plaveg/protect/dir/d-94-22e.shtml>.
- Gagnon, G. 2000.** Grand hylésine des pins. Pages 32-33 dans *Insectes, maladies et feux dans les forêts québécoises*, en 1999. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la conservation des forêts. Québec, QC. Canada.
- Godonou, I., K.R. Green, K.A. Oduro, C.J. Lomer et K. Afreh-Nuamah. 2000.** Field evaluation of selected formulations of *Beauveria bassiana* for the management of the banana weevil (*Cosmopolites sordidus*) on plantain (*Musa* spp., AAB group). *Biocontrol Sci. Technol.* 10, 779-788.
- Gottwald, T.R. et W.L. Tedders. 1983.** Suppression of pecan weevil (*Coleoptera: Curculionidae*) populations with entomopathogenic fungi. *Environ. Entomol.* 12, 471-474.
- Khan A.R. et B.J. Selman. 1984.** Effect of insecticide, microsporidian and insecticide-microsporidian doses on the growth of *Tribolium castaneum* adults. *J. Invert. Pathol.* 44, 230-232.
- Khan A.R. et B.J. Selman. 1987.** Effect of pirimiphos methyl, *Nosema whitei* and pirimiphos-*nosema whitei* doses on the growth of *Tribolium castaneum* adults. *J. Invert. Pathol.* 49, 336-338.
- Khan A.R. et B.J. Selman. 1988.** On the mortality of *Tribolium castaneum* treated sublethally as larvae with pirimiphos methyl, *Nosema whitei* and pirimiphos methyl-N. *whitei* doses. *Entomophaga* 33, 377-380.
- Langström, B. 1983.** Life cycles and shoot-feeding of the pine shoot beetles. *Stud. For. Suec.* 163 : 1-29.
- Lavallée, R., G. Bonneau et C. Coulombe. 1997.** Mechanical and biological control of the white pine weevil. Natural Resources Canada, Laurentian Forestry Centre, Information Leaflet LFC 28.
- Lawrence, R. K., et R. A. Haack. 1995.** Susceptibility of selected species of North American pines to shoot-feeding by an Old World scolytid: *Tomicus piniperda*. Pages 536-546 in F.P. Hain, S.M. Salom, W.F. Ravlin, T.L. Payne and K.F. Raffa (eds.). *Behavior, population dynamics, and control of forest insects. Proceedings of the joint IUFRO Conference for Working Parties s2.07-05 and s2.07-06, 6-11 February 1994, Maui, Hawaii.* Ohio State University Press, Wooster, Ohio.
- Meikle W.G., A.J. Cherry, N. Holst, B. Hounna et R.H. Markam. 2001.** The effects of an entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Hyphomycetes), on *Prostephanus truncatus* (Horn) (Col.: Bostrichidae), *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Col.: Curculionidae), and grain losses in stored maize in the Benin Republic. *J. Invert. Pathol.* 77, 198-205.
- Padin S.B., G.M. Dal Bello et A.L. Vasicek. 1997.** Pathogenicity of *Beauveria bassiana* for adults of *Tribolium castaneum* (Col.: Tenebrionidae) in stored grains. *Entomophaga* 42, 569-574.
- Poland, T.M., R.A. Haack, T.R. Petrice, C.S. Sadof et D.W. Onstad. 2000.** Dispersal of *Tomicus piniperda* (Coleoptera: Scolytidae) from operational and simulated mill yards. *Can. Entomol.* 132 : 853-866.
- Rodríguez C. et D. Pratisoli. 1990.** Patogenicidade de *Beauveria brongniartii*(Sacc.) Petch. e *Metharhizium anisopilae* (Metsch.) Sorok. e seu efeito sobre o gorgulho do milho e caruncho do feijão. *An. Soc. Entomol. Brasil* 19, 301-306.
- Ryall, K. L. et S. M. Smith. 2000.** Brood production and shoot feeding by *Tomicus piniperda* (Coleoptera: Scolytidae). *Can. Entomol.* 132: 939-949.
- Shapiro-Ilan D.I., M. Jackson, C.C. Reilly et M.W. Hotchkiss. 2004.** Effects of combining an entomopathogenic fungi or bacterium with entomogenic nematodes on mortality of *Curculio caryae* (Coleoptera: Curculionidae). *Biol. Control* 30, 119-126.
- Siegert, N. W. et D. G. McCullough. 2001.** Preference of *Tomicus piniperda* (Coleoptera: Scolytidae) parent adults and shoot-feeding progeny adults for three pine species. *Can. Entomol.* 133: 343-353.
- Trudel R., R. Lavallée et É. Bause. 2001.** Oviposition biology of *Pissodes strobi* (Coleoptera: Curculionidae) on white pine (Pinaceae) under laboratory conditions. *Can. Entomol.* 133, 333-341.
- Trudel, R., R. Lavallée, C. Guertin, C. Côté, S.I. Todorova, R. Alfaro et H. Kope. 2007.** Potential of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes : Moniales) for controlling the white pine weevil, *Pissodes strobi* (Col., Curculionidae).
- Ye, H. 1991.** On the bionomy of *Tomicus piniperda* (L.) (Col.: Scolytidae) in the Kunming region of China. *J. Appl. Entomol.* 112: 366-369.





# Lutte biologique préventive contre un pourridié des pins rouges



La lutte biologique préventive avec *Phlebiopsis gigantea*, pour contrer *Heterobasidion annosum* qui cause un pourridié des pins rouges, est en développement. Pour procéder à l'homologation du champignon saprophyte *P. gigantea* dans l'Est canadien, son efficacité en forêt doit être démontrée avec des formulations d'isolats indigènes. Des essais ont eu lieu dans quatre plantations de pins rouges d'Ontario, lors d'éclaircies. Les sites testés ont été sélectionnés dans des aires où la maladie était présente ou des aires adjacentes à des plantations malades. Deux isolats de *P. gigantea* venant d'Ontario et du Québec ont été utilisés. L'isolat ontarien a été formulé au Centre de foresterie des Grands Lacs, tandis que la compagnie Verdera a préparé l'isolat québécois. Dans chacune des plantations, les traitements ont été appliqués au hasard sur 180 souches disséminées dans deux blocs. Après 6 semaines, un disque de 5 cm d'épaisseur a été prélevé pour tenter d'isoler *P. gigantea* et *H. annosum*. Le taux de succès de l'introduction de *P. gigantea* sur les souches de pin rouge a été de 100 % pour les deux isolats. *H. annosum* était présent sur les souches témoins dans les quatre plantations. *H. annosum* n'était pas présent sur les souches traitées avec *P. gigantea*.

## Introduction

Un pourridié est une maladie des racines des plantes ligneuses; chez les graminées, le terme «piétin» désigne ces maladies. Les pourridiés causent des caries de racines et du collet qui se terminent plus ou moins rapidement par la mort de l'arbre. Avant de tuer l'arbre, les pourridiés retardent leur croissance et les rendent vulnérables à d'autres ravageurs. Un renversement des arbres ou une cassure à la base des arbres sont le résultat d'une réduction de la résistance mécanique causée par la carie.

Il existe un grand nombre de pourridiés qui affectent les arbres. Le pourridié-agaric, causé par des espèces d'agaric du genre *Armillaria spp.*, est le plus connu. La carie rouge alvéolaire engendrée par le polypore *Inonotus tomentosus* est un pourridié important chez les épinettes. Un autre polypore, *Heterobasidion annosum*, est responsable de la maladie du rond chez le pin rouge et nous ferons référence à ce dernier dans cette présentation.

Parmi tous les ravageurs forestiers de l'est du Canada, ce sont les pourridiés qui causent les pertes les plus importantes. Selon le rapport ST-X-8 publié par le Service canadien des forêts en 1994, au moins

59 % des pertes causées par les ravageurs forestiers sont attribuables aux maladies. À eux seuls, les pourridiés sont responsables de 34 % de ces pertes, selon des données ontariennes. Ces données colligées de 1982 à 1987 incluent également les pertes causées par l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

## Approche écosystémique de la protection des forêts

En ce qui a trait à la protection des forêts au Québec et même dans l'Est canadien, pour lutter contre les ravageurs, nous avons été habitués à ne considérer que l'attaque directe, comme cela se fait traditionnellement contre les insectes du feuillage. Contrairement à l'attaque directe, l'approche écosystémique est mieux adaptée aux forêts dont la période de récolte n'est pas annuelle, mais échelonnée sur des dizaines d'années. Cette approche favorise l'intégration des moyens de lutte ou

«Parmi tous les ravageurs forestiers de l'est du Canada, ce sont les pourridiés qui causent les pertes les plus importantes.»



de prévention contre les ravageurs forestiers aux interventions sylvicoles.

Un écosystème est une unité écologique formée par le milieu (biotope) et les organismes vivants (biocénose) qui y vivent. Les arbres sont les plus importants végétaux de l'écosystème forestier, mais d'autres êtres vivants en font partie. Parmi la multitude de représentants du monde animal, les microorganismes sont souvent laissés-pour-compte. Pourtant les pourridiés sont causés par des représentants de ces microorganismes.

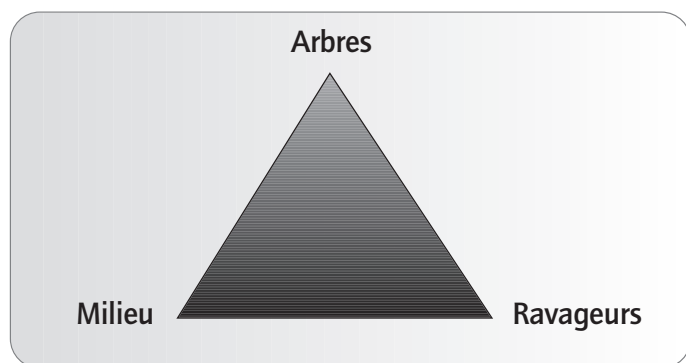


Figure 1: Illustration de l'équilibre que l'on doit conserver dans un écosystème entre les trois groupes de variables interreliés : la végétation incluant les arbres, le milieu (conditions climatiques et édaphiques) et les ravageurs.

Bien qu'un écosystème forestier soit dynamique, il existe un certain équilibre entre ses composantes. Toute intervention peut provoquer un déséquilibre et l'introduction de ravageurs exotiques peut aussi en déclencher. Lorsqu'un champignon pathogène est prépondérant dans un écosystème, il se crée un pathosystème. Afin de conserver un certain équilibre dans ce pathosystème, il faut intervenir de telle sorte que l'ensemble de l'écosystème soit le moins perturbé possible (Figure 1).

Une approche écosystémique de la protection des forêts vise 1) une meilleure utilisation des connaissances sur la biodiversité, 2) une meilleure utilisation des connaissances des pathogènes (ex. : épiphyties), 3) une réduction des coûts associés à la protection des forêts et 4) une augmentation de la qualité du bois. Voici trois exemples de pathosystème pour lesquels l'approche écosystémique est valable.

#### Exemple 1 - Le chancre scléoderrien de race européenne

Le champignon pathogène causant cette maladie est surtout introduit dans les plantations par des semis infectés. La première intervention doit donc se faire dans les pépinières forestières en traitant adéquatement les semis. La surveillance phytosanitaire du ministère des Ressources naturelles du Québec vient renforcer cette mesure préventive. Si la maladie se retrouve malgré tout dans une plantation de pins rouges, située près de nouvelles plantations, il faut éviter qu'elle prenne des proportions épidémiques. Comme la maladie se développe d'abord sur les pousses qui sont dans la neige, il s'agit d'élaguer les branches basses avant que le champignon ne se propage trop haut dans la cime. Le moment le plus propice est déterminé par un relevé quantitatif de la maladie dans la plantation. Le facteur qui risque donc de menacer l'équilibre de ce pathosystème est la quantité de pousses de pins rouges dans la neige; en éliminant ces pousses, on règle le problème.

#### Exemple 2 - La rouille vésiculeuse du pin blanc

Les relations entre les composantes de ce pathosystème sont un peu plus complexes, car, en plus du pin blanc, les gadelliers ont un rôle vital pour le développement de la rouille. C'est essentiellement un taux élevé d'humidité, lorsque les températures sont fraîches à la fin d'août, qui va favoriser la maladie. Chez les jeunes plantations de pins blancs, ces conditions se retrouvent sur les aiguilles à la base des arbres. Ainsi, en élaguant les branches basses, on réduit les possibilités d'infection. Une autre avenue est d'éliminer les gadelliers, mais, d'un point de vue pratique, c'est une intervention difficile, voire impossible à réaliser. Il faut tout au moins éviter de créer des conditions propices à la prolifération des gadelliers sur les sites à reboiser, comme tolérer la présence d'andains.

#### Exemple 3 - La maladie du rond

Lorsque l'on coupe un arbre ou plusieurs arbres dans un peuplement forestier, on perturbe un écosystème. Bien que ce soit un geste banal en soi, la coupe d'un arbre crée une niche écologique qui

«Lorsque l'on coupe un arbre ou plusieurs arbres dans un peuplement forestier, on perturbe un écosystème.»

n'existe pas naturellement : la souche. Celle-ci va se décomposer à la suite de sa colonisation par des microorganismes, la plupart du temps saprophytes, mais parfois pathogènes. Laisser ces souches sans les traiter est comparable à un jeu de hasard et présente des risques. En effet, un champignon pathogène qui colonise une souche infeste habituellement le site forestier pendant des années. Le champignon pathogène *Heterobasidion annosum* qui cause la maladie du rond en est un bon exemple.

*H. annosum* est un polypore qui colonise les souches de pin rouge fraîchement coupées. Si *H. annosum* colonise une souche après une éclaircie, il s'y installe pour des décennies. Il s'étend dans les racines et s'attaque aux systèmes racinaires des pins voisins. Moins de 10 ans après la colonisation d'une souche, les arbres voisins commencent à mourir et la maladie semble progresser de manière circulaire d'où son nom. L'éradication mécanique des souches infectées est possible sur de petites superficies, mais cette opération est dispendieuse et perturbe passablement le site. La prévention de la maladie est la meilleure avenue.

#### Approche écosystémique appliquée à la maladie du rond

Comme la maladie a été étudiée par les Européens bien avant nous, son comportement est assez bien connu. Il faut éviter que *H. annosum* ne s'installe sur les souches fraîchement coupées, sinon il s'y installera pour longtemps. Il convient donc d'occuper la niche écologique qu'est la souche fraîchement coupée avant le champignon pathogène et de décomposer cette souche afin qu'elle ne serve pas de nutriments au *H. annosum* qui pourrait être déjà sur le site. Pour ce faire, nous utilisons le champignon saprophyte *Phlebiopsis gigantea*. Ce dernier, très commun dans nos forêts, colonise très rapidement le pin rouge fraîchement coupé. Il suffit de couper une bille de pin rouge et de la laisser quelques semaines sur le sol. *P. gigantea* va fructifier et coloniser ces billes. Par la suite, le processus de carie se poursuit



entraînant un cortège d'autres champignons saprophytes. Cette matière organique retourne rapidement dans le sol, ne laissant aucun nutriment pour le champignon pathogène *H. annosum*.

## Test d'efficacité de *Phlebiopsis gigantea*

Pour utiliser un microorganisme comme agent de lutte biologique, il faut homologuer cet organisme auprès de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) de Santé Canada. Parmi la série de tests auxquels doit être soumis le produit, le test d'efficacité du produit est exigé au Canada seulement. Pour satisfaire cette exigence, nous avons procédé à un test d'efficacité contre une infection de *H. annosum* en conditions réelles avec deux isolats de *P. gigantea*, l'un provenant d'Ontario et l'autre du Québec.

Ainsi, en 2005, nous avons sélectionné quatre plantations ontariennes dans les comtés de York, de Simcoe et de Dufferin; la maladie était présente dans chaque plantation ou à proximité. Quelques minutes après l'abattage des arbres, nous avons appliqué, sur chacune des souches, l'un des 5 traitements suivants : le *P.gigantea* GLFC d'Ontario formulé par le Centre de foresterie des Grands Lacs, le *P.gigantea* 92-104 du Québec formulé par la compagnie Verdera de Finlande, deux formulations sans *P.gigantea* et enfin un traitement à l'eau qui correspondait au traitement témoin. Nous avons répété ces traitements 15 fois dans chacun des deux blocs des quatre plantations. Un disque de 5 cm d'épaisseur a été prélevé sur la souche après 6 semaines, ce qui représente un total de 600 rondelles. On a isolé les microorganismes en laboratoire pour vérifier la présence de *P. gigantea*, puis les disques ont été soumis à l'humidité pour vérifier la présence de *H. annosum*.

Toutes les souches traitées avec l'un ou l'autre des isolats de *P. gigantea* ont été colonisées par ce champignon et aucun *H. annosum* n'a été observé sur ces rondelles. Les formulations sans *P. gigantea* n'ont pas inhibé la croissance de *P. gigantea* et de *H. annosum*. Enfin, *H. annosum* était présent sur des souches témoins dans les quatre plantations.

## Conclusion

L'approche écosystémique est une approche douce d'intervention pour la protection de la forêt. Deux tests avec des isolats de *P. gigantea* ont montré que ce champignon saprophyte est un agent efficace de prévention contre la maladie du rond causée par *H. annosum*.

«L'approche écosystémique est une approche douce d'intervention pour la protection de la forêt.»

Il reste de nombreux obstacles à surmonter en faveur d'une utilisation accrue de produits biologiques pour la protection des forêts. Si, par exemple, nous avons trouvé la maladie du

rond au Québec en 1989, nos recherches n'ont été subventionnées qu'en 2004; il semble donc que les priorités sont ailleurs. De plus, l'homologation d'un produit biologique est très coûteuse; un produit comme *P. gigantea*, utilisé en très petites quantités et commercialisé dans un si petit marché, a peu de chance d'atteindre les tablettes des marchands. Les coûts de production liés aux tests exigés par l'ARLA risquent d'éliminer des produits hautement efficaces, mais

économiquement peu ou pas rentables. Enfin, pour mélanger quotidiennement quelques grammes du produit biologique à l'eau, les opérateurs de machinerie forestière devront sans doute suivre des cours et se soumettre aux examens exigés par Environnement Québec régissant l'utilisation de tous les produits en forêt.

En bref, le produit *P. gigantea* est efficace. Après plus de 50 ans d'usage en Grande-Bretagne, il a fait la preuve qu'il était très sécuritaire pour les humains et pour l'environnement. Les principaux obstacles liés à la mise en marché de ce genre de produit sont les réglementations. Elles découlent bien souvent d'un usage antérieur parfois abusif de produits chimiques et elles pénalisent l'usage de produits biologiques efficaces, à faible risque ou même bénéfiques pour l'environnement.

## Remerciements

Nous remercions le Service canadien des forêts (SCF) qui a financé cette étude par son Programme de recherche sur l'amélioration de la lutte contre les ravageurs et tous ceux qui ont participé au test d'efficacité :

Gilles Bélanger, Julie Dubé, Chantal Côté, Martine Blais de Ressources naturelles Canada SCF-CFL

Guy Bussièrès de l'Université Laval

Nick.W. Boyonoski et F. Solamino, du Centre de foresterie des Grands Lacs

### Les forestiers professionnels :

Bob Hutchison et Graeme Davis du comté de Simcoe ;

Caroline Mach du comté de Dufferin.

Les entreprises James Lane,

Ian Buchanan,

Ben Hokum and Son Ltd.,

Miller Lumber Ltd.,

Breen's Lumber & Planning Mills, Ritchie Robt. Forest Products et Verdera Inc., Finland.





# Utilisation de phéromones sexuelles pour le contrôle des insectes nuisibles dans les vergers à graines au Québec

Les insectes des cônes constituent une menace pour la rentabilité des vergers à graines. Comme ils sont établis en grande partie en milieu forestier, l'utilisation de pesticides chimiques y est interdite. Par contre, l'utilisation de phéromones a prouvé son efficacité pour le contrôle des populations de ravageurs dans les vergers fruitiers. Cette pratique a donc été testée contre la tordeuse des graines de l'épinette, le scolyte des cônes du pin blanc et la pyrale des cônes du sapin.

## Introduction

Les vergers à graines sont à la base du processus sylvicole qui a pour but de favoriser le reboisement au Québec. Ils sont le résultat de programmes de recherche à long terme, qui ont nécessité la sélection d'arbres pour produire des semences d'essences forestières génétiquement améliorées. Malheureusement, les cônes représentent un substrat nutritionnel de haute qualité pour les insectes ravageurs (Seifert et al., 2000). Ils constituent une bonne source d'acides aminés, de protéines, de glucides et de lipides (Mercier 1991; Veilleux et Mercier, 1994). Afin de maximiser la productivité des vergers à graines, l'élaboration de stratégies permettant de maintenir les populations d'insectes ravageurs des cônes et des graines à des niveaux acceptables est essentielle (Fogal et al., 1993).

La tordeuse des graines de l'épinette, *Cydia strobilella* (L.), est un des plus importants ravageurs des vergers à graines d'épinettes en Amérique du Nord (Hedlin et al., 1980; Turgeon et de Groot, 1992) et en Europe (Skrzypczyfska et al., 1998; Seifert et al., 2000). La période de vol de ce lépidoptère est étroitement synchronisée avec la phénologie du débourrement des cônes. Dans l'est du Canada, les femelles pondent leurs œufs entre les écailles des cônes femelles durant la première semaine de mai. Après l'éclosion, les jeunes larves se creusent une galerie entre les écailles, pénètrent dans les graines et en consomment le contenu, les laissant remplies de leurs excréments. Ce ravageur peut détruire jusqu'à 70 % d'une production de cônes sans laisser aucune évidence externe de dommage (Turgeon et de Groot, 1992).

Le scolyte des cônes du pin blanc, *Conophthorus coniperda*, est un coléoptère que l'on retrouve à la grandeur de l'aire de distribution du

pin blanc (Martineau, 1985). Cet insecte passe l'hiver au stade adulte et se reproduit au début du printemps, une fois le couvert de neige disparu (Morgan & Mailu, 1976). Après l'accouplement, les femelles *C. coniperda* perforent le cône à l'assise du pédoncule et creusent des galeries à l'intérieur de ce dernier pour y déposer leurs œufs. C'est la perforation du cône à l'endroit mentionné qui endommage le cône irréversiblement puisque, à partir de ce moment, il devient impossible pour la sève de circuler dans le cône. À la suite de l'attaque des femelles, les cônes cessent de se développer, occasionnant ainsi la perte de 100 % des graines (Turgeon et de Groot, 1992). Vu l'absence de méthodes de lutte pour contrôler les populations de scolyte des cônes du pin blanc, il est très difficile de préserver le rendement en semences améliorées des vergers à graines de pins blancs.

La pyrale des cônes du sapin, *Dioryctria abietivorella* (Grote), est un insecte qui occasionne des problèmes récurrents dans les vergers à graines. L'hôte préféré de cet insecte est l'épinette blanche (Trudel et al., 1999a), mais on le retrouve aussi sur l'épinette noire, le sapin beaumier, le pin blanc, le pin gris et différentes espèces de mélèzes (Hedlin et al., 1980; Turgeon, 1994). En l'absence de fleurs, cet insecte peut consommer des aiguilles et la partie interne de l'écorce (Hedlin et al., 1980; Ruth, 1980; Martineau, 1985; Trudel et al., 1999a). Pendant les bonnes années de production florale, plus de la moitié des cônes produits peuvent être endommagés par cet insecte (MFO, 1991). Durant les périodes épidémiques, cet insecte peut complètement détruire les cônes des arbres d'une localité donnée, spécialement durant les années de faible floraison (Ruth, 1980).

Les pertes de semences génétiquement améliorées occasionnées par les attaques de ces ravageurs des cônes font en sorte qu'il est difficile d'accumuler des réserves de graines destinées à la production de plants



à rendement accru. Parmi les solutions envisagées, nous avons décidé de tester l'utilisation de phéromones sexuelles comme outil de lutte dans les vergers à graines. À cette fin, nous voulons utiliser les phéromones sexuelles comme agent de confusion reproductive, communément appelé en anglais *mating disruption*. Pour favoriser une augmentation du rendement en semences viables dans les vergers à graines, il faut empêcher les femelles de pondre des œufs féconds et ainsi limiter le nombre de larves dans les cônes.

## Projets de recherche

### A. Tordeuse des graines de l'épinette (TGE)

La première étape de ce projet était de valider l'efficacité de la phéromone sexuelle de la tordeuse des graines de l'épinette, qui avait été identifiée et synthétisée par Grant et al. (1989). Le pouvoir attractif de cette phéromone synthétique (E8-12:Ac) s'était révélé effectif sur des populations de TGE de Colombie-Britannique, d'Ontario et de Terre-Neuve. Des essais ont donc eu lieu au Québec afin de s'assurer de l'efficacité de cette phéromone. Ces études ont eu lieu dans les vergers à graines d'épinettes blanches de Wendover et de Verchères. Dans ces vergers, des résultats positifs ont aussi été obtenus puisque des quantités importantes de mâles de TGE ont été capturées à l'aide de cette phéromone (3 µg/septa) tandis que les pièges témoins installés sur l'arbre voisin de chacun des pièges appâtés n'ont fait aucune prise (Tableau 1).

| Rep         | Wendover     |          | Verchères   |          |
|-------------|--------------|----------|-------------|----------|
|             | Phéro.       | Témoin   | Phéro.      | Témoin   |
| 1           | 136          | 0        | 49          | 0        |
| 2           | 132          | 0        | 24          | 0        |
| 3           | 65           | 0        | 33          | 0        |
| 4           | 104          | 0        | 42          | 0        |
| 5           | 128          | 0        | 63          | 0        |
| 6           | 249          | 0        | 56          | 0        |
| <b>Moy.</b> | <b>135,7</b> | <b>0</b> | <b>44,5</b> | <b>0</b> |

Tableau 1: Relevés des captures des pièges à phéromone (3 µg/septa) pour la TGE

La prochaine étape de ce projet consistait à évaluer le pouvoir de la confusion reproductive sur cette espèce. Des doses de E8-12:Ac, de 1.5 mg/septa à Wendover et de 0.75 mg/septa à Verchères ont été utilisées sur le tiers des vergers à une densité de 40 septa/ha. Pour valider l'impact de l'émission massive de phéromones sur la perturbation de la communication entre mâles et femelles, quatre pièges à détection contenant 3 µg de E8-12:Ac par septa ont été placés dans chacune des zones traitées et des zones témoins. Il a ainsi été possible de démontrer le potentiel de la confusion reproductive comme agent perturbateur de la communication durant la période d'accouplement de la TGE (Figure 1).

La dernière étape du projet consistait à vérifier l'impact de la confusion reproductive sur la protection des cônes de l'épinette blanche. L'expérience s'est déroulée pendant deux années consécutives, uniquement au verger de Wendover parce que les populations de tordeuses y sont plus élevées. Encore une fois, seulement le tiers du

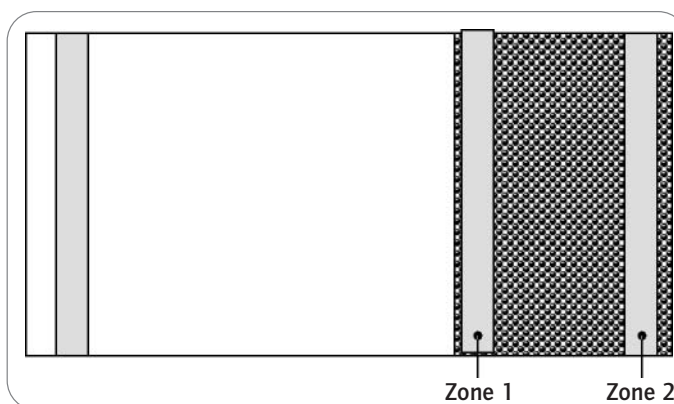


Figure 1 : Relevés de capture de TGE par les pièges à phéromones (3 µg/septa) installés dans les zones traitées par confusion reproductive (CR) et les zones témoins.

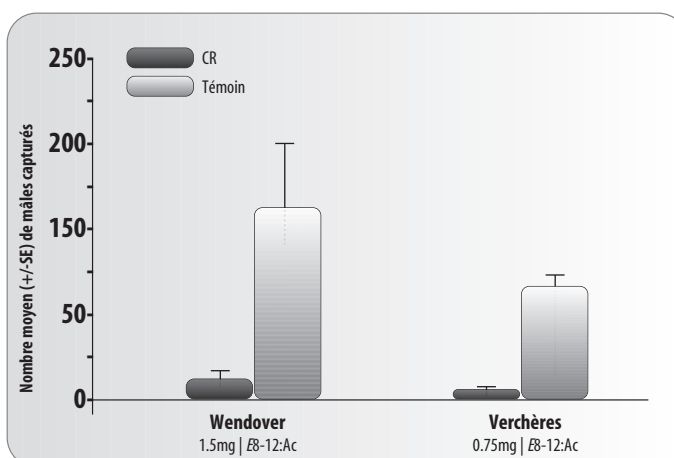


Figure 2 : Dispositif expérimental de l'expérience sur l'évaluation du degré de protection en fonction des zones traitées par confusion reproductive et des zones témoin.

verger a été traité. Des zones d'échantillonnage de cônes ont été délimitées (Figure 2). Il y avait deux zones d'échantillonnage (barres grises) dans la zone traitée (zone en quadrillé gris), une près de la zone témoin (0 à 15 m – zone 1) et une autre près de la limite du verger à graines (85 à 100 m – zone 2). De plus une dernière zone d'échantillonnage a été établie à l'autre extrémité du verger dans la zone témoin.

Pour l'analyse, 20 cônes par arbre ont été récoltés sur 20 arbres, dans chaque zone d'échantillonnage. Au cours des deux années de l'étude, une diminution significative de cônes endommagés par la TGE a été observée, spécialement dans la zone 2 (85 à 100 m) (Figure 3). Ces résultats permettent donc d'identifier un outil de lutte potentiel pour limiter les dommages occasionnés par la TGE (Trudel et al., 2006).

### B. Scolyte des cônes du pin blanc (SCPB)

L'existence d'une phéromone produite par la femelle de SCPB a été démontrée par de Groot et al. (1991), et ses composés principaux furent identifiés comme étant le (+)-trans-pityol, (2R,S)-(+)-2-(1-hydroxy - 1 - méthylethyl) - 5 - méthyltetrahydrofuran (Birgersson et al., 1995), communément appelés pityol. Aucune expérience sur l'efficacité de la confusion reproductive contre un insecte de l'ordre des Coléoptères n'avait été réalisée. La documentation scientifique a donc fourni très peu de données qui ont pu servir à concevoir cette expérience. Le dispositif expérimental a été établi dans le verger à graines de pins





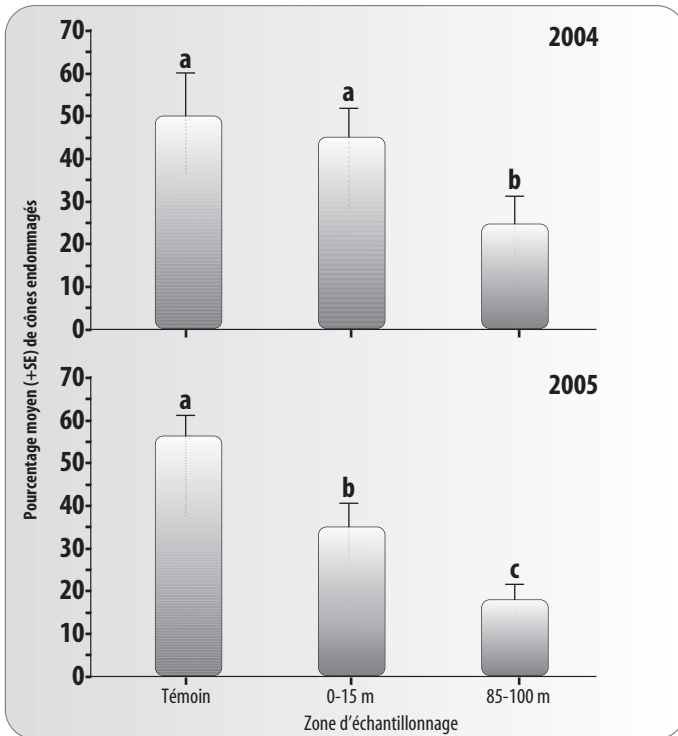


Figure 3 : Évaluation du pourcentage de cônes endommagés par la TGE dans les zones traitées par confusion reproductive et dans les zones témoins (2004-2005).

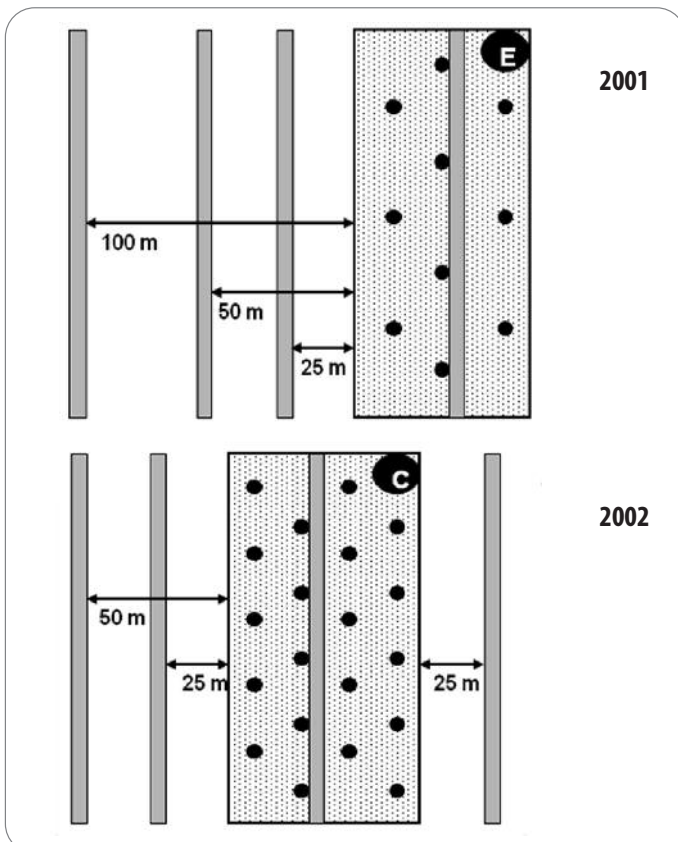


Figure 4 : Dispositifs expérimentaux de l'expérience de confusion reproductive contre le SCPB dans le verger à graines de pins blancs de Verchères (cercles noirs : capsules de pityol; bandes grises : zones d'échantillonnage de cônes).

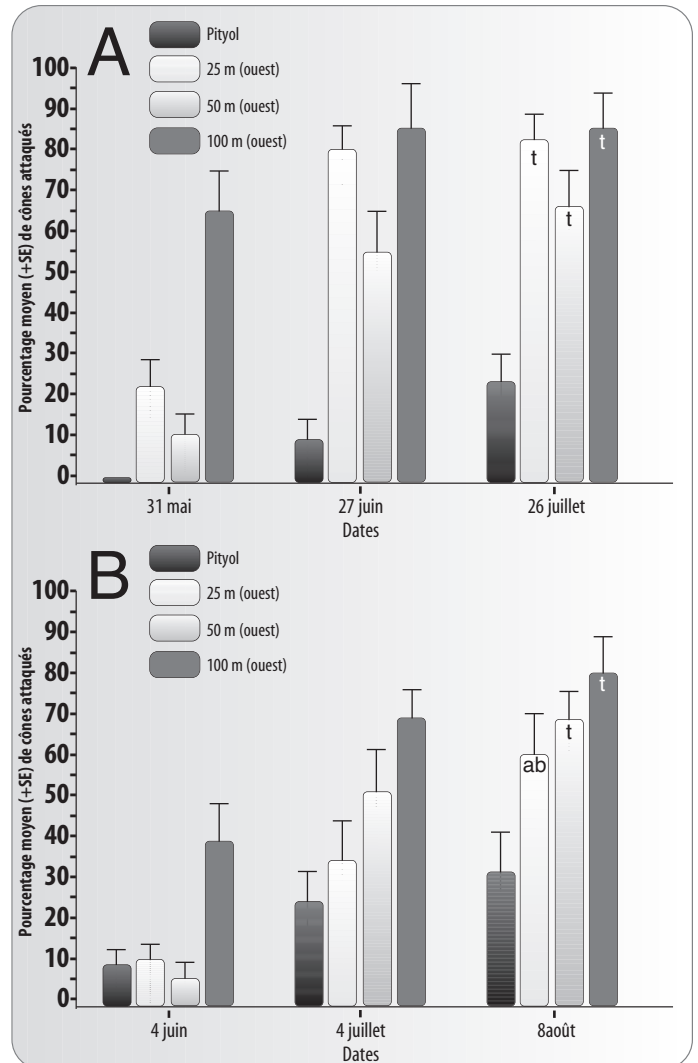


Figure 5 : Évaluation du pourcentage moyen de cônes endommagés par le scolyte des cônes du pin blanc dans des blocs traités avec le procédé de confusion reproductive à des intervalles de un mois et des blocs non traités (A, en 2001; B, en 2002).

blancs de Verchères, où un tiers du verger a été traité par confusion reproductive à l'aide de 10 capsules de pityol réparties uniformément dans le bloc est (2001-E) (Figure 4). L'expérience a été répétée l'année suivante alors que le bloc central (2002-C) avait été traité à l'aide de 20 capsules de pityol (Figure 4).

En 2002, une plus grande quantité de capsules de phéromone a été utilisée puisque le bloc central présentait une densité plus élevée de population. Il y avait des secteurs d'échantillonnage dans la zone traitée ainsi qu'à différents endroits situés à des distances variables de la zone traitée (Figure 4).

L'application du traitement de confusion reproductive à l'aide des capsules de pityol a permis une réduction significative du pourcentage de cônes atteints par le SCPB au cours des deux années de l'expérience (Figure 5). Pour la première fois, la démonstration était faite qu'il était possible de contrôler les dommages d'un insecte de l'ordre des coléoptères à l'aide de la confusion reproductive (Trudel et al., 2004).



### C. *Pyrale des cônes du sapin (PCS)*

Pour la PCS, les travaux de recherche réalisés jusqu'à présent n'ont pas permis d'identifier la composition chimique optimale de la phéromone sexuelle. Par contre, les études en cours témoignent d'avancées intéressantes permettant de croire que la formule chimique finale ne devrait pas tarder. Une étude faite en collaboration avec les docteurs Gary Grant du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada et Jocelyn Millar de l'Université de Californie cherchait à tester le pouvoir attractif de différentes formulations de phéromone sexuelle sur des populations de PCS mâles. Le volet québécois de cette étude a été réalisé dans le verger à graines d'épinettes blanches de la pépinière de Sainte-Luce, où l'effet de quatre mélanges de phéromones et d'un témoin a été comparé pendant une période de six semaines. Chaque traitement a été répété cinq fois dans chaque bloc et les diffuseurs de phéromones (septa) ont été remplacés après trois semaines. Au moment du remplacement, le dénombrement des mâles de PCS capturés était fait en fonction des différents traitements. Lors de la première année de l'expérimentation, l'installation des pièges à phéromone a eu lieu tardivement, à cause d'un délai dans la préparation des leurres. Par contre, l'année suivante, les pièges ont été installés à la mi-juin, ce qui correspond davantage à la période de vol de ce lépidoptère (Trudel et al., 1999b).

Les résultats obtenus au cours des deux années nous permettent de constater que le mélange DA-4 a le meilleur pouvoir attractif sur les mâles de PCS (Figure 6). En 2005, très peu de papillons de PCS ont été capturés puisque le mois d'août correspond davantage à l'apparition des dommages causés par ce ravageur et à la fin de la période de vol des adultes.

En 2006, il a été plus facile de comparer l'efficacité des différents mélanges étant donné le nombre plus élevé de captures. Les résultats

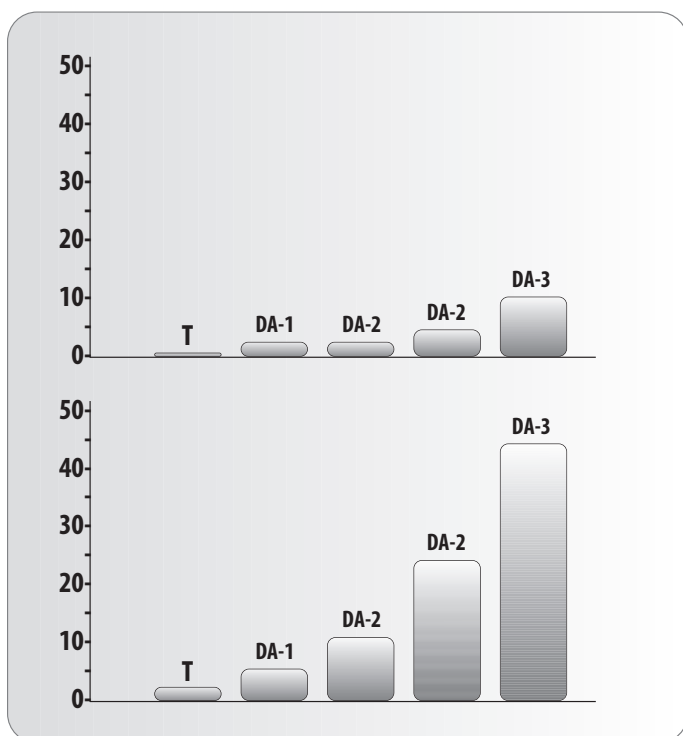


Figure 6 : Nombre cumulé de mâles de PCS capturés pendant la période de piégeage en fonction des différents mélanges de phéromone utilisés et du témoin. (DA, *Dioryctria abietivorella*).

obtenus au Québec sont passablement inférieurs à ceux obtenus dans l'Ouest canadien et américain. D'autres travaux sont prévus afin poursuivre l'identification de la phéromone sexuelle de la PCS et peut-être de sa sous-espèce dans l'est de l'Amérique du Nord.

### Conclusion

Ces projets de recherche ont démontré que l'usage des phéromones sexuelles constitue un outil très performant pour la lutte contre les insectes des cônes et pour leur dépistage. Dans le cas des ravageurs des cônes, où les insectes ont un mode de vie cryptique durant leur développement immature, cette alternative à la lutte chimique constitue la méthode idéale. De plus, l'usage de phéromones s'avère très respectueux de l'environnement puisqu'il ne nécessite aucune application de pesticide. Malgré tout, il sera nécessaire de faire homologuer cet outil de contrôle biologique pour en faire usage à grande échelle.

### Références

**Birgersson, G.; DeBarr, G.L.; de Groot, P.; Dalusky, M. J.; Pierce, H. D. Jr; Borden, J. H.; Meyer, H.; Francke, W.; Espelie, K.; Berisford, C. W., 1995:** *Pheromones in white pine cone beetle Conophthorus coniperda (Schwarz) (Coleoptera: Scolytidae)*. *J. Chem. Ecol.* **21**, 143-167.

**de Groot, P.; DeBarr, G. L.; Birgersson, G. O.; Pierce, H. D.; Borden, J. H.; Berisford, Y. C.; Berisford, C. W., 1991:** *Evidence for a female-produced pheromone in the white pine cone beetle, Conophthorus coniperda (Schwarz), and in the red pine cone beetle, C. resinosae Hopkins (Coleoptera: Scolytidae)*. *Can. Ent.* **123**, 1057-1064.

**Grant, G. G.; Fogal, W. H.; West, J. R.; Slessor, K. N.; Miller, G. E., 1989:** *A sex attractant for the spruce seed moth, Cydia strobilella L., and the effect of lure dosage and trap height on capture of male moths*. *Can. Ent.* **121**, 691-697.

**Hedlin, A. F.; Merkel, E. P.; Tovar, C. D.; Koerber, T. W.; Yates III, H. O.; Ebel, B. H., 1980:** *Cone and seed insects of North America conifers*, pp 78-80. Canadian Forest Service, Ottawa, Ontario; USDA-Forest Service, Washington, D.C.; and Secr. Agric. Recursos.

**Martineau, R., 1985:** *Les insectes nuisibles des forêts de l'est du Canada*. Éd. Marcel Broquet Inc. Min. des App. et Serv. Can. No. 2-89000-141-5. 283 p.

**Mercier, S., 1991:** *Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche*. N° 103. Sainte-Foy, Québec : Gouv. du Québec, Dir. de la recherche.

**MFO, 1991:** *Insectes et maladies des arbres*. Québec 1990, Gouvernement du Québec 91-3020. Suppl. For. Conserv. 57, 35 p.

**Morgan, F. D.; Mailu, M., 1976:** *Behavior and generation dynamics of the white pine cone beetle Conophthorus coniperda (Schwarz) in Central Wisconsin*. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* **69**, 863-871

**Ruth, D. S., 1980:** *A guide to insect pests and diseases in spruce seed orchards in British Columbia*, pp 8-9. Pacific For. Res. Centre, Victoria, B. C., Inf. rep. BC-X-231.

**Seifert, M.; Wermelinger, B.; Schneider, D., 2000:** *The effect of spruce cone insects on seed production in Switzerland*. *J. Appl. Ent.* **124**, 269-278.



**Skrzypczynska, M.; Koziol, M.; Kosibowicz, M., 1998:** Pheromone trapping of the spruce seed moth *Cydia strobilella* L. (Lep., Tortricidae) in southern Poland in 1996-1997. *J. Pest Sci.* **71**, 96-99.

**Trudel, R.; Bauce, E.; Cabana, J.; Guertin, C., 1999a:** Performance of the fir coneworm, *Dioryctria abietivorella* (Grote) as affected by host species and presence or absence of seed cones. *Agric. Forest Entomol.* **1**, 189-194.

**Trudel, R.; Bauce, E.; Cabana, J.; Guertin, C., 1999b:** Diapause induction and overwintering stage in the fir coneworm (Lepidoptera: Pyralidae). *Can. Ent.* **131**, 779-786.

**Trudel, R.; Guertin, C.; de Groot, P., 2004:** Use of pityol to reduce damage by the white pine cone beetle, *Conophthorus coniperda* (Coleoptera: Scolytidae) in seed orchards. *J. Appl. Ent.* **15**, 534-540.

**Trudel, R.; Guertin, C.; Grant, G G., 2006:** Potential for mating disruption to reduce cone damage by the spruce seed moth, *Cydia strobilella*, in spruce seed orchards. *J. App. Ent.* **130**, 245-250.

**Turgeon, J. J., 1994:** Insects exploiting seed cones of *Larix* spp., *Picea* spp. and *Pinus* spp.: species richness and patterns of exploitation, pp 15-30. In J. J. Turgeon & P. de Groot [eds.], *Biology, damage and management of seed orchard pests*. F.P.M.I. Can. For. Serv., Sault Ste-Marie, Ontario.

**Turgeon, J. J.; de Groot, P., 1992:** Management of insect pests of cones in seed orchards in eastern Canada, pp.14,19,22,57. *Natural Resources Canada, Canadian Forestry Service, F.P.M.I., Sault Ste-Marie, Ontario, Canada*, 98 p.

**Veilleux, L.; Mercier, S., 1994:** Maturation des graines de l'épinette blanche à partir du suivi systématique de 16 acides aminés libres. *N° 61. Biblio. Nat. Qué. edn, Québec : Gouv. du Québec.*

<sup>1</sup> **Nouvelle adresse:** Dr Richard Trudel, SOPFIM, 1780, rue Semple, Québec, Qc, G1N 4B8, courriel : r.trudel@sopfim.qc.ca





# Identification de méthodes de lutte potentielles contre les principaux ravageurs dans les pépinières forestières au Québec



Les activités liées à la régénération artificielle de nos forêts occupent une place importante dans les économies de nombreuses régions du Québec. C'est pourquoi le gouvernement du Québec lançait en 1983 un programme de reboisement ambitieux. Actuellement, plus de 130 millions de plants forestiers sont produits chaque année dans six pépinières publiques et 19 pépinières privées au Québec. Le matériel produit dans ces pépinières est utilisé dans le reboisement de 15 à 20 % des superficies coupées qui ont de la difficulté à se régénérer naturellement. L'augmentation significative du rendement de nos forêts au moyen du reboisement exige la mise en terre de plants de haute qualité. Ces derniers doivent répondre aux critères de qualification morphologique et physiologique très stricts établis par le ministère des

Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF). Les plants destinés aux aires de reboisement doivent satisfaire ces critères si l'on veut qu'ils aient un bon taux de survie et une croissance optimale.

Malheureusement, plus d'une dizaine d'espèces d'insectes ravageurs occasionnent des dommages importants aux plants de différentes essences en pépinière (MRNF, 1997). Ces dommages font en sorte que plusieurs plants ne peuvent être certifiés pour le reboisement, malgré les investissements qu'ils auront nécessités depuis le traitement des semences jusqu'à leur production.

Parmi ces ravageurs, on retrouve de façon généralisée dans la plupart des pépinières du Québec la punaise terne *Lygus lineolaris* (P. de B.) (Miridae), le charançon de la racine du fraisier *Otiorhynchus ovatus* (L.) (Chrysomelidae) et le scarabée japonais *Popillia japonica* (Newman). Depuis 2000, la punaise a été retrouvée dans les inspections de certification de plus de 20 des 37 pépinières du Québec. En 2002, 289 lots (25 % des lots échantillonnés) ont été endommagés par la punaise terne. Entre 2000 et 2003, le charançon de la racine du fraisier a été retrouvé en moyenne dans neuf pépinières et, au cours de la saison 2003, le nombre de lots endommagés était de 119 (10,5 % des lots échantillonnés) (DCF, 2000; 2001; 2002; 2003).

En plus de ces ravageurs, on note la présence de plus en plus fréquente du scarabée japonais dans différentes pépinières. Ces insectes occasionnent des pertes directes en endommageant les plants et entraînent des pertes indirectes liées à l'obligation des producteurs de trier et de traiter leur semis avec des insecticides chimiques (DCF, 2000). Les essences affectées par ces insectes sont nombreuses. En voici quelques-unes : les épinettes blanches, noires et de Norvège, les mélèzes hybrides, japonais, européens et laricins, les pins gris et rouges, les sapins baumiers et Fraser, les peupliers hybrides et le thuya occidental. Depuis quelques années, des phénomènes de résistance sont observés à la suite de l'utilisation des pesticides chimiques courants (organophosphorés) contre ces principaux ravageurs. Le but de cette présentation est de faire connaître différentes approches qui, si elles donnent des résultats concluants, devraient conduire à la mise au point d'outils de lutte plus respectueux de l'environnement.



## Charançon de la racine du fraisier



Figure 1 : Adulte du charançon de la racine du fraisier, *Otiorhynchus ovatus*. Ce comportement complexifie la détection.

Actuellement, le charançon de la racine du fraisier, *Otiorhynchus ovatus*, est un ravageur commun dans les pépinières (figure 1). Cet insecte s'attaque à différents hôtes notamment les épinettes blanches, les épinettes noires et les épinettes de Norvège ainsi qu'aux pins gris, aux mélèzes et aux bouleaux jaunes cultivés en récipients et à racines nues. Cependant, c'est dans les productions à racines nues que l'on retrouve les plus importants dommages. Les adultes sont actifs la nuit et le jour, ils se cachent à la base des plants où sous des abris naturels (pierres, branches). Ce comportement

Les dommages causés par le charançon sont liés à son comportement alimentaire. Ainsi, pour s'alimenter, l'adulte pratique des entailles dans les contours des aiguilles et il peut ronger le collet de la tige des semis d'un an. Pour leur part, les larves s'alimentent des radicelles des plants pour ensuite s'attaquer au cortex de la racine principale ce qui entraîne le dépérissement des plants.

Actuellement, seules les pulvérisations chimiques sont préconisées pour lutter contre cet insecte. Cependant, leur efficacité contre les larves demeure limitée. C'est dans ce contexte que nos travaux se situent. Ils visent à évaluer le potentiel du champignon *Beauveria bassiana* contre les deux stades de développement de l'insecte et d'établir une stratégie de lutte basée sur son emploi. À cette fin, une recherche en deux volets a été entreprise. Le premier volet cherche à déterminer les conditions permettant de maintenir une colonie d'insectes en laboratoire. Cette étape est importante, puisqu'elle permettrait d'élargir la portée de la recherche sur cet insecte tant du point de vue biologique que sous l'angle de ses interactions avec les plantes hôtes et avec différents entomopathogènes. Le deuxième volet porte davantage sur le criblage de différents isolats de *B. bassiana* dans l'optique d'identifier les souches ayant un potentiel accru.

En collaboration avec l'équipe du Dr Robert Lavallée du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada, différentes stratégies pour maintenir une population de charançon en laboratoire sont actuellement évaluées. Il a été ainsi possible de maintenir des insectes récoltés sur le terrain en les plaçant dans des contenants de plastique avec 15 cm de sol, dans lesquels des semis d'épinettes blanches étaient plantés à la verticale, espacés de 10 à 15 cm et repiqués de façon régulière. Le taux d'humidité élevé du sol prévenait la dessiccation des plants et les contenants étaient maintenus à la température ambiante. Le choix des épinettes est basé sur une expérience préliminaire qui démontrait une capacité plus importante de ponte des femelles sur ces dernières que sur des plants de fraises (figure 2). Plus de 18 000 œufs de charançon ont été obtenus de la sorte lors de la première année. À l'émergence des insectes, les larves ont été séparées et maintenues dans différentes conditions environnementales afin d'établir les paramètres permettant leur entrée en diapause. Ainsi, en soumettant les larves à une baisse graduelle de la

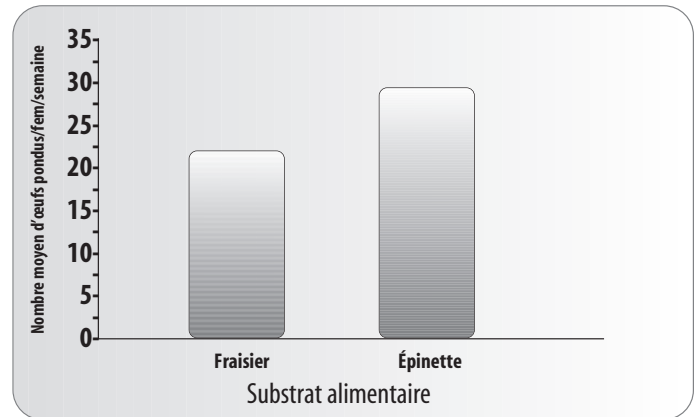


Figure 2 : Capacité de ponte du charançon de la racine du fraisier, *Otiorhynchus ovatus*, en fonction du substrat.

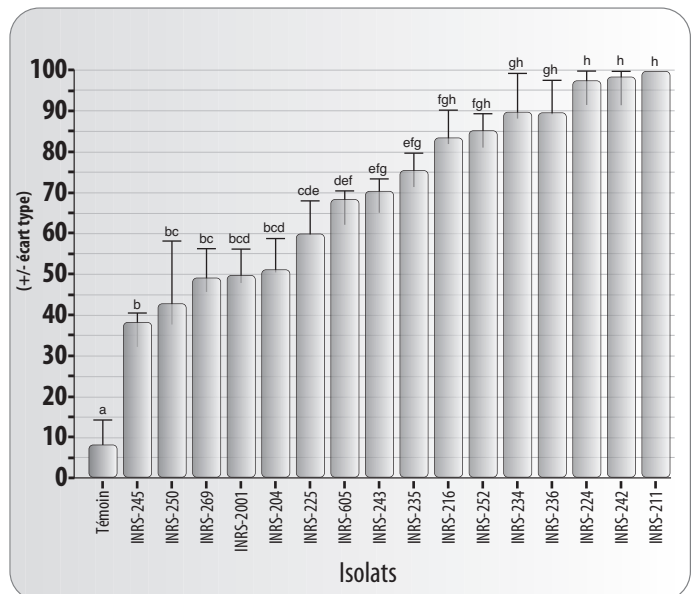


Figure 3 : Criblage de différents isolats de *Beauveria bassiana* contre les adultes du charançon de la racine du fraisier, *Otiorhynchus ovatus*.

température, puis en la maintenant entre 2 et -5°C durant une période de 2 mois, avant de la rehausser graduellement la température jusqu'à 20 à 25°C pendant la poursuite de leur développement, il a été possible d'obtenir quelques adultes. Cependant, la technique devra être raffinée afin d'accroître le nombre d'insectes.

Parallèlement, des expériences ont été menées afin de déterminer la vulnérabilité des adultes du charançon de la racine du fraisier à différents isolats de *B. bassiana* (figure 3). Les résultats montrent une vulnérabilité importante des adultes du charançon à plusieurs isolats,

| Réponse (conidies/ml) | Valeur                 | Intervalles de confiance (95%) |                        |
|-----------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|
|                       |                        | Inférieure                     | Supérieure             |
| CL <sub>50</sub>      | 9,9 x 10 <sup>7</sup>  | 1,2 x 10 <sup>7</sup>          | 8,2 x 10 <sup>8</sup>  |
| CL <sub>90</sub>      | 2,8 x 10 <sup>12</sup> | 1,1 x 10 <sup>11</sup>         | 3,4 x 10 <sup>14</sup> |

Tableau 1 : Concentration létale (CL<sub>50</sub> et CL<sub>90</sub>) des adultes du charançon de la racine du fraisier, *Otiorhynchus ovatus*, soumis à l'isolat INRS-211 de *Beauveria bassiana*.



notamment INRS-224, INRS-242 et INRS-211. De plus, des concentrations létales pour ce dernier isolat ont été estimées à  $9,9 \times 10^7$  conidies/ml pour la CL50 et à  $2,8 \times 10^{12}$  conidies/ml pour la CL90 (tableau 1). Sur la base de ces premiers résultats, des essais sur le terrain sont envisagés afin de déterminer si cet isolat peut réduire de façon significative les dommages observés dans les différentes pépinières forestières du Québec.

### Punaise terne

La punaise terne, *Lygus lineolaris*, est l'hémiptère nuisible le plus répandu en Amérique du Nord (figure 4). Elle compte deux générations complètes et une génération partielle par année (Cermak et Walker, 1992). Les punaises du genre *Lygus* attaquent plus de 50 cultures et affectent les productions agricoles et horticoles. Pour sa part, la punaise terne peut affecter plus de 350 espèces de plantes. Cet insecte arrive au troisième rang des insectes qui requièrent l'usage d'insecticides chimiques au Québec avec 10,6 % de la matière active utilisée. Il est précédé par le doryphore de la pomme de terre (18,9 %) et la mouche de la pomme (10,7 %) (Chagnon et al., 1990). Les dommages qu'il cause aux plantes sont le fait des nymphes et des adultes.

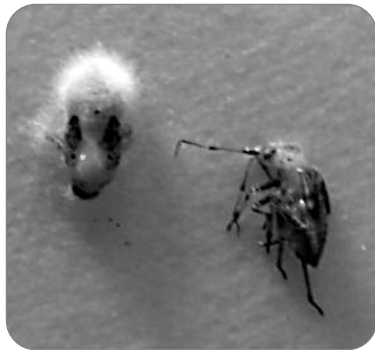


Figure 4 : Adultes de la punaise terne infectés et non infectés par le champignon *Beauveria bassiana*.

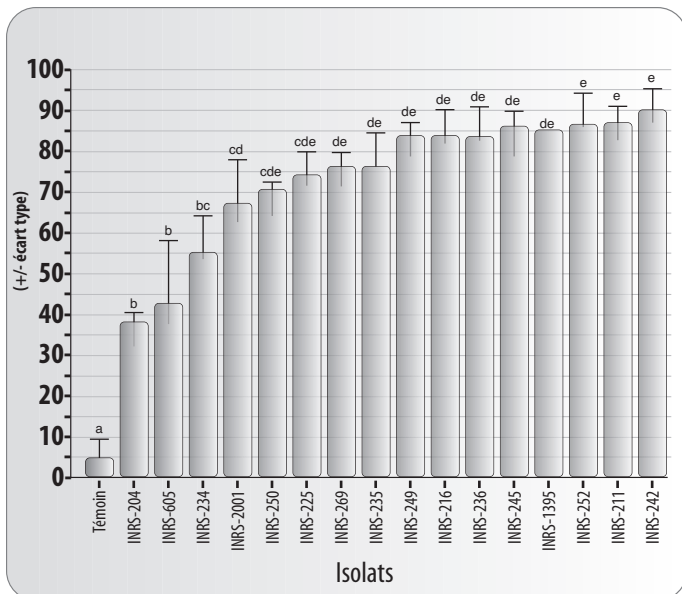


Figure 5 : Criblage de différents isolats de *Beauveria bassiana* contre les adultes de la punaise terne, *Lygus lineolaris*.

L'efficacité de *B. bassiana* comme agent de lutte biologique résulte des propriétés de l'hôte, de l'agent pathogène et des conditions du milieu (Ferron et al., 1993). La virulence et la spécificité infectieuse de l'agent pathogène sont deux éléments essentiels dans le choix d'un bon candidat de lutte biologique. C'est la raison pour laquelle on cherche à déterminer les isolats présentant le plus de potentiel pour lutter contre

les populations de punaise terne (figure 5). Les résultats des premières expériences, qui seront publiés incessamment, montrent le pourcentage de mortalité associé à différents isolats. Étant donné la performance de l'isolat INRS-242, des essais sur le terrain sont envisagés avec ce candidat à l'été 2008.

### Scarabée japonais

Depuis quelques années, certaines pépinières forestières font face à l'arrivée de ravageurs exotiques qui peuvent compromettre leur production ou les obliger à obtenir des certifications avant d'acheminer les lots de plants produits. Les pertes peuvent être énormes, notamment en considérant les investissements depuis le traitement des semences jusqu'à leur production. Parmi ces ravageurs, on retrouve le scarabée japonais, *Popillia japonica*, dont l'aire de distribution s'accroît d'année en année. Le scarabée japonais adulte est un défoliateur important de plus de 250 espèces de plantes, notamment les rosiers, les peupliers, les érables, et les mélèzes. Pour leur part, les larves se retrouvent dans le sol où elles s'alimentent des racines du gazon et de plusieurs autres graminées.



Figure 6 : Adulte du scarabée japonais, *Popillia japonica* infecté par le champignon *Beauveria bassiana*.

Comme dans les cas qui précédaient, un des objectifs de la recherche sur le scarabée japonais est de développer une approche qui permettrait de réduire les dommages causés par cet insecte, mais qui serait à risque réduit pour l'environnement. Les objectifs de la recherche sont donc : (1) d'identifier les isolats entomopathogènes de *B. bassiana* les plus efficaces contre les ravageurs ciblés; (2) de déterminer les concentrations optimales de *B. bassiana* à utiliser contre les différents stades des ravageurs; (3) de développer des stratégies d'application en pépinière pour un contrôle efficace des populations du scarabée japonais; et (4) d'établir la prescription pour l'utilisation du champignon entomopathogène dans le cas du scarabée.

Les premiers travaux montrent que les larves du scarabée japonais ne sont pas vulnérables aux différents isolats testés de *B. bassiana*. Par contre, un autre champignon, *Beauveria brongniarti*, semble plus prometteur, mais des expériences plus poussées doivent être entreprises. En ce qui concerne les adultes, l'exposition aux isolats de *B. bassiana* indique qu'ils sont sensibles aux infections mycosiques (figure 6 et 7).

### Conclusion

En conclusion, face à la problématique des ravageurs des pépinières forestières, différentes avenues sont explorées afin de développer des approches qui soient efficaces et plus respectueuses pour la santé humaine, animale et pour l'environnement. Les perspectives de recherche dans ce secteur sont prometteuses et nécessitent l'engagement des différents intervenants (chercheurs, gestionnaires et travailleurs) pour que les solutions trouvées puissent être implantées. Il s'agit de défis importants.



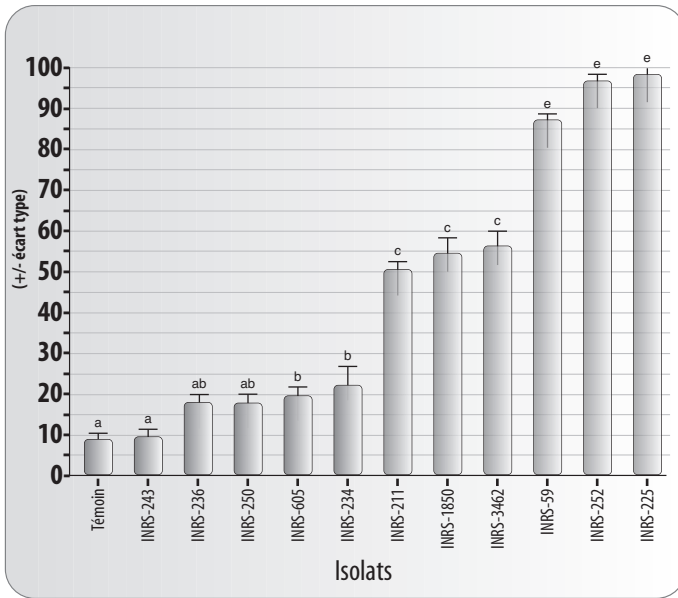


Figure 7 : Criblage de différents isolats de *Beauveria bassiana* contre les adultes du scarabée japonais, *Popillia japonica*.

### Références

Cermak, P. et Walker, G. M. 1992. Fiche technique. 05/92. Agdex: 232/620.

Chagnon, M., Payette, A., Jean, C. et Cadieux C. 1990. Ministère de l'Environnement et Centre québécois de valorisation de la biomasse. 85 p.; DCF. 1999.

2000, 2001, 2002, 2003. Relevés phytosanitaires dans les vergers à graines, ministère des Ressources naturelles; MRN. 1997. Maladies et insectes importants dans les pépinières forestières au Québec. MRNF.





# Développement et mise en place d'outils de lutte pour la répression des ravageurs dans les vergers à graines au Québec



Les vergers à graines sont à la base d'un processus sylvicole qui a pour but de favoriser le reboisement au Québec. Ils sont le résultat de programmes de recherche à long terme, nécessitant la sélection d'arbres dont l'objectif est de produire des semences d'essences forestières génétiquement améliorées. Afin de maximiser leur productivité, l'élaboration de stratégies permettant de maintenir les populations d'insectes ravageurs des cônes et des graines à des niveaux acceptables est essentielle (Fogal et al., 1993).

## Mouche granivore de l'épinette

Plusieurs espèces d'insectes peuvent affecter la production des vergers à graines. Parmi ceux-ci, la mouche granivore de l'épinette, *Strobilomyia neanthracina* (Diptera : Anthomyiidae), est de loin le plus important ravageur des cônes et des graines de conifères. Son hôte préféré est l'épinette blanche (figure 1). Cet insecte peut aussi s'attaquer aux cônes des autres espèces d'épinette d'Amérique du Nord, notamment l'épinette noire (Turgeon et de Groot, 1992). Depuis plusieurs années, les relevés phytosanitaires effectués dans les différents vergers à graines d'épinettes blanches montrent que la mouche granivore de l'épinette est responsable de pertes annuelles moyennes de plus de 65 % des cônes (DCF, 1999-2005). Ces pertes ont des conséquences directes sur la production des plants requis pour le reboisement d'une des principales essences commerciales du Québec. Selon Turgeon et de Groot (1992), une larve de mouche granivore est capable de détruire de 50 à 75 % des graines d'un cône d'une épinette blanche ou noire. Les pertes de semences génétiquement améliorées occasionnées par les attaques répétées de la mouche granivore peuvent empêcher l'accumulation de réserves de graines d'épinettes particulièrement celles de l'épinette blanche destinées à la production de plants à rendement accru.

Les résultats des travaux de laboratoire suggèrent que l'emploi de la bactérie *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* serait une stratégie à préconiser pour lutter contre cet insecte. La bactérie pourrait affecter de façon importante la présence des larves de la pyrale principalement

dans les cônes (figure 2). En effet, en présence de différentes concentrations de *B. thuringiensis*, on observe une diminution du pourcentage de larves dans les cônes qui passent de 100 % dans les cônes témoins à moins de 20 % dans les cônes traités avec une faible concentration de *B. thuringiensis*. De plus, pour les mêmes concentrations, on observe une augmentation du nombre de larves à l'extérieur des cônes traités. Ces résultats suggèrent que les larves de la mouche granivore sont capables de percevoir la présence de la bactérie et qu'elles cherchent à éviter le contact avec cette dernière en quittant le cône. Par contre, l'approche utilisée en laboratoire ne permet pas de tirer des conclusions sur les effets de l'emploi de cet agent en lien avec la mortalité des larves. Des essais sur le terrain sont envisagés afin d'évaluer le potentiel de *B. thuringiensis* en conditions réelles.

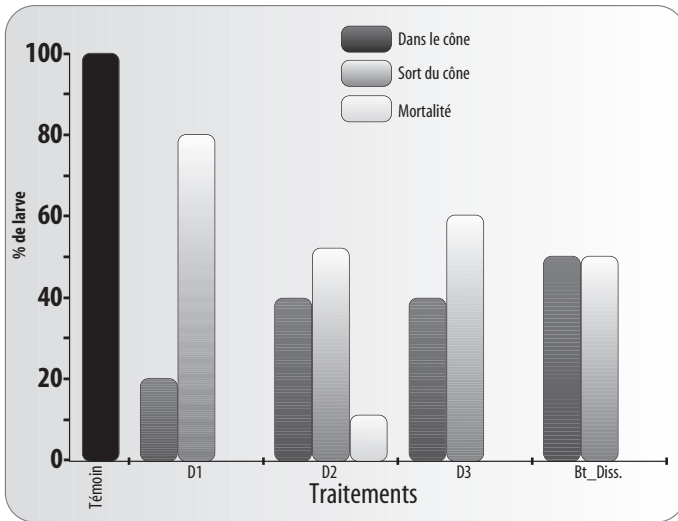


Figure 1 : Larve de la mouche granivore, *Strobilomyia neanthracina*, sortant d'un cône d'épinette blanche.

Parmi les autres moyens possibles pour lutter contre certains insectes ravageurs des pépinières, figure le potentiel insecticide de certains champignons de la famille des Hyphomycètes et depuis plusieurs







**Figure 2 :** Effets de différentes concentrations de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* sur le pourcentage de larves qui quittent les cônes traités d'épinette blanche et le pourcentage de mortalité. Les cônes ont été traités avec différentes concentrations de *B. thuringiensis* (D1 à D3) et avec des cristaux dissous de cette même bactérie.

années des efforts sont déployés afin de documenter cette piste. Des épreuves biologiques avec des larves de *S. neanthracina* ont été effectuées afin d'identifier les isolats de *Beauveria bassiana* et de *Tolypocladium cylindrosporium* présentant le plus grand potentiel. Une sélection basée sur l'origine géographique des isolats et des espèces hôtes sur lesquelles ils avaient été isolés a permis de retenir cinq isolats pour les épreuves biologiques. Trois isolats de *B. bassiana* (INRS-DOAM210087, INRS-LRS20, INRS-CFL) et un isolat de *T. cylindrosporium* (INRS-1318351) ont donc été testés (tableau 1).

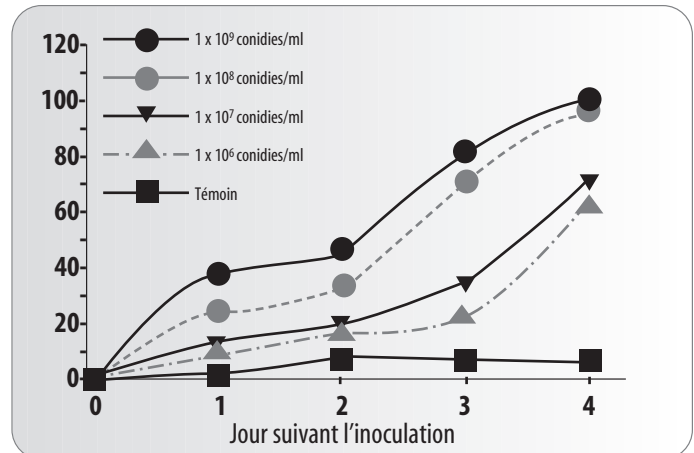
| Jour suivant l'inoculation | Traitement (5 x 10 <sup>5</sup> conidies/ml) |                         |                       |                           |        |
|----------------------------|--|-------------------------|-----------------------|---------------------------|--------|
|                            | INRS-DOAM210087 <sup>1</sup>                 | INRS-LRS20 <sup>1</sup> | INRS-CFL <sup>1</sup> | INRS-1318351 <sup>2</sup> | Témoin |
| 0                          | 0  | 0                       | 0                     | 0                         | 0      |
| 2                          | 5  | 5                       | 10                    | 5                         | 0      |
| 4                          | 5  | 70                      | 25                    | 25                        | 0      |
| 6                          | 40   | 70                      | 45                    | 40                        | 0      |

<sup>1</sup> *Beauveria bassiana*      <sup>2</sup> *Tolypocladium cylindrosporium*

**Tableau 1 :** Pourcentage de mortalité des larves de la mouche granivore soumises à différents isolats de *Beauveria bassiana* et de *Tolypocladium cylindrosporium* lors des essais de criblage.

Les résultats montrent que l'isolat INRS-LRS20 est celui entraînant la plus forte mortalité, puisque plus de 70 % des larves soumises à une concentration de 5 x 10<sup>5</sup> conidies/ml sont mortes quatre jours après leur inoculation. De plus, pour cet isolat, on observe une augmentation du pourcentage de mortalité des larves en fonction de la concentration de *B. bassiana* (figure 3). Ainsi, la concentration létale causant 50 % de la mortalité (LC<sub>50</sub>) des larves de *S. neanthracina* a été estimée à 2,3 x 10<sup>7</sup> conidies/ml (tableau 2). De plus, le temps de réaction de cette concentration a été estimé à trois jours suivant l'inoculation des larves par *B. bassiana*.

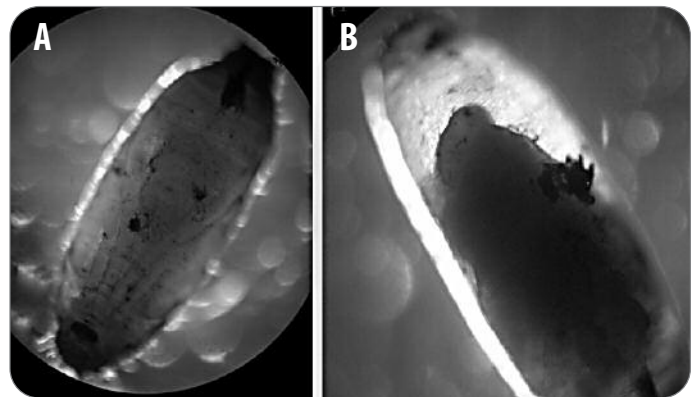
Finalement, les résultats des épreuves biologiques visant les pupes de la mouche granivore ne montrent pas d'effet significatif. Par contre, on observe chez les larves soumises à l'isolat INRS-LRS20 et qui se sont



**Figure 3 :** Pourcentage de mortalité des larves de *Strobilomyia neanthracina* soumises à différentes concentrations de l'isolat INRS-LRS20 de *Beauveria bassiana*.

| Réponse                        | Valeur                | Intervalles de confiance (95%) |                       |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
|                                |                       | Inférieur                      | Supérieur             |
| CL <sub>50</sub> (conidies/ml) | 2,3 x 10 <sup>7</sup> | 1,0 x 10 <sup>7</sup>          | 4,9 x 10 <sup>7</sup> |
| TL <sub>50</sub> (jour)        | 3                     | 3                              | 4                     |

**Tableau 2 :** Concentration létale (CL<sub>50</sub>) et temps létal (TL<sub>50</sub>) des larves de *Strobilomyia neanthracina* soumises à l'isolat INRS-LRS20 de *Beauveria bassiana*.



**Figure 4 :** Effet de l'isolat INRS-LRS-20 de *Beauveria bassiana* sur les pupes de *Strobilomyia neanthracina*. A- Pupa saine traitée avec l'isolat. B- Dessiccation d'une pupa provenant d'une larve traitée par l'isolat avant sa transformation.

transformées en chrysalides, une dessiccation des pupes (figure 4). Ce phénomène pourrait entraver le développement des larves jusqu'au stade adulte et se traduire par une diminution de la population.

## Pyrale des cônes du sapin

La pyrale des cônes du sapin, *Dioryctria abietivorella* (Grote), est aussi un important ravageur des cônes (figure 5). Cet insecte est de type exoconophyte, c'est-à-dire qu'il peut sortir des cônes au cours de son développement larvaire et une fois à maturité (Turgeon, 1994). La principale essence hôte de ce lépidoptère est l'épinette blanche (Trudel et al., 1999). On le retrouve aussi fréquemment sur l'épinette noire, le sapin baumier, le pin blanc, le pin gris et différentes espèces de mélèzes (Hedlin et al., 1980; Bockerhoff et al., 1999). Lors des bonnes années de production, plus de la moitié des cônes produits peent





Figure 5 : Dommages causés par une larve de la pyrale des cônes du sapin.

être endommagée par la pyrale des cônes du sapin (Turgeon, 1994). Durant les périodes d'épidémie, elle peut totalement détruire les cônes des arbres d'un verger, particulièrement durant les années de faible floraison (Ruth, 1980).

La stratégie déployée pour lutter contre cet insecte est basée sur l'utilisation de la bactérie *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. Cette bactérie est communément utilisée pour lutter contre les épidémies

d'insectes, notamment contre celles de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, *Choristoneura fumiferana*, et de l'arpeuteuse de la pruche, *Lambdina fiscellaria fiscellaria*. Les travaux de Trudel (1997 ; 1999) ont démontré que les larves de la pyrale étaient particulièrement sensibles aux préparations commerciales de *B. thuringiensis*. Pour démontrer son efficacité sur le terrain, des expériences sur le terrain ont été réalisées qui avaient pour but de déterminer l'effet d'applications multiples sur la protection des cônes contre les dommages de l'insecte et d'établir la dose devant être appliquée lors d'une opération de contrôle des populations. Dans un premier temps, à l'aide d'un dispositif à bloc aléatoire, il a été démontré que les applications multiples des préparations de *B. thuringiensis* entraînaient une diminution significative des dommages causés aux cônes (figure 6). Cependant, aucune différence dans la protection des cônes n'a pu être observée à partir de la quatrième application. Les résultats suggèrent que trois applications de *B. thuringiensis* à intervalles d'une semaine assurent aux cônes une protection suffisante. Une expérience a aussi été réalisée afin d'établir la dose qui assure la meilleure protection des cônes contre l'insecte (figure 7). En utilisant une approche similaire, des applications avec différentes concentrations d'une préparation à base de *B. thuringiensis* ont permis de déterminer que trois

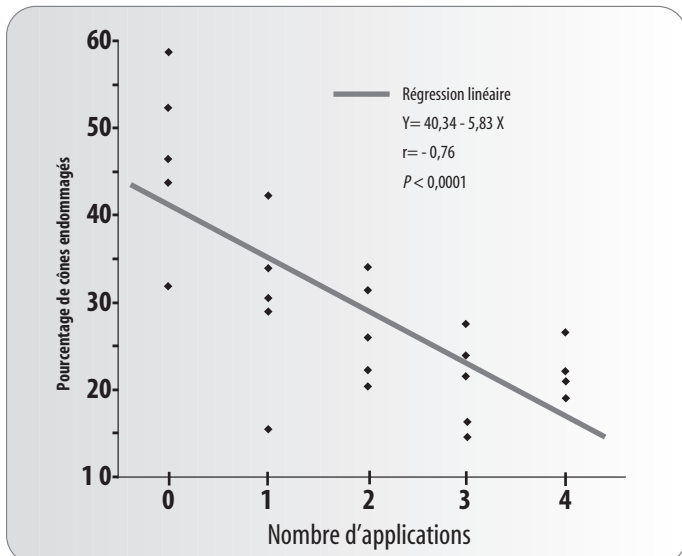


Figure 6 : Pourcentage des cônes endommagés par *D. abietivorella* en fonction des applications multiples de *Bacillus thuringiensis*.

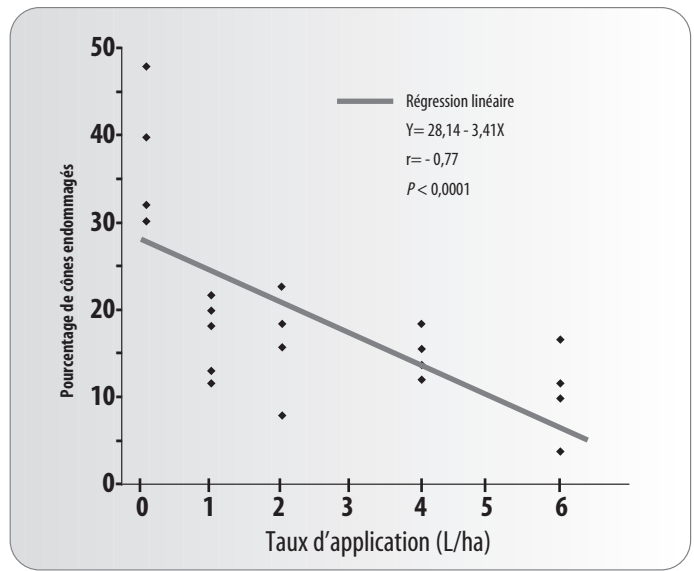


Figure 7 : Pourcentage des cônes endommagés par *D. abietivorella* en fonction des différents taux d'application *Bacillus thuringiensis* à raison de trois applications sur une base hebdomadaire.

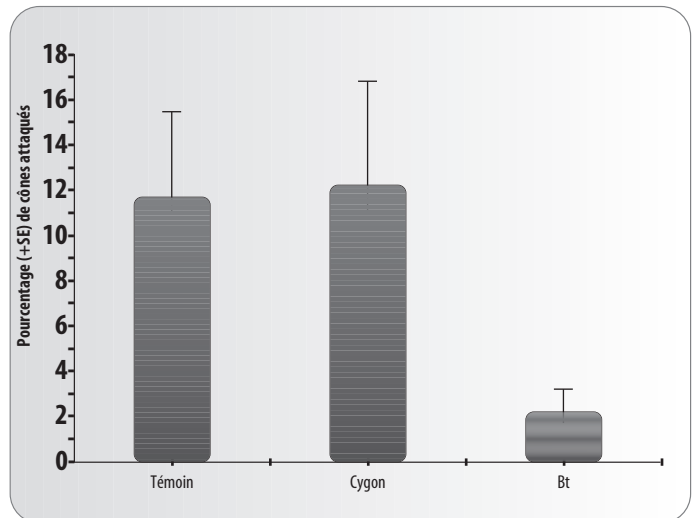


Figure 8 : Pourcentage des cônes atteints par *D. abietivorella* en fonction des différents traitements.

litres/hectare seraient suffisants pour assurer une protection efficace des cônes.

Ces résultats ont permis d'établir une prescription pour lutter contre la pyrale des cônes du sapin. En 2006, cette prescription a pu être validée lors du déploiement d'un programme de lutte contre les populations de la pyrale des cônes du sapin dans le verger à graines d'épinettes blanches de Sainte-Luce au Québec. Dans le but de comparer l'efficacité des traitements, trois zones ont été définies et traitées différemment : témoin, Cygon et Cygon + *B. thuringiensis*. Dans les faits, le Cygon avait été appliqué au début de la saison afin de protéger les cônes contre les attaques de la mouche granivore. Les résultats démontrent l'efficacité des traitements avec *B. thuringiensis* pour limiter les dommages causés par la population de la pyrale (figure 8). En effet, moins de 2 % des cônes ont été atteints dans la zone traitée avec *B. thuringiensis*, contrairement à plus de 10 % dans les zones traitées uniquement au Cygon et dans le témoin.



## Remerciements

Cette présentation est le fruit d'un travail collectif de plusieurs personnes. Un merci particulier au Dr Mario Boisvert, à Virginia Hock, Rachid Sabbahi, Louis-Philippe Caron, Andrew Wiescovich et à Jamal Ziani de l'INRS-IAF; au Dr Robert Lavallée et à Charles Coulombe du SCF-CFL; à Roger Touchette et à Donatien Lévesque de la MRNF-DPSP; à Fabienne Colas, Monique Pelletier et à Jean-Philippe Mottard de la MNR-DRF et au Dr Éric Bauce de l'Université Laval.

## Références

**Brockerhoff, E.G. J.J. Turgeon & A. Brockerhoff. 1999** *J. Insect Behavior* 12: 47-65.

**DCF. 1999, 2000, 2001, 2002.** Relevés phytosanitaires dans les vergers à graines, ministère des Ressources naturelles.

**Fogal, W. H., S. M. Lopushanski, H. O. Schooley & D. A. Winston. 1993.** *Can. J. For. Res.* 23: 1786-1792.

**Hedlin, A.F., H.O. Yates, D.C. Tovar, B.H. Ebel, T.W. Koerber & E.P. Merkel. 1980.** *Envir. Can., Can. For. Serv.* 122 pp.

**Ruth, D.S. 1980.** *A guide to insect pests in Douglas-fir Seed Orchards.* Ca. For. Serv. Pac. For. Res. Centre. BC-X-204.

**Trudel, R., E. Bauce, J. C. Cabana & C. Guertin. 1997.** *Can. Ent.* 127: 197-198;

**Trudel, R., E. Bauce, J. Cabana & C. Guertin. 1999.** *Can. Ent.* 131: 779-786.

**Turgeon, J. J. & P. de Groot. 1992.** *Management of insect pests of cones in seed orchards in eastern Canada, F.P.M.I., Can. For. Serv., Sault Ste-Marie, Ontario, 98 p.*





# D'autres façons de lutter contre les lépidoptères ravageurs : mimic<sup>®</sup>, anti-pban et peptides phéromonostatiques

Thérèse Alcan, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides



Parmi les fléaux naturels qui menacent la forêt, les épidémies d'insectes représentent un danger constant. Au Canada, en 2003, les superficies de forêts défoliées par les principaux ravageurs forestiers se sont élevées à plus de 16 millions d'hectares, représentant une perte de bois d'œuvre de plus de 100 millions de mètres cubes soit un volume équivalant à plus de cinq fois la production annuelle de bois d'œuvre du Québec (L'État des forêts au Canada, 2004-2005). Ces pertes vont incontestablement augmenter avec la venue d'une prochaine épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE).

Au Québec, depuis 2001, la stratégie gouvernementale de protection des forêts a formellement banni l'usage de tout pesticide ou insecticide de synthèse en forêt publique. En conséquence, la lutte contre les insectes dans les forêts du Québec se limite exclusivement à l'application de l'insecticide biologique, *Bacillus thuringiensis* (*B.t.*). Bien que les risques de résistance au *B.t.* soient minimes en raison de la faible étendue des forêts traitées et de l'immensité du territoire forestier, en raison aussi des multiples échanges entre les populations d'insectes, notamment celles de la TBE, notre dépendance à l'égard de ce seul outil de lutte est toutefois préoccupante. De plus, en l'absence de tout autre produit concurrentiel sur le marché, la commercialisation du *B.t.*, favorise une situation de monopole en raison du nombre limité de fabricants. Mais l'aspect le plus contraignant de la politique québécoise en matière d'utilisation des pesticides en milieu forestier est le frein qu'elle impose tant à la recherche fondamentale qu'au développement de nouveaux produits de lutte. Ailleurs au Canada, d'autres insecticides peuvent être utilisés en forêt publique. Un de ces insecticides, spécifique aux larves des lépidoptères et récemment homologué, est le tébufénozide, commercialisé sous le nom de Mimic<sup>®</sup> ou Confirm<sup>®</sup> par la firme Rohm and Hass, qui a depuis vendu ses droits à la Dow Agrosiences.

Au cours du présent colloque, je discuterai des effets létaux et sous-létaux du tébufénozide (Mimic<sup>®</sup>) chez les larves et les adultes de la tordeuse du bourgeon de l'épinette (TBE) et de la tordeuse

à bandes obliques (TBO). Je présenterai également un bref aperçu des connaissances sur la physiologie des phéromones de ces deux espèces. Je conclurai cet exposé en discutant du potentiel qu'offrent certains peptides, tels les inhibiteurs du PBAN et les peptides phéromonostatiques, pour contrer la reproduction des lépidoptères, en interférant plus particulièrement avec les mécanismes qui régissent la production de phéromone chez la femelle.

## Mimic<sup>®</sup> : un agoniste non stéroïdien de l'ecdysone

Le Mimic<sup>®</sup> appartient à la catégorie des régulateurs de croissance, c'est-à-dire des insecticides de synthèse qui simulent l'action des hormones d'insectes. On le définit comme étant un agoniste non stéroïdien de l'ecdysone, l'hormone de la mue produite par les glandes prothoraciques des larves. Bien que le Mimic<sup>®</sup> ne possède pas de stérol dans sa structure moléculaire, comme c'est le cas avec l'ecdysone, son action est cependant analogue.

Le Mimic<sup>®</sup> a aussi la capacité de reconnaître les récepteurs de l'ecdysone présents dans les cellules épithéliales de l'insecte, et de s'y fixer à la manière d'un système clé-cadenas.

La présence du Mimic<sup>®</sup> dans l'insecte perturbe le système hormonal en provoquant une mue prématurée, incomplète et létale. Ce déséquilibre hormonal peut aussi entraîner des malformations tant chez les larves



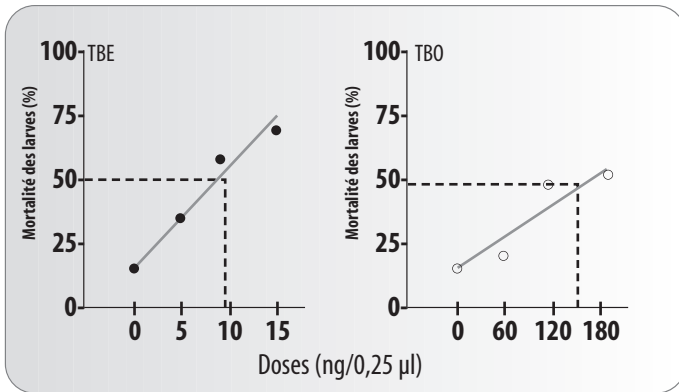


Figure 1 : L'incidence de mortalité des larves de la TBE et de la TBO à la suite de l'ingestion de différentes doses de Mimic®.

que chez les pupes. Des tests de toxicité, consistant à faire avaler une gouttelette de Mimic® d'un volume fixe et de concentrations variables à des larves de 5<sup>e</sup> stade de la TBE et de 4<sup>e</sup> stade de la TBO, ont montré que l'incidence de mortalité augmentait linéairement avec la dose, atteignant un maximum de 70 % (Figure 1) (Dallaire et al., 2004). En revanche, chez les deux espèces de *Choristoneura*, l'incidence de mortalité des pupes est demeurée constante quelle que soit la dose de Mimic® ingérée (résultats non illustrés).

Ces tests ont aussi révélé que le Mimic® était plus toxique envers les larves de la TBE qu'envers celles de la TBO. En effet, alors qu'une dose de 10 ng par gouttelette est suffisante pour tuer 50 % des larves de la TBE, il faut des doses 15 fois supérieures pour obtenir la même incidence de mortalité chez les larves de la TBO (Figure 1).

Les effets nocifs du Mimic® ont aussi eu une incidence sur le développement de l'insecte. Tel que l'illustre la figure 2, chez les deux espèces, la durée du développement des larves et celle du développement total ont été plus longues aux doses plus élevées. Celle des pupes cependant est demeurée stable, comme l'indique l'écart constant observé entre les deux droites.

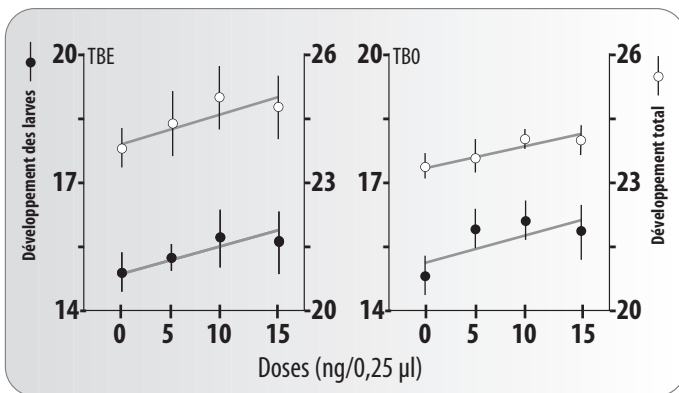


Figure 2 : Durée (en jours) du développement des larves et du développement total de la TBE et de la TBO à la suite de l'ingestion de différentes doses de Mimic®.

Les résultats de cette étude confirment le statut du Mimic® en tant que puissant larvicide contre la TBE. La TBO, une espèce omniprésente dans les forêts feuillues et mixtes du Québec, est connue pour servir d'hôte alterne aux parasitoïdes qui attaquent la TBE (Maltais et al., 1989). Advenant que le Mimic® soit utilisé dans les programmes de lutte contre la TBE, la toxicité moindre de ce produit envers les larves de la

TBO protégerait les parasitoïdes qui les utilisent pour se développer. En outre, le Mimic®, en prolongeant la durée du développement de l'insecte, pourrait indirectement favoriser le parasitisme ou la prédation et ainsi augmenter la mortalité des larves au sein des populations de la TBE.

Bien que cet agoniste non stéroïdien de l'ecdysone ait été développé dans le but de perturber le développement des larves, des effets délétères ont aussi été rapportés chez les adultes lépidoptères. Toutefois, dans notre étude, les effets sous-létaux du Mimic® ont été peu nombreux tant chez les adultes de la TBE que chez ceux de la TBO. Par exemple, l'âge des femelles au premier appel ainsi que la concentration de phéromone produite (composante principale) n'ont pas varié significativement entre les femelles traitées et les témoins. De plus, la réponse des mâles à la phéromone sexuelle, bien que légèrement perturbée chez la TBE, n'a pas entraîné pour autant une baisse significative des accouplements. Enfin, la fécondité des femelles ainsi que la fertilité des mâles (mesurée par le nombre de spermatozoïdes transférés à la femelle lors de l'accouplement) n'ont pas été affectées outre mesure par les différentes doses de Mimic®. Les effets non significatifs du Mimic® sur la capacité reproductive des adultes concordent avec les autres résultats obtenus démontrant que l'incidence de mortalité, la durée du développement ainsi que la masse corporelle des pupes mâle et femelle n'ont pas été affectées par ce produit.

Il est possible que l'ingestion d'une seule gouttelette de Mimic® n'ait pas été suffisante pour induire des effets sous-létaux chez les adultes survivants. Dans une autre série d'expériences, réalisée avec la TBO, la capacité reproductive des adultes a été plus sévèrement affectée par le Mimic®. Dans ce cas-ci, pendant leurs deux derniers stades, les larves avaient consommé une diète artificielle dont la surface avait été traitée avec le Mimic®. (Dallaire et al., 2004). Cette méthode de traitement, somme toute plus représentative de la réalité, mériterait d'être aussi testée avec la TBE, car à la suite de pulvérisations expérimentales sur le terrain réalisées par le SERG (*Spray Efficacy Research Group*) au Manitoba en 2001, une diminution significative de la ponte a été observée chez les populations de la TBE (J. Régnière, comm. pers.).

Par ailleurs, il existe d'autres méthodes de lutte pour empêcher les adultes lépidoptères de se reproduire. Pour les faibles densités de populations d'insectes, la méthode la plus prometteuse reste encore l'utilisation des phéromones sexuelles soit par la capture de masse (revue par Royer et Delisle, 2005), soit par la confusion sexuelle (revue par Delisle et Royer, 2005). Cette dernière technique, de loin la plus intéressante, vise à interrompre la communication chimique entre les sexes en affectant le système olfactif des mâles. Cependant, serait-il possible d'empêcher cette communication de s'établir en interférant cette fois-ci avec les mécanismes qui régissent la production de phéromone chez la femelle? Qu'en est-il des progrès réalisés dans ce domaine de recherche?

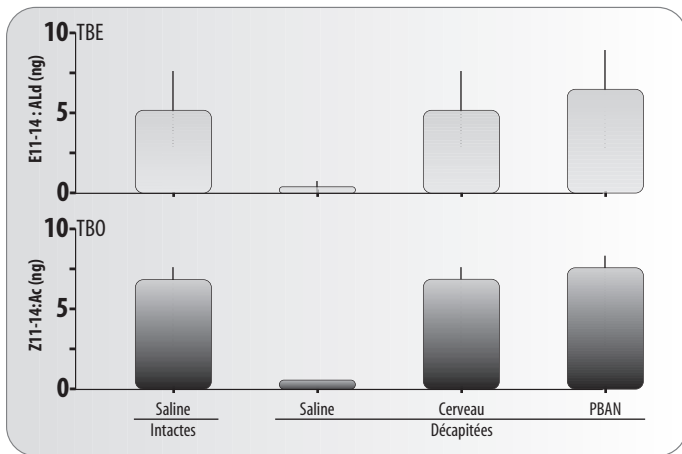
## Phéromones sexuelles : rôle des antagonistes du PBAN

À la suite de la découverte de la première phéromone sexuelle par Butenandt et al. (1959), il a fallu attendre 25 ans avant que Raina et Klun (1984) démontrent qu'une neurohormone appelée PBAN (Pheromone Biosynthesis Activating Neuropeptide) était impliquée



dans la production de la phéromone sexuelle chez la femelle du ver de l'épi du maïs, *Helicoverpa zea*. Ce neuropeptide, synthétisé par le ganglion sous-œsophagien et stocké dans les corps cardiaques (CC), deux minuscules structures dérivées du cœur de l'insecte, est ensuite relâché dans le sang afin de stimuler la glande à phéromone.

Une forme synthétique de ce neuropeptide commercialisée sous le nom de *Hez*-PBAN a été testée chez les femelles de la TBE et de la TBO. Les résultats obtenus, présentés à la figure 3, montrent que le PBAN synthétique, injecté à des femelles dont les glandes sont totalement dépourvues de phéromone (à la suite d'une décapitation 24 heures plus tôt), stimule, en moins de deux heures, la production de phéromone à un niveau comparable à celui obtenu chez des femelles intactes (non décapitées). Le même effet stimulateur a été aussi observé à la suite de l'injection d'extraits de cerveau, (ceux-ci ayant été prélevés et injectés chez la même espèce), démontrant que la production de phéromone est bel et bien sous la dépendance du PBAN chez les deux *Choristoneura* (Delisle et al., 1999).



**Figure 3 :** La réponse phéromotropique des femelles TBE et TBO décapitées depuis 24 h et injectées avec 2 µl (i) d'une solution saline (ii) 5 pmol de *Hez*-PBAN, ou (iii) 1 femelle-équivalent d'un extrait de cerveau de la même espèce de tordeuse. Les témoins sont des femelles intactes (non décapitées), injectées avec de la saline, exclusivement.

Bien que le *Hez*-PBAN soit constitué de 33 acides aminés (a. a.), Raina et Klun (1984) ont démontré que l'activité phéromotropique de ce neuropeptide ne résidait que dans les six derniers a. a. La taille ainsi réduite du peptide permet de le manipuler plus facilement, voire d'en changer la fonction. Ainsi, par substitution séquentielle de chacun des six a. a. par la D-phe, Altstein et al. (2000) ont réussi à convertir cet agoniste du PBAN en un antagoniste, c'est-à-dire un peptide capable de bloquer l'accès du PBAN à son récepteur et du coup provoquer l'arrêt de la production de phéromone *in vivo*. Cependant, l'effet inhibiteur d'un tel peptide est généralement de courte durée, en raison de sa forme linéaire qui le rend davantage sujet à la dégradation enzymatique. Afin de remédier à cette situation, un changement de conformation du peptide s'impose. La cyclisation est une des méthodes préconisées pour augmenter à la fois la stabilité et la spécificité du peptide. À l'aide de cette méthode, Altstein et al. (2003) ont été en mesure de générer des peptides, de forme cyclique, présentant une forte activité antagoniste tout en étant dépourvu

d'activité agoniste. La production d'antagonistes «purs» constitue une étape majeure pour la conceptualisation et le développement de futurs agents de lutte. Ces différents peptides, dérivés du PBAN, seront prochainement testés chez les femelles TBE et TBO, afin d'évaluer leur potentiel en tant qu'inhibiteurs de la production de la phéromone sexuelle.

Le PBAN n'est pas un neuropeptide exclusivement synthétisé par le cerveau de la femelle lépidoptère : ceux du mâle et de la larve peuvent aussi le synthétiser. Alors que chez le mâle, le PBAN serait vraisemblablement impliqué dans la perception de la phéromone sexuelle ou la production de phéromones mâles (aphrodisiaques), son rôle chez la larve est encore inconnu. Cependant, grâce à leur mode d'action, les antagonistes du PBAN seraient des outils appropriés pour élucider le rôle du PBAN chez la larve; un aspect qui fera éventuellement l'objet d'étude chez la TBE et la TBO.

### Facteurs phéromonostatiques et sex-peptide

Dans les 24 heures suivant l'accouplement, la production de phéromone chez les femelles TBE et TBO cesse de façon permanente ou bien temporaire, selon les individus. Cette inhibition, typique de l'état réfractaire ou de la phéromonostasie, caractérise la plupart des lépidoptères nocturnes. L'étude des mécanismes physiologiques responsables de la phéromonostasie chez la TBE et la TBO a révélé que cet état n'était pas causé par l'incapacité du cerveau de synthétiser le PBAN, ni à l'incapacité de la glande de produire la phéromone. Il nous faut donc en conclure que l'accouplement a pour effet d'empêcher la libération du PBAN des corps cardiaques (C.C.). Puisque la glande n'est pas stimulée, la phéromone ne peut donc être synthétisée (Delisle et al., 2000). Des travaux subséquents ont en effet démontré qu'un signal, d'origine nerveuse, lié à la présence des spermatozoïdes dans la spermathèque (organe d'entreposage), était partiellement responsable de cet état réfractaire chez la femelle accouplée (Delisle et Simard, 2002; Marcotte et al., 2003). D'autres signaux, de nature hormonale ou humorale, provenant des tissus de la femelle ou de ceux du mâle, seraient vraisemblablement impliqués dans ce processus physiologique (Marcotte et al., 2003).

À cet égard, chez la noctuelle *H. zea*, l'espèce chez laquelle le PBAN a été découvert, Kingan et al. (1995) ont démontré qu'un extrait de glandes accessoires mâles injecté dans l'abdomen d'une femelle vierge intacte la rendait totalement réfractaire, en raison de l'inhibition de la production de phéromone. Cette inhibition résulterait du transfert d'un peptide mâle à la femelle au moment de l'accouplement. Ce peptide phéromonostatique (PP<sub>1-57</sub>), composé de 57 a. a., est aussi caractérisé par la présence d'un pont disulfure reliant deux cystéines séparées l'une de l'autre par 11 a. a. (Figure 4).



**Figure 4 :** La composition du peptide phéromonostatique du mâle de *H. zea* (PP 1-57) avec présence d'un pont disulfure. Trois segments de ce peptide, (PP 22-34), (PP 35-57) et (PP 43-57), ont été testés *in vivo* chez la noctuelle *H. armigera*.



Dans une étude plus récente, trois segments du peptide phéromonostatique de *H. zea* ont été synthétisés et testés séparément chez la noctuelle, *H. armigera* (Eliyahu et al., 2003). Deux de ces segments, le PP<sub>33-57</sub> et le PP<sub>43-57</sub> (Figure 4) injectés simultanément avec le PBAN chez des femelles décapitées se sont révélés suffisamment compétitifs pour empêcher le PBAN de se lier à son récepteur, provoquant ainsi l'inhibition de la production de phéromone. Aucun effet inhibiteur n'a cependant été obtenu avec le segment PP<sub>22-34'</sub> ce qui démontre que le noyau actif du peptide phéromonostatique de *H. zea* réside dans ses derniers a. a., avec présence ou non du pont disulfure.

Chez la mouche du vinaigre, *Drosophila melanogaster*, l'état réfractaire de la femelle après l'accouplement résulte également du transfert d'un peptide mâle appelé, «sex-peptide» plutôt que peptide phéromonostatique, en raison de l'absence de phéromone sexuelle chez cette espèce (Chen et al., 1988). Mis à part la présence d'un pont disulfure aussi séparé par 11 a.a., le sex-peptide de *D. melanogaster* (Figure 5) ne présente aucune autre affinité avec le peptide phéromonostatique de *H. zea* que ce soit par le nombre total ou la séquence des différents a.a. qui le composent (Figure 4). Toutefois, lorsqu'injecté dans l'abdomen de la noctuelle *H. armigera*, le sex-peptide de *D. melanogaster* a aussi été capable d'inhiber la production de phéromone ce qui suggère que le récepteur de ce sex-peptide est aussi présent chez cette noctuelle.

SP1-36 WEWPWNRKPTKFIPIPSNPRDKWCRLNLGPAWGGRC

Figure 5 : La composition du sex-peptide de la mouche du vinaigre, *Drosophila melanogaster*.

Les trois segments du peptide phéromonostatique de la noctuelle *H. zea* ainsi que le sex-peptide de la mouche *D. melanogaster* ont été récemment synthétisés et seront testés chez les deux espèces de *Choristoneura* afin de compléter les travaux sur la physiologie des phéromones sexuelles.

## Conclusion

La menace réelle d'une épidémie imminente de TBE devrait nous amener à réviser rapidement la politique québécoise qui interdit l'épandage de tout insecticide chimique ou de synthèse en forêt publique au Québec et à rechercher activement d'autres moyens de lutte. À cet égard, nos travaux, ainsi que ceux réalisés par d'autres laboratoires au Canada ou ailleurs, incluant des essais sur le terrain, nous permettent d'appuyer favorablement la candidature du Mimic® en tant qu'outil à inclure dans notre futur arsenal de lutte contre la TBE : ses avantages se sont en effet révélés plus nombreux que ses inconvénients.

Dans cette perspective, des programmes de pulvérisation, basés sur l'utilisation du *B.t.* et du Mimic®, en alternance, constitueraient une approche judicieuse permettant d'éviter ou de diminuer tout risque de développer une résistance à l'un ou à l'autre de ces insecticides.

Par ailleurs, la recherche de produits dont le principe actif consiste à cibler des fonctions biochimiques, comme c'est le cas avec les antagonistes du PBAN ou autres inhibiteurs de nature enzymatique, doit se poursuivre et s'intensifier en raison du faible danger que ces produits, hautement spécifiques, posent à la santé humaine et à l'environnement. Toutefois, la découverte de tels inhibiteurs ne peut se

faire sans une connaissance approfondie des mécanismes qui contrôlent ces fonctions d'où la nécessité de faire appel à la recherche fondamentale afin de mieux servir la recherche appliquée.

## Références

- Altstein, M., Ben-Aziz, O., Scheffler, I., Zeltser, I. et Gibon, C. (2000). *Advances in the application of neuropeptide in insect control. Crop Protection*, 19: 547-555.
- Altstein, M. (2003). *Novel insect control agents based on neuropeptide antagonists. Journal of molecular neuroscience* 22: 147-157.
- Butenandt, A., Beckmann, R., Stamm, D. et Hecker, E. (1959). *Über den Sexuallockstoff des Seidenspinners Bombyx mori. Reindarstellung und Konstitutionsermittlung. Z. Naturforsch. B.* 14: 283-284.
- Chen, P. S., Stumm-Zollinger, E., Aigaki, T., Balmer, J., Bienz, M. et Böhlen, P. (1988). *A male accessory gland peptide that regulates reproductive behaviour of female D. melanogaster. Cell* 54: 291-298.
- Dallaire, R., Labrecque, A., Marcotte, M., Bauge, É. et Delisle, J. (2004). *The sublethal effects of tebufenozide on the precopulatory and copulatory activities of Choristoneura fumiferana and C. rosaceana. Entomologia experimentalis & applicata* 112: 169-182.
- Delisle, J., Picimbon, J. F. et Simard, J. (1999). *Physiological control of pheromone production in Choristoneura fumiferana and C. rosaceana. Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 42: 253-265.
- Delisle, J., Picimbon, J. F. et Simard, J. (2000). *Regulation of pheromone inhibition in mated females of Choristoneura fumiferana and C. rosaceana. Journal of Insect Physiology* 46: 913-921.
- Delisle, J. et Royer, L. (2005). *Y-a-t-il un avenir pour la lutte par confusion sexuelle contre les ravageurs forestiers? Dans : Regnault-Roger, C., Fabres, G., Philogène, B. (Eds). Pp.739-756. Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Paris: Lavoisier Tec et Doc.*
- Delisle, J. et Simard, J. (2002). *Factors involved in the post copulatory inhibition of pheromone production in Choristoneura fumiferana and C. rosaceana females. Journal of Insect Physiology* 48: 181-188.
- Eliyahu, D., Nagalakshmi, V., Applebaum, S. W., Kubli, E., Choffat, Y. et Rafaeli, A. (2003). *Inhibition of pheromone biosynthesis in Helicoverpa armigera by pheromonostatic peptides. Journal of Insect Physiology* 49: 569-574.
- L'État des forêts au Canada 2004-2005. La forêt boréale. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts.*
- Maltais, J., Régnière, J., Cloutier, C., Hébert, C. et Perry, D. F. (1989). *Seasonal biology of Meteorus trachynotus Vier. (Hymenoptera: Braconidae) and of its overwintering host Choristoneura rosaceana (Harr.) (Lepidoptera: Tortricidae). Canadian Entomologist* 121: 745-756.
- Marcotte, M., Delisle, J. et McNeil, J. N. (2003). *Pheromonostasis is not directly associated with post-mating sperm dynamics in Choristoneura fumiferana and C. rosaceana. Journal of Insect Physiology* 49: 81-90.
- Raina, A. K. et Klun, J. A. (1984). *Brain factor control of sex pheromone production in the female corn earworm moth. Science* 225: 531-533.
- Royer, E. et Delisle, J. (2005). *Utilisation des pièges à phéromone sexuelle dans la gestion des ravageurs. Dans : Regnault-Roger, C., Fabres, G., Philogène, B. (Eds). Pp. 723-738. Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Paris: Lavoisier Tec et Doc.*





# Protection biologique du bois contre le bleuissement à l'aide d'une souche albinos du champignon de bleuissement *Ceratocystis resinifera*



Pour protéger le bois contre le bleuissement, nous avons comparé le potentiel de Kasper, une souche albinos de champignon du bleuissement, à celui de Cartapip-97, un agent de lutte biologique qui se trouve sur le marché. Lors d'un essai en laboratoire et de quatre essais effectués sur le terrain, Kasper a permis de réduire de plus de 80 % le bleuissement du bois, soit plus efficacement que Cartapip-97 dans la majorité des cas. Pour nous assurer de l'innocuité environnementale de Kasper, nous avons également vérifié s'il avait la capacité d'infecter des arbres vivants.

## Potentiel de Kasper (souche albinos de *C. resinifera*) pour la protection du bois contre le bleuissement

Bien que la coloration de l'aubier par les champignons de bleuissement nuise seulement à l'esthétique du bois sans altérer ses propriétés mécaniques, elle abaisse sa valeur marchande et freine son exportation. De plus, le marché en évolution oblige les exportateurs de bois canadien à se tourner vers des produits à valeur ajoutée pour lesquels une excellente qualité est impérative. L'impact économique du bleuissement du bois est donc substantiel. Par exemple, en 1998, plusieurs scieries de l'Ouest canadien ont estimé leurs pertes à plus de 5 M \$ par scierie, en raison de la fréquence élevée de bleuissement des billots. Les phénols chlorés, comme le pentachlorophénate de sodium et le tétrachlorophénate de sodium, ont été longtemps les traitements chimiques de choix malgré leur grande toxicité (Uzunovic, 1996). Cependant, les préoccupations grandissantes concernant l'impact de ces produits sur l'environnement et la santé des travailleurs ont conduit à l'exclusion de la plupart des composés chimiques efficaces pour lutter contre le bleuissement (Byrne, 1998). De plus, il n'existe aucun pesticide chimique homologué utilisable en milieu forestier. Puisque la colonisation du bois par les champignons de bleuissement peut commencer seulement quelques jours après l'abattage des arbres (Davidson, 1935, Uzunovic et al., 1998, Yang et al., 1999), le traitement des billots devrait se faire immédiatement après la coupe (Byrne, 1999). L'utilisation de souches albinos (non pigmentées) de champignons de bleuissement est une approche de lutte biologique

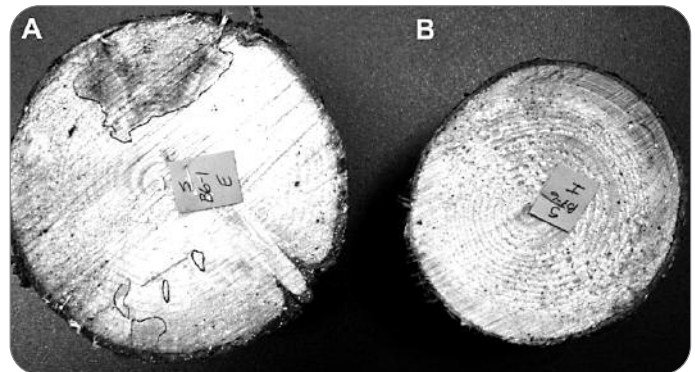


Figure 1 : A. Colonisation par les champignons de bleuissement pigmentés d'un billot non traité. B. Absence de coloration d'un billot traité avec le mutant albinos de *C. resinifera*, nommé Kasper.

prometteuse permettant de traiter les billots immédiatement après la coupe en milieu forestier.

L'objectif principal de ce projet était donc de développer une souche albinos d'une espèce à croissance rapide, telle *Ceratocystis resinifera* Harrington & Wingfield, afin de l'utiliser comme agent de protection biologique contre le bleuissement du bois, puisque comme les autres champignons de bleuissement, *C. resinifera* n'affecte pas les propriétés mécaniques du bois. À la suite du criblage de milliers d'ascospores issus de croisements entre différents isolats de *C. resinifera*, nous avons réussi à isoler une souche albinos que nous avons nommée Kasper (Morin et al., 2006). Le potentiel de Kasper à prévenir le bleuissement





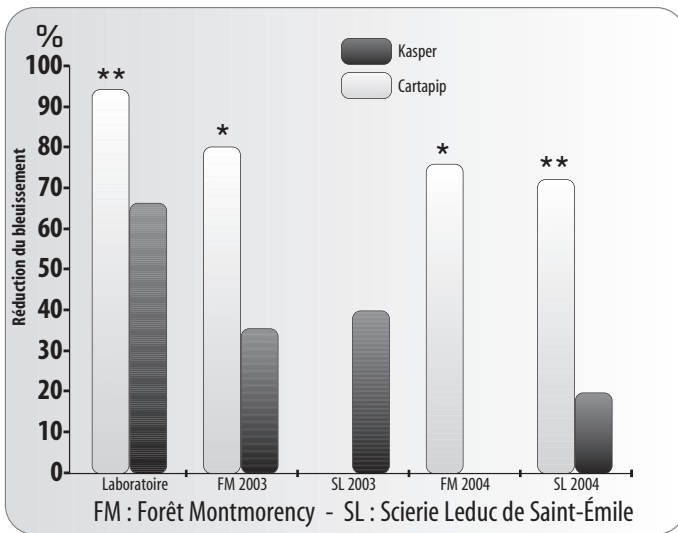


Figure 2 : Comparaison (contraste) de la réduction du bleuissement des billots traités avec Kasper et de ceux traités avec le Cartapip en laboratoire et sur le terrain (à la Forêt Montmorency et à la scierie Leduc de Saint-Émile). \* : significatif ; \*\* : très significatif.

du bois a été testé et comparé à celui de Cartapip-97, un agent de lutte biologique sur le marché qui prévient le bleuissement des billots de pin tordu et de pin rouge. Lors d'essais en laboratoire, Kasper a réduit jusqu'à 94,4 % du bleuissement de billots d'épinette blanche, ce qui le rend plus efficace que le Cartapip-97. Lors de quatre essais effectués sur le terrain dans la région de Québec, Kasper a permis de réduire le bleuissement de billots d'épinette noire jusqu'à 80 % (Fig. 1 et 2).

L'albinos de *C. resinifera* a également été plus efficace que le Cartapip-97 dans tous les essais à l'exception d'un seul réalisé à la scierie Leduc de Saint-Émile en 2003. Dans cette expérience où nous avons utilisé des billots deux fois plus longs (240 cm), Kasper n'a aucunement réduit le développement du bleuissement. Puisque Kasper a été inoculé seulement à l'extrémité des billots, il est possible qu'il se soit établi partiellement dans ces longs billots, devenant alors moins efficace. Au cours d'un essai effectué dans l'Ouest canadien par nos collaborateurs P. Tanguay et C. Breuil, Kasper a permis de prévenir presque totalement le bleuissement du bois de l'épinette blanche et ce, même après 24 semaines. En général, les résultats suggèrent que des souches albinos dérivées du champignon *C. resinifera* pourraient être très efficaces contre le bleuissement du bois.

### Pathogénécité de Kasper et de *C. resinifera*

Bien qu'il soit préférable pour son efficacité que l'agent de lutte biologique ait une croissance rapide et qu'il colonise agressivement les billots inoculés, il ne doit pas pour autant être capable d'infecter les arbres sains non abattus. Il fallait donc évaluer le pouvoir pathogène de Kasper, de même que le pouvoir de l'espèce dont il est issu, pour s'assurer de l'innocuité environnementale de son application à grande échelle. Les champignons de bleuissement sont généralement considérés comme saprophytes, colonisant principalement des arbres morts, mais certaines espèces comme *C. polonica*, peuvent aussi coloniser des arbres vivants grâce à leur association avec un scolyte vecteur (Christiansen et Ericsson, 1986, Furniss et al., 1990, Solheim et Krokene, 1998). À notre connaissance, la pathogénécité de *C. resinifera*

n'a pas encore été testée, mais l'espèce n'a jamais été associée à un scolyte capable d'attaquer des arbres vivants. Selon l'analyse des séquences de l'ADN ribosomal, *C. resinifera* est un proche parent de *C. rufipenni*, agent pathogène des *Picea* spp. associé au dendroctone de l'épinette, *Dendroctonus rufipennis*, (Harrington et al., 1996, Harrington et Wingfield, 1998, Solheim et Safranyik, 1997, Solheim, 1995, Wingfield et al., 1997). *C. resinifera* a déjà été extrait de blessures présentes sur des épinettes suggérant que l'espèce pourrait aussi être un agent pathogène (Harrington and Wingfield, 1998). Cependant, contrairement à *C. rufipenni*, *C. resinifera* dégage une forte odeur de fruit révélant une adaptation pour la dispersion par des insectes vecteurs plus généralistes, tels des mouches (Diptera) ou des nitidulidés (Coleoptera, Nitidulidae) plutôt que par des scolytes plus agressifs et capables d'attaquer des arbres vivants (Chang et Jensen, 1974, Juzwik et French, 1983, Harrington et Wingfield, 1998).

Le pouvoir pathogène de *C. resinifera* et de Kasper a été évalué par cinq tests en serre et un test sur le terrain (Morin et al., 2007). Dans les tests en serre, le développement de *C. resinifera* a été négligeable chez les jeunes plants de feuillus, alors qu'il a pu coloniser les trois espèces de conifères testées. *C. resinifera* a produit seulement de petites lésions et aucune mortalité chez le pin blanc dans tous les tests en serre, à l'exception du test où les jeunes plants étaient déjà attaqués par des pucerons. Nous considérons donc que *C. resinifera* est faiblement pathogène pour le pin blanc. D'un autre côté, ce champignon a induit des lésions plus considérables à l'épinette noire et à l'épinette blanche. L'épinette noire semblait plus affectée que l'épinette blanche si on se fie aux taux de mortalité respectifs de 40 % et de 5 % obtenus. Cependant, la pathogénécité de *C. resinifera* semble être conditionnelle puisqu'aucune mortalité n'a été observée dans un des tests en serre. Dans le test effectué sur le terrain, à la Forêt Montmorency, *C. resinifera* a provoqué des lésions significativement plus longues sur les plants matures d'épinette noire que celles induites par *Ophiostoma piceae* considéré peu pathogène (Fig. 3). Néanmoins, au cours de cette expérience, nous avons observé un seul plant mort auquel on avait inoculé *C. resinifera* de type sauvage à 200 points d'inoculation/m<sup>2</sup>.

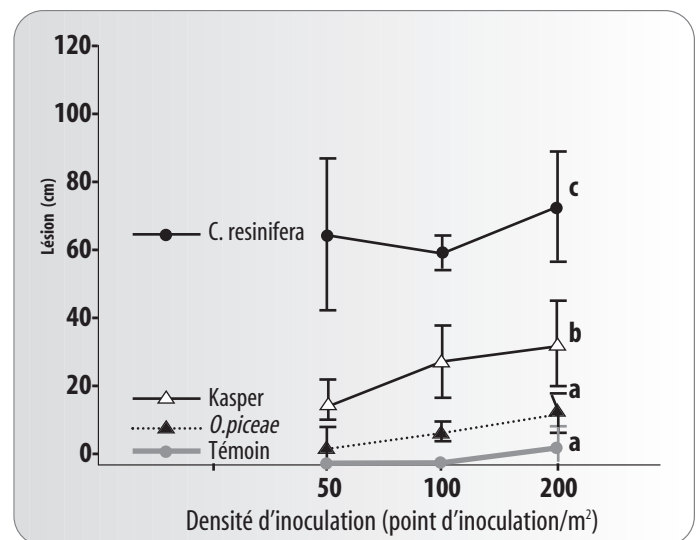


Figure 3 : Mesure de la lésion longitudinale chez des plants vivants matures (~ 50 ans) d'épinette noire auxquels on a inoculé Kasper, *C. resinifera* de type sauvage ou *O. piceae* faiblement pathogène. Une différence significative est observée lorsque les lettres situées à la droite de la courbe sont différentes.



De plus, Kasper a causé des lésions significativement plus petites que celles induites par la souche sauvage.

Nous avons également mesuré en laboratoire la croissance de *C. resinifera* et de quatre autres espèces de champignons de bleuissement en présence d'une faible concentration d'oxygène pour évaluer leur tolérance à cette condition. La tolérance à de faibles taux d'oxygène permet de distinguer les colonisateurs primaires, souvent plus pathogènes, des envahisseurs secondaires (Solheim, 1995). Dans ce test, Kasper et *C. resinifera* de type sauvage n'ont pas bien toléré la faible concentration d'oxygène puisque leur vitesse de croissance a été respectivement réduite de 45 % et de 62,7 %, comparativement à 17 % et à 26,4 % pour *C. rufipenni* et *O. piceaperdum*, tous les deux considérés comme des agents pathogènes (Fig. 4). À faible concentration d'oxygène, la vitesse de croissance de *C. resinifera* et de Kasper se comparait à celle de *Leptographium abietinum* considéré comme un agent pathogène de faiblesse.

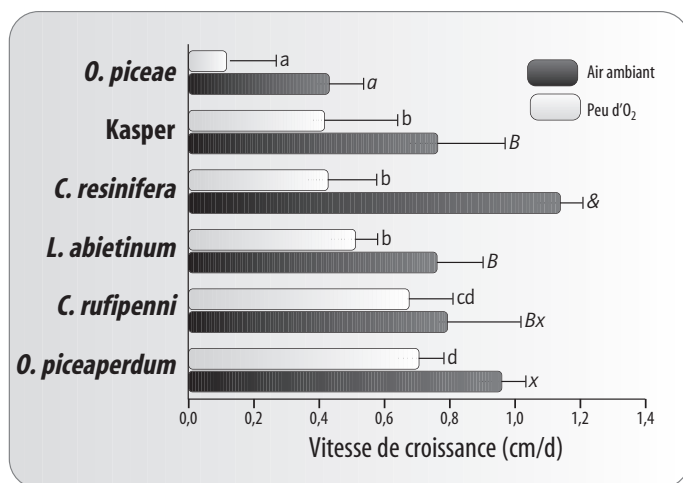


Figure 4 : Mesure de la vitesse de croissance pour l'évaluation de la tolérance de Kasper, de *C. resinifera* de type sauvage et de quatre autres champignons de bleuissement soumis à une faible concentration d'oxygène (O<sub>2</sub>). Une différence significative est observée lorsque les lettres sont différentes.

## Conclusion

La réduction du bleuissement de plus de 80 % des billots traités avec Kasper en laboratoire et sur le terrain démontre tout le potentiel de cet agent de lutte. Elle justifie l'optimisation de son potentiel que ce soit en améliorant sa formulation et son application ou en déterminant les conditions favorables à son établissement dans les billots. Une fois optimisé, Kasper pourra alors être testé sur les principales essences forestières et être comparé au produit commercial Cartapip, formulé pour son application sur le terrain (Sylvanex). Malgré l'aptitude de *C. resinifera* à coloniser et à tuer des plants d'épinette, deux éléments importants de la pathogénicité d'un champignon de bleuissement lui font défaut, soit la tolérance à de faibles concentrations d'oxygène et un insecte vecteur primaire capable d'attaquer des arbres sains tels certains scolytes de l'écorce. D'autres études sont donc nécessaires pour identifier les insectes vecteurs de *C. resinifera* afin de mieux évaluer le risque d'utiliser Kasper à grande échelle.

## Références

- Byrne, A. 1998.** Chemical control of biological stain: Past, present, and future. Pages 63-69 dans : *Biology and Prevention of Sapstain*. Forest prod. Soc. Madison, WI.
- Byrne, A. 1999.** Canadian research in sapstain control—brief history and current focus. Pages 81-85 dans : *The 2nd New Zealand Sapstain Symposium*. Édité par B. Kreber. Forest Research Institute, Rotorua, New Zealand.
- Chang, V.C.S., and Jensen, L., 1974.** Transmission of the pineapple disease organism of sugarcane by nitidulid beetles in Hawaii. *J. Econ. Entomol.* 67: 190-192.
- Christiansen, E. and Ericsson, A., 1986.** Starch reserves in *Picea abies* in relation to defence reaction against a bark beetle transmitted blue stain fungus, *Ceratocystis polonica*. *Can. J. For. Res.* 16: 78-83.
- Davidson, R.W., 1935.** Fungi causing stain in logs and lumber in the southern States, including five new species. *J. Agric. Res.* 50: 789-807.
- Furniss, M.M., Solheim, H. et Christiansen, E., 1990.** Transmission of blue-stain fungi by *Ips typographus* (Coleoptera : Scolytidae) in Norway spruce. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 83: 712-716.
- Harrington, T.C., Steimel, J.P., Wingfield, M.J. et Kile, G.A., 1996.** Isozyme variation and species delimitation in the *Ceratocystis coeruleus* complex. *Mycologia* 88: 104-113.
- Harrington, T. C. et Wingfield M. J., 1998.** The *Ceratocystis* species on conifers. *Can. J. Bot.* 76 : 1446-1457.
- Juzwik, J., et French, D.W., 1983.** *Ceratocystis fagacearum* and *C. piceae* on the surfacers of free-flying and fungus-mat-inhabiting nitidulids. *Phytopathology* 73: 1164-1168.
- Morin, C., Solajo Couturier et Bernier, L., 2007.** Pathogenicity of wild-type and albino strains of the fungus *Ceratocystis resinifera*, a potential biocontrol agent against bluestain. *Can. J. For. Res.* In press.
- Morin, C., Tanguay, P., Breuil, C., Yang, D.-Q., et Bernier L., 2006.** Bioprotection of spruce logs against sapstain using an albino strain of *Ceratocystis resinifera*. *Phytopathology* 96: 526-533.
- Solheim, H. 1995.,** A comparison of blue-stain fungi associated with the North American spruce beetle *Dendroctonus rufipenni* and the Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus*. In *Forest pathology research in the Nordic countries 1994. Proc. From the SNS meeting in forest pathology at Skogbrukets Kurscenter, 9-12 August 1994, Biri, Norway.* Edited by D. Aamlid. *Aktuelt fra Skogforsk* 4-95. pp. 61-67.
- Solheim, H. et Krokene, P. 1998.,** Growth and virulence of *Ceratocystis rufipenni* and three blue-stain fungi isolated from Douglas-fir beetle. *Can. J. Bot.* 76 : 1763-1769.
- Solheim, H. et Safranyik, L., 1997.** Pathogenicity to Sitka spruce of *Ceratocystis rufipenni* and *Leptographium abietinum*, blue-stain fungi associated with the spruce beetle. *Can. J. For. Res.* 27 : 1336-1341.
- Uzunovic, A. 1996.,** Biology of bluestain in the context of modern forestry. Thèse de doctorat. Departement of Biology, University of London. 171 p.



**Uzunovic, A., Webber, J.F. et Dickinson, D.J., 1998.** Influence of bark damage on bluestain development in pine logs. Pages 23-28 dans: *Biology and Prevention of Sapstain. Forest prod. Soc. Madison, WI.*

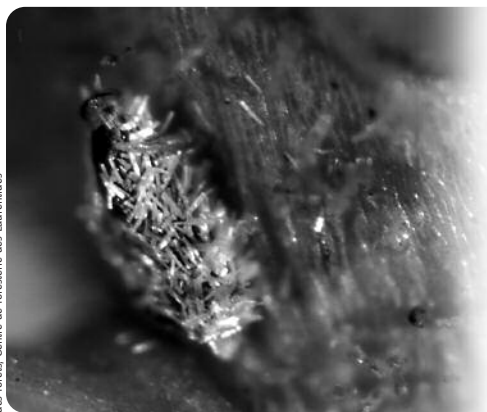
**Wingfield, M.J., Harrington, T.C. et Solheim, H., 1997.** Two species in the *Ceratocystis coerulescens* complex from conifers in western North America. *Can. J. Bot.* 75: 827-834.

**Yang, D.-Q., Gagné, P., Uzunovic, A., Gignac, M. et Bernier, L., 1999.** Development of fungal stain in logs of three Canadian softwoods. *Forest Prod. J.* 49: 39-42.





# Lutte intégrée contre le puceron des pousses du sapin, *mindarus abietinus*



Le puceron des pousses du sapin, *Mindarus abietinus* Koch, est l'un des principaux ravageurs du sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) cultivé comme arbre de Noël au Québec. Ses dommages aux pousses nuisent à la qualité esthétique et à la valeur des arbres. Nos travaux ont permis de développer une méthode d'évaluation des populations permettant de prédire son impact économique. Un seuil d'intervention basé sur son abondance au printemps a été déterminé et un traitement insecticide n'est recommandé que s'il est atteint ou dépassé. De plus, nous avons montré que le complexe d'ennemis naturels du puceron des pousses est très diversifié et peut réduire de façon significative son abondance.

La sévérité des infestations du puceron des pousses du sapin varie d'une année à l'autre et d'un arbre à l'autre au cours d'une même saison. Lors d'importantes infestations, comme durant nos travaux dans la seconde moitié des années 90, 80 % des pousses annuelles sont endommagées (Berthiaume et al., 2001a) et la croissance des arbres est affectée (Desrosiers, 1998). De telles infestations peuvent retarder la mise en marché des arbres ou réduire leur valeur commerciale. Les populations du puceron des pousses sont contrôlées à l'aide du diazinon, le seul insecticide homologué pour lutter contre ce ravageur dans les plantations de sapins de Noël. Cependant, l'utilisation généralisée de cet insecticide dans ce système agroforestier a des impacts environnementaux démontrés au Québec notamment chez des oiseaux nicheurs (Rondeau et Desgranges, 1991). Développé dans les années 50, le diazinon est très toxique pour les vertébrés et visé par un retrait éventuel du marché nord-américain. Notre projet de recherche avait pour but d'amorcer le développement d'un programme de lutte intégrée contre le puceron des pousses du sapin pour diminuer l'utilisation du diazinon dans les plantations de sapins de Noël. Nous avons aussi comme objectif de mieux comprendre la dynamique du puceron des pousses et d'évaluer l'importance de ses ennemis naturels afin de pallier notre manque de connaissances sur cet important ravageur des plantations d'arbres de Noël.

## Le cycle vital

Le cycle vital du puceron des pousses compte trois à quatre générations qui se succèdent d'avril à juillet (Varty, 1966; Deland et al., 1988;

Berthiaume et al., 2001a). L'insecte passe l'hiver sous forme d'œufs déposés principalement sur les pousses annuelles en juillet par la femelle sexuée. Dans le sud du Québec, les œufs qui ont survécu à l'hiver éclosent entre la mi-avril et la mi-mai, selon les conditions thermiques printanières (Deland et al., 1998). Les jeunes fondatrices (pucerons de la F1 ou de la 1<sup>ère</sup> génération du cycle annuel) issues des œufs se nourrissent d'abord des aiguilles de l'année précédente, puis se déplacent vers les bourgeons fraîchement ouverts, où elles continuent de s'alimenter et finissent leur croissance sur les jeunes aiguilles (Varty, 1968). Les fondatrices ne causent pas de dommages apparents aux aiguilles des pousses de l'année précédente (Varty, 1966). Lorsqu'elles atteignent le stade adulte, leur reproduction parthénogénique (absence de mâles) commence. Chaque fondatrice produit en moyenne 70 pucerons (2<sup>e</sup> génération ou F2) qui deviendront des adultes ailés (environ 90 %) ou aptères (10 %). La fondatrice et ses descendants forment alors une colonie pouvant atteindre et même dépasser 100 individus qui s'alimentent sur la jeune pousse causant une déformation typique appelée pseudo galle (Nettleton et Hain, 1982; Rather et Mills, 1989). Abri nutritif pour la colonie, cette pseudo galle cause le recroquevillement des aiguilles et le rabougrissement de la pousse (Bradbury et Osgood, 1986; Rather et Mills, 1989). Par la

«La sévérité des infestations du puceron des pousses du sapin varie d'une année à l'autre et d'un arbre à l'autre au cours d'une même saison.»



suite, les pucerons F2 ailés ou sexupares devenus adultes se disperseront par voie aérienne (Varty, 1966, 1968; Rather et Mills, 1989). La dispersion des sexupares ailés peut se faire sur le même arbre, d'un arbre à l'autre à l'intérieur d'une plantation, ou vers des arbres situés dans d'autres plantations (Deland et al., 1998).

Durant la même période, les vivipares aptères (minoritaires) se reproduisent sans se disperser sur les pousses du sapin, mais leur progéniture (F3) est exclusivement constituée de sexupares ailés, ce qui permet de prolonger et d'intensifier la dispersion du ravageur (Varty, 1966, 1968; Deland et al., 1998). Après la dispersion aérienne, les sexupares ailés se déposent sur les arbres pour donner naissance à la dernière génération du puceron, celle des sexués (troisième ou quatrième selon qu'ils sont issus de sexupares, ailés F2 ou F3) qui comprend des mâles et des femelles. Les sexués ne causent pas de dommages apparents aux arbres puisqu'ils se nourrissent peu ou pas et que les pousses et leurs aiguilles sont alors bien développées. Après l'accouplement, la femelle sexuée pond un ou deux œufs principalement sur les pousses de l'année courante (Varty, 1966; Nettleton et Hain, 1982; Deland et al., 1998). C'est sous cette forme que le puceron passe l'hiver.

## Détection et surveillance

Historiquement, aucune méthode ne permettait d'évaluer efficacement les densités de populations des pucerons des pousses tôt en saison et il devenait hasardeux de tenter une prédiction sur les degrés d'infestation. C'est pourquoi beaucoup de traitements insecticides étaient effectués soit de manière préventive alors que les risques réels d'infestation n'étaient pas connus, soit trop tardivement après la détection de dommages. Afin de minimiser et de mieux planifier les applications d'insecticide et de limiter leurs effets négatifs sur l'environnement et la faune non visée (Nettleton et Hain, 1982; Rondeau et Desgranges, 1991; Kleintjes, 1997), un système de détection et de surveillance en trois étapes a été développé (Deland et al., 1998). Cette approche permet d'estimer le risque d'infestation par le puceron des pousses du sapin jusqu'à un an d'avance.

L'estimation des populations de pucerons ailés de la F2 vers le début juillet (seule période de vol) à l'aide de pièges collants jaunes permet d'obtenir un indice du risque d'infestation pour l'année suivante, bien que cette approche n'ait pas encore été testée dans des conditions réelles. Au cours de la même saison, l'évaluation de la densité des œufs hivernant sur les pousses de l'année courante permet d'identifier les plantations le plus à risque pour la saison suivante (Deland et al., 1998). Enfin, s'il y a risque de dommages à partir de ces prévisions, il est conseillé d'effectuer un dépistage des fondatrices dans les plantations durant le mois de mai, et ce, au moins deux semaines avant la formation des colonies consécutive à la maturation des fondatrices (Deland et al., 1998; Kleintjes et al., 1999). Cette approche de dépistage est maintenant couramment pratiquée au Québec depuis plusieurs années. (<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/Protectiondescultures/reseau/reseau.htm>) Lors de cette vérification, il faut déterminer le pourcentage de pousses de l'année précédente ou de bourgeons ouvrants, porteurs de fondatrices. Le seuil de dommages acceptables pour les acheteurs est de 5 % des pousses annuelles endommagées et nous avons montré qu'il sera atteint lorsque 9 % des pousses sont porteuses de fondatrices en mai (Deland et al., 1998). Toute application d'insecticide en deçà de ce seuil de 9 % n'est donc

pas recommandée puisqu'il n'y aura aucun retour sur l'investissement. Par ailleurs, dans un contexte de gestion intégrée, il est également primordial de considérer l'âge de la plantation avant d'effectuer des traitements insecticides qui interfèrent généralement avec les ennemis naturels. En effet, les dommages esthétiques causés par le puceron des pousses ne sont visibles que pendant quelques années puisqu'ils disparaissent éventuellement avec la chute du vieux feuillage (Nettleton et Hain, 1982) et la taille annuelle des arbres. Dans cette perspective, il n'est pas nécessaire de traiter les arbres avant qu'ils approchent l'âge de la commercialisation.

Un modèle de prévision basé sur l'accumulation des degrés-jours au-dessus du seuil thermique de 2°C permet de prédire l'éclosion des œufs et le développement des fondatrices des colonies de pucerons des pousses du sapin (Deland et al., 1998; Berthiaume et al., 2001a). Il permet de mieux cibler l'échantillonnage des fondatrices. Étant donné que les fondatrices sont difficiles à détecter avant leur deuxième stade, leur dépistage visuel (l'utilisation d'une loupe 16x est recommandée) s'avère plus efficace s'il est effectué à partir de 195 degrés-jours au-dessus du seuil thermique de 2°C, mais avant 255 degrés-jours, ce qui correspond au début de la reproduction des fondatrices (Deland et al., 1998). La fenêtre optimale pour faire le dépistage et l'intervention de contrôle est donc restreinte notamment par temps chaud (<1 semaine), ce qui nécessite un suivi de la part des producteurs.

## Ennemis naturels

Lorsque les traitements insecticides n'interfèrent pas, il existe une grande diversité d'ennemis naturels attaquant le puceron des pousses dans les plantations d'arbres de Noël au Québec (Berthiaume, 1998; Berthiaume et al., 2001a, 2001b; Cloutier et Jean, 2002). Les coccinelles, les larves de syrphides et les cantharides sont les principaux prédateurs actifs du puceron des pousses (Varty, 1966; Nettleton et Hain, 1982; Kleintjes, 1997; Berthiaume, 1998; Fondren et al., 2004).

### Les coccinelles

De nombreuses espèces de coccinelles fréquentent les plantations d'arbres de Noël et attaquent le puceron des pousses (Nettleton et Hain, 1982; Rather et Mills, 1989; Kleintjes, 1997; Berthiaume, 1998; Fondren et al., 2004). Parmi elles, deux espèces sont particulièrement abondantes soit la coccinelle ocellée, *Anatis mali* Say, et la coccinelle asiatique, *Harmonia axyridis* (Pallas). La coccinelle ocellée est une espèce indigène qui se rencontre presque exclusivement dans les écosystèmes conifériens. Spécialiste des pucerons associés aux conifères, elle possède des traits biologiques et comportementaux lui permettant d'évoluer dans ce type d'habitat (Gagné et Martin, 1968; Berthiaume et al., 2007). À l'opposé, la coccinelle asiatique, en provenance de l'Asie du Sud-Est, récemment établie au Québec (Coderre et al., 1995), mais introduite en Amérique du Nord à plusieurs reprises au cours du siècle dernier (Chapin et Brou, 1991),

«Lorsque les traitements insecticides n'interfèrent pas, il existe une grande diversité d'ennemis naturels(...).»



est considérée comme hautement généraliste. Elle est active dans une grande variété d'écosystèmes et sur de nombreuses plantes hôtes (Chapin et Brou, 1991; Coderre et al., 1995; Lamana et Miller, 1996). De plus, elle pourrait exploiter plus d'une centaine d'espèces de pucerons (Lamana et Miller, 1996). Depuis environ dix ans au Québec, elle est abondante un peu partout et est même considérée comme nuisible en période hivernale puisqu'elle se réfugie fréquemment à l'intérieur des habitations pour survivre au froid (Huelsman et Kovach, 2004). Elle est souvent citée en exemple pour illustrer les dangers que représente l'utilisation d'espèces exotiques en lutte biologique.

En comparaison avec les caractéristiques de la coccinelle asiatique, nos travaux en Estrie ont démontré que les adultes hivernant de la coccinelle ocellée étaient plus hâtifs au printemps et que leur cycle vital était mieux synchronisé avec celui du puceron des pousses du sapin (Berthiaume et al., 2007). Active environ 10 jours plus tôt que la coccinelle asiatique, la coccinelle ocellée s'attaque aux fondatrices avant leur reproduction, limitant ainsi l'explosion démographique du ravageur (Berthiaume et al., 2007). Par ailleurs, sa réponse numérique (abondance des individus sur les arbres) semble également supérieure (Berthiaume et al., 2007). En affectant la survie des fondatrices avant la formation des colonies, les coccinelles peuvent prévenir les dommages aux arbres. Par ailleurs, nos observations montrent que la coccinelle ocellée possède plusieurs des caractéristiques recherchées chez un ennemi naturel efficace et capable de limiter l'ampleur des dommages engendrés par un ravageur comme le puceron des pousses du sapin.

## La prédation par les larves de coccinelles

Les larves de coccinelle, en particulier celles de la coccinelle ocellée, peuvent réduire de façon importante les densités de population du puceron des pousses. Pour démontrer l'effet bénéfique des larves de coccinelle sous des conditions naturelles, on a éliminé systématiquement des œufs de coccinelles sur plusieurs arbres. À l'inverse, des arbres témoins comparables, mais n'ayant subi aucune intervention, ont profité des effets bénéfiques des larves de coccinelle (Berthiaume et al., 2000). Ces travaux inédits ont démontré que les larves de coccinelle sur des sapins fortement infestés par le puceron des pousses permettaient de réduire significativement le nombre de colonies actives (Berthiaume et al., 2000). De plus, l'action prédatrice des larves entraîne une réduction du nombre de pucerons par colonie active (Berthiaume et al., 2000). Nous avons aussi montré que cette action répressive des larves de coccinelle sur l'abondance des pucerons entraîne une augmentation significative de la longueur des pousses terminales du sapin baumier comparativement aux arbres sans prédation par des larves (Berthiaume et al., 2000). Les larves de coccinelle ont également un effet bénéfique à plus long terme puisque les arbres protégés par les larves de coccinelle avaient significativement moins d'œufs de puceron en fin de saison (Berthiaume et al., 2000). Une réduction du nombre d'œufs hivernant sur les sapins engendrera moins de fondatrices la prochaine saison, ce qui devrait se traduire par une réduction des dommages sur les arbres cultivés.

### Les syrphides

Au Québec, les larves de plusieurs espèces de mouches syrphides sont aussi des prédateurs importants du puceron des pousses du sapin (Berthiaume et al., 2001a). Les syrphides adultes sont floricoles et se

nourrissent de nectar et de pollen. Leur présence dans les plantations d'arbres de Noël pourrait d'ailleurs être favorisée par la présence de plantes à fleurs. Les larves de syrphide sont moins mobiles que les larves de coccinelle, mais sont également de redoutables prédatrices du puceron des pousses (Fondren et al., 2004). Kleintjes (1997) a identifié une dizaine d'espèces de syrphides associées aux plantations d'arbres de Noël au Wisconsin. Au cours de nos travaux, la période d'abondance des larves de syrphide était bien synchronisée avec celle des colonies du puceron des pousses du sapin.

### Les cantharides

En plus des coccinelles et des syrphides, le puceron des pousses du sapin est également attaqué par une espèce de coléoptère cantharide (Berthiaume et al., 2001b). Les cantharides sont généralement des prédateurs occasionnels et facultatifs des pucerons, mais, durant nos travaux, les populations de pucerons des pousses étaient très abondantes. *Podabrus rugosulus* LeConte apparaissait à un moment bien précis du cycle du puceron, soit lors de la maturation des sexupares ailés. Spécialement en période d'abondance, ces derniers quittent la colonie pour prendre leur envol et c'est à ce moment que *P. rugosulus* exerce sa prédation sur le puceron (Berthiaume et al., 2001b). Après la dispersion des ailés du puceron, la densité des populations de *P. rugosulus* diminuait rapidement. En affectant la production des sexués, cette cantharide est utile pour le contrôle préventif, étalé sur l'ensemble du cycle de production du sapin de Noël (Berthiaume et al., 2001b).

## Conclusion

Les connaissances acquises dans le cadre de ce projet ont permis de jeter les bases d'un programme de lutte intégrée contre le puceron des pousses du sapin dans les plantations de sapins de Noël au Québec. L'utilisation d'un système de détection et de surveillance efficace et la détermination d'un seuil d'intervention (9 % des pousses infestées par des fondatrices au printemps, entre 195 et 255 degrés-jours au-dessus de 2°C) permettent une lutte plus efficace et plus respectueuse de l'environnement. Par ailleurs, d'autres recherches sont nécessaires pour élaborer une approche de gestion encore plus globale permettant l'intégration d'arbres à débourrement tardif (Desrosiers 1998; Fondren et McCullough 2003) et l'augmentation de l'efficacité des ennemis naturels par l'utilisation de plantes compagnes, importantes pour certains ennemis naturels.

## Références

- Berthiaume, R. 1998.** *Les ennemis naturels du puceron des pousses du sapin, Mindarus abietinus* Koch. (Homoptère : Aphididae), avec une emphase particulière sur les coccinelles *Anatis mali* Say et *Harmonia axyridis*. *Mémoire de maîtrise. Université Laval. 121 p.*
- Berthiaume, R., Hébert, C. et C. Cloutier. 2000.** *Predation on Mindarus abietinus infesting balsam fir grown as Christmas trees : the impact of*

«Les connaissances acquises dans le cadre de ce projet ont permis de jeter les bases d'un programme de lutte intégrée contre le puceron des pousses du sapin dans les plantations de sapins de Noël au Québec.»



- coccinellid larval predation with emphasis on *Anatis mali*. *BioControl* 45 : 425-438.
- Berthiaume, R., Hébert, C. et C. Cloutier. 2001a.** Le puceron des pousses du sapin. *Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy, Québec. Feuillet d'information no 29.* 20 p.
- Berthiaume, R., Hébert, C. et C. Cloutier. 2001b.** *Podabrus rugosulus* (Coleoptera: Cantharidae), an opportunist predator of *Mindarus abietinus* (Homoptera : Aphididae) in Christmas tree plantation. *The Canadian Entomologist* 133: 151-154.
- Berthiaume, R., Hébert, C. et C. Cloutier. 2007.** Comparative utilization of *Mindarus abietinus* (Homoptera: Aphididae) by two coccinellids (Coleoptera: Coccinellidae), the native *Anatis mali* and the exotic *Harmonia axyridis*, in a Christmas tree plantation. *Environ. Entomol.* 36: 319-328.
- Bradbury, R.L. et E.A. Osgood. 1986.** Chemical control of balsam twig aphid, *Mindarus abietinus* Koch (Homoptera: Aphididae). Maine agricultural experiment station. University of Maine. Technical bulletin 124. 12 p.
- Chapin, J.B. et V.A. Brou. 1991.** *Harmonia axyridis* (Pallas), the third species of the genus to be found in the United States (Coleoptera: Coccinellidae) *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 93: 630-635.
- Cloutier C. et C. Jean. 2002.** *Mindarus abietinus* Koch, Balsam Twig aphid (Homoptera: Mindaridae). Chapitre 36 p. 185-190. In : P.G. Mason et J.T. Huber, Éditeurs, «Biological control programmes in Canada, 1981-2000».
- Coderre, D., É. Lucas, É et I. Gagné. 1995.** The occurrence of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) in Canada. *Can. Entomol.* 127 : 609-611.
- Deland, J.P., Berthiaume, R., Hébert, C. et C. Cloutier. 1998.** Programme alternatif de protection du sapin de Noël contre le puceron des pousses du sapin dans le contexte d'une saine gestion des ressources environnementales. Rapport final 1998. Projet de recherche et technologie en environnement. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 105 p.
- Desrosiers, N. 1998.** Influence de la fertilisation azotée et de la date de débourrement sur les populations du puceron des pousses *Mindarus abietinus* Koch. (Homoptères : Aphididae). *Mémoire de maîtrise.* Université Laval. 109 p.
- Fondren, K.M. et D.G. McCullough. 2003.** Phenology and density of balsam twig aphid, *Mindarus abietinus* Koch (Homoptera: Aphididae) in relation to bud break, shoot damage, and value of fir Christmas trees *J. Econ. Entomol.* 96: 1760-1769.
- Fondren, K.M., D.G., McCullough et A.J. Walter. 2004.** Insect predators and augmentative biological control of balsam twig aphid (*Mindarus abietinus* Koch) (Homoptera: Aphididae) on Christmas tree plantations. *Environ. Entomol.* 33: 1652-1661.
- Gagné, W.C. et J.L. Martin. 1968.** The insect ecology of red pine plantations in central Ontario. *Can. Entomol.* 100: 835-846.
- Huelsman, M. et J. Kovach. 2004.** Behavior and treatment of the multicolored asian lady beetle (*Harmonia axyridis*) in the urban environment. *American Entomologist* 50: 163-164.
- Kleintjes, P.K. 1997.** Midseason insecticide treatment of balsam twig aphids (Homoptera: Aphididae) and their aphidophagous predators in a Wisconsin Christmas tree plantation. *Environ. Entomol.* 26: 1393-1397.
- Kleintjes, P.K., Lemoine, E.E., Schroeder, J. et M.J. Solensky. 1999.** Comparison of methods for monitoring *Mindarus abietinus* (Homoptera: Aphididae) and their potential damage in Christmas tree plantation. *J. Econ. Entomol.* 92: 638-643.
- LaMana, M.L. et J.C. Miller. 1996.** Field observations on *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) in Oregon. *Biological Control* 6: 232-237.
- Nettleton, W.A. et F.P. Hain. 1982.** The life history, foliage damage, and control of the balsam twig aphid, *Mindarus abietinus* (Homoptera: Aphididae), in Fraser fir Christmas tree plantations of western North Carolina. *Can. Entomol.* 114: 155-165.
- Rather, M. et N.J. Mills. 1989.** Possibilities for the biological control of Christmas tree pests, the balsam gall midge *Paradiplosis tumifex* Gagné (Diptera: Cecidomyiidae) and the balsam twig aphid, *Mindarus abietinus* Koch (Homoptera: Mindaridae), using exotic enemies from Europe. *Biocontrol News and Information* 19: 119-129.
- Rondeau, G. et J.L. Desgranges. 1991.** Effets des arrosages de diazinon (Basudin), du diméthoate (Cygon) et du savon insecticide (Safet TM) sur la faune avienne dans les plantations de sapin de Noël. *Service canadien de la faune, Région de Québec. Série de rapports techniques no 141.* 54 p.
- Varty, I.W. 1966.** The seasonal history and population trends of the balsam twig aphid, *Mindarus abietinus* Koch., in New Brunswick. Forest research laboratory. Fredericton. 21 p.
- Varty, I.W. 1968.** The biology of the the balsam twig aphid, *Mindarus abietinus* Koch., in New Brunswick: polymorphism, rates of development, and seasonal distribution of populations. Forest research laboratory. Fredericton. 65 p.





# La maladie hollandaise de l'orme : un exemple de lutte intégrée

Le texte de M. Guy Bussières n'était pas disponible lors de l'impression

## Résumé de la conférence :

L'existence de la maladie hollandaise de l'orme au Canada est connue depuis 1944. La maladie cause la mortalité des ormes d'Amérique et elle s'est disséminée à l'aire de distribution naturelle de l'orme d'Amérique. Deux espèces de champignons ont provoqué la maladie hollandaise et ils ont été transmis principalement par deux scolytes, l'un étant indigène, et l'autre exotique. Au début, les programmes de lutte consistaient à restreindre les attaques des insectes et à réduire leur nombre par des mesures sanitaires. Par la suite, plusieurs municipalités canadiennes ont adopté des programmes de lutte intégrée afin de préserver leurs ormes. Ainsi, la Ville de Québec applique un programme de lutte contre la maladie hollandaise de l'orme depuis 1981 et elle maintient un taux de mortalité des ormes inférieur à 2 %. Par définition, la lutte intégrée est une méthode décisionnelle qui a recours à toutes les techniques nécessaires pour réduire les populations d'organismes nuisibles de façon efficace et économique, tout en respectant l'environnement. Les principes de la lutte intégrée sont simples, mais ils doivent être appliqués rigoureusement. Nous discuterons des principales étapes d'un plan de lutte intégrée en prenant comme exemple celui de la Ville de Québec.







# De la production à la commercialisation



Le nombre d'insecticides biologiques actuellement disponibles ne semble pas devoir augmenter de façon importante durant les prochaines années. Avec *Beauveria bassiana* pour exemple, nous allons illustrer les problèmes reliés au développement de ces produits en présentant les principales étapes à parcourir depuis la découverte d'un agent microbien prometteur jusqu'à son arrivée sur le marché. Finalement, nous allons présenter des pistes pouvant conduire à la mise sur pied d'un scénario propice à la commercialisation d'un plus grand nombre de produits.

## Situation en foresterie

Des insecticides biologiques sont déjà homologués pour leur utilisation en foresterie. Ce sont principalement des produits à base de *Bacillus thuringiensis* (*B.t.*) qui sont employés pour contrôler certaines espèces de lépidoptères comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE), la spongieuse, la livrée des forêts, etc. Il est important de se rappeler que ces produits furent d'abord développés pour une utilisation en agriculture et qu'ils furent, par la suite, adaptés aux besoins du secteur forestier pour le contrôle notamment de la TBE et de la spongieuse. Par contre, il existe peu de produits à base de champignons et de virus.

## Recherche et développement

Pourtant, la recherche se poursuit et, bon an, mal an, environ 1 600 publications sur les biopesticides paraissent dans le monde. Plusieurs agents prometteurs ont déjà été identifiés, comme de nouvelles souches de *B.t.*, plusieurs souches de champignon et de virus. Par ailleurs, l'utilisation de virus comme agents insecticides est beaucoup mieux perçue par le public qu'il y a une dizaine d'années, quand peu de gens acceptaient l'idée de leur utilisation à grande échelle. À cet effet, il convient de saluer l'homologation récente du produit ABIETIV™. Malgré la découverte de ces nouveaux agents insecticides prometteurs, la plupart ne sont toujours pas commercialisés. Il semble donc que des écueils limitent le transfert technologique de ces agents.

Afin de tenter de comprendre les raisons de cette situation, je prendrai comme exemple celui d'un champignon entomopathogène : le *Beauveria bassiana*.

*Beauveria bassiana* est efficace contre plusieurs espèces d'insectes. Des souches indigènes ont été isolées et elles ont donné des résultats positifs sur le terrain, notamment contre l'anthonome de la fleur du fraisier, le criquet voyageur et certaines autres espèces forestières. Ses conditions d'utilisation sont définies, il a une bonne durée de vie sur le terrain et sa production en laboratoire a été réalisée avec succès. Étant

donné tous ces acquis, peut-on considérer que le *Beauveria bassiana* soit un candidat sérieux pour une future commercialisation?

## Critères de sélection pour la commercialisation

Avant de commercialiser un tel agent, il faut qu'il soit soumis à une série de critères dont les plus importants sont : l'examen attentif du marché visé par le produit dont une comparaison de son efficacité à celle des produits déjà commercialisés, l'analyse et la compréhension des besoins de l'utilisateur et la rentabilité de l'opération, c'est-à-dire l'analyse approfondie des coûts liés au développement du produit en rapport avec les ventes anticipées. Ce dernier critère est très important, car aucune entreprise sérieuse ne développera un produit dont aucun acheteur ne voudrait en raison de son prix élevé.

Par ailleurs, des facteurs limitatifs peuvent aussi réduire les chances de voir un agent insecticide apparaître sur le marché. Ainsi, si le marché ciblé vise un insecte dont les dommages ont peu d'importance économique (petit marché) et dont l'infestation est éphémère, s'il y a nécessité de mettre au point un nouveau type de production et de formulation et si la rentabilité du produit est faible ou trop longue à atteindre, il y a de fortes probabilités que ce produit ne soit jamais commercialisé.

«Avant de retrouver sur le marché un produit à base de *Beauveria bassiana*, plusieurs étapes devront être franchies.»

## Commercialisation de *Beauveria bassiana*

Avant de retrouver sur le marché un produit à base de *Beauveria bassiana*, plusieurs étapes devront être franchies dont les principales sont : la définition du marché, l'optimisation de la production à grande



échelle, le développement de la formulation, le conditionnement du produit, l'obtention de l'homologation, la distribution, le marketing et la vente.

### Marché

En ce qui concerne le marché, les principaux points à considérer sont : le type de marché visé par le produit (usage restreint, commercial ou domestique), la taille (marché important ou limité), la concurrence d'autres produits et les revenus espérés.

### Production

L'étape de la production va prendre en compte tout ce qu'il faut pour optimiser la production à grande échelle : le choix du meilleur milieu de production (solide, semi-solide ou fermentation), la disponibilité d'une source fiable pour la matière première et le contrôle de la qualité. Il faut toujours garder à l'esprit le fait que le produit doit être de qualité et au plus bas coût possible.

### Formulation et conditionnement

Pour l'étape de la formulation et du conditionnement, on s'attardera au type de format qui répondra le mieux aux besoins des utilisateurs (poudre mouillable, granules pouvant se disperser, liquide, solide, briquettes, etc.), aux coûts de production de la formulation, aux types de contenants (sachets, bouteilles, bidons, barils, etc.) et on s'assurera que la chaîne de remplissage est adaptée au type de contenants sélectionné.

### Homologation

Pour l'homologation, il faut considérer plusieurs points dont les plus importants sont : les études toxicologiques, les spécifications du produit avec des ingrédients acceptés par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA), la méthode de production, le contrôle de la qualité, les tests d'efficacité sur le terrain (certains à grande échelle), le conditionnement et l'étiquetage. Les coûts liés à l'homologation sont de l'ordre de 500 000 \$, mais peuvent facilement atteindre le million ou davantage.

### Distribution, marketing et vente

En ce qui concerne la distribution, le marketing et la vente du produit, il faut déterminer si l'entreprise s'occupe de la distribution (Internet est une nouvelle possibilité) ou si elle confie ce mandat à une entreprise de distribution de produits de niche. Il faut aussi considérer les coûts liés au marketing et à la publicité, prévoir la gestion de l'inventaire, un prix concurrentiel et un service après-vente qui pourra aussi répondre aux demandes d'information sur le produit.

## Qualités requises pour la commercialisation

Pour commercialiser un produit à base de *Beauveria bassiana*, la compagnie devrait posséder les atouts suivants : une expertise en production d'agents biologiques, des liquidités suffisantes (des millions de dollars si la production se fait à partir de zéro), la capacité de limiter les coûts de production, la possibilité de fabriquer le produit à prix compétitif, et enfin, avoir une forte volonté de réussir.

## Caractéristiques de l'industrie au Canada

Dans le secteur des biopesticides au Canada, les entreprises, sont en majorité de petite taille, elles disposent de peu de capitaux et leur financement est souvent un problème. Rappelons ici que des compagnies de taille imposante et aux possibilités financières importantes se sont retirées de ce marché depuis les 15 dernières années. Citons, à titre d'exemple, les compagnies Abbott, Duphar, ICI, Novo, Sandoz, Solvay, Thermo Trilogy, etc. L'envergure d'une entreprise n'est donc pas nécessairement une garantie de réussite, mais les petites entreprises n'ont souvent pas les sommes suffisantes pour investir en recherche et en développement. Enfin, un facteur affecte particulièrement les entreprises à l'œuvre dans ce secteur au Canada : le peu de soutien gouvernemental et ce malgré l'appui du grand public envers ce type de produits.

### Pistes à explorer

Idéalement, il serait souhaitable que toutes les espèces d'insectes nuisibles soient contrôlées par des insecticides biologiques. Malheureusement, la réalité de cette industrie nous oblige à faire des choix tout en cherchant des pistes qui pourraient conduire à une augmentation des produits biologiques sur le marché. Ainsi, il faudrait prioriser certaines espèces et travailler en collaboration avec les utilisateurs, l'industrie des biopesticides et les agences gouvernementales concernées. Il faudrait surtout que tous les acteurs concernés par un problème entomologique particulier se regroupent afin de trouver une solution.

«Idéalement, il serait souhaitable que toutes les espèces d'insectes nuisibles soient contrôlées par des insecticides biologiques.»

### Petits marchés

Enfin, en ce qui concerne le développement d'insecticides biologiques destinés à des marchés de petite taille, il faudrait que l'industrie reçoive une aide financière pour ce faire, qu'il y ait un partage des coûts inhérents aux essais sur le terrain entre les utilisateurs et une prise en charge des coûts d'homologation par les gouvernements, quitte à ce que les entreprises leur versent éventuellement des redevances.

## Conclusion

La situation actuelle des fabricants de biopesticides au Canada ne leur permet pas de prendre en charge tous les coûts associés à la recherche et au développement de nouveaux produits biologiques. Il est primordial que les gouvernements et les utilisateurs mettent aussi l'épaule à la roue de sorte que davantage de produits biologiques puissent se retrouver sur le marché, notamment pour répondre à des problèmes entomologiques particuliers que l'on retrouve dans le milieu forestier.





# Utilisation de microorganismes antagonistes dans la lutte biologique : intérêts, limites et perspectives en protection des plantes



La lutte biologique apparaît comme une voie prometteuse alliant la préservation des écosystèmes naturels et la protection des plantes. Ces dernières années, les avancées scientifiques ont montré que les microorganismes utilisés peuvent directement protéger la plante en interagissant avec l'agent pathogène ou indirectement en activant les mécanismes de défense du végétal hôte. Plusieurs points importants demandent cependant à être précisés : quels sont le moment et le nombre d'applications à réaliser pour obtenir une efficacité optimale? L'inoculum est-il plus performant lorsque plusieurs souches ou espèces de microorganismes sont utilisées?

## Lutte biologique : les microorganismes utilisés

L'utilisation de microorganismes pour prévenir les maladies des plantes ou lutter contre elles est une science relativement nouvelle. Le premier agent de lutte biologique enregistré en 1979 par l'Environmental Protection Agency (EPA) aux États-Unis était une bactérie, *Agrobacterium radiobacter* K84. Il a fallu attendre 10 ans pour qu'un champignon, *Trichoderma harzianum* ATCC20476, le soit également. Depuis cette époque, de nombreux microorganismes ont été enregistrés et on peut noter que 65 % d'entre eux l'ont été ces 10 dernières années (environ 30 bactéries et 18 champignons). Leurs activités sont très diverses, certains sont des antagonistes de champignons pathogènes (*Coniothyrium minitans* CON/M/91-08, *Pseudozyma flocculosa* PF-A22 UL, *Trichoderma harzianum* Rifai T-22 et T-39), d'autres sont des mycoherbicides (*Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *aeschyromene*, *Alternaria destruens* 059), des nématicides (*Paecilomyces lilacinus* 251) d'autres encore sont capables de parasiter des insectes (*Verticillium* WCS 850, *Beauveria bassiana* 447), etc.

La situation en Europe est différente. Actuellement seules quatre souches d'agents de lutte biologique sont répertoriées dans l'Annexe I de la directive EEC 91/914 qui établit la liste des microorganismes pouvant être utilisés dans l'Union européenne. Trois sont des

champignons : *Ampelomyces quisqualis*, *Coniothyrium minitans*, *Paecilomyces fumosoroseus*. Un est une bactérie : *Pseudomonas chlororaphis*. Il faut noter, qu'avant l'application de la directive, environ deux douzaines de produits étaient enregistrées dans différents pays européens.

## Comparaison États-Unis et Communauté européenne (CE)

Du côté américain, le marché est en pleine expansion alors qu'en Europe on constate de nombreux freins à l'égard de la disponibilité des produits, voire une stagnation. Comment expliquer cette différence? Elle doit être principalement imputée aux processus d'homologation qui se rejoignent sur certains points, mais qui diffèrent sur d'autres. Ce qui est commun aux États-Unis et à la CE est l'identification de la substance active, ici le microorganisme, et la connaissance de sa biologie. Dans les deux cas, des essais

«L'utilisation de microorganismes pour prévenir les maladies des plantes ou lutter contre elles est une science relativement nouvelle.»



toxicologiques doivent aussi être réalisés pour vérifier l'innocuité de la souche microbienne sur la santé humaine et l'environnement.

«On peut néanmoins s'interroger sur cet aspect et se demander si ces produits sont réellement en adéquation avec les attentes de la société?»

Par contre, l'EPA n'exige pas que l'efficacité du produit de lutte biologique soit prouvée dans les différentes conditions d'utilisation. À l'inverse, ces données sont une exigence capitale en Europe. Le produit formulé doit en effet être évalué par plusieurs expérimentations dans différentes régions et pendant deux années consécutives.

Lors de cette étape capitale, des microorganismes ayant satisfait les critères toxicologiques sont éliminés. Certains agents de lutte biologique ont en effet des propriétés variables en fonction des conditions environnementales.

### Intérêt des agents de lutte biologique

Malgré ces réserves, les microorganismes utilisés dans la lutte biologique offrent des perspectives très prometteuses. Leur intérêt croissant vient du fait qu'ils offrent une solution à l'utilisation des produits phytosanitaires classiques. Plusieurs essais montrent que leur application comme alternative et comme complément des traitements chimiques est possible. En outre, et c'est une raison majeure dans plusieurs pays européens, ils semblent répondre aux attentes des consommateurs pour une agriculture saine, respectueuse de l'environnement et exempte de résidus pesticides. La connotation «produit naturel» qu'ils véhiculent influence positivement la perception qu'ont les consommateurs de ces produits de lutte biologique.

On peut néanmoins s'interroger sur cet aspect et se demander si ces produits sont réellement en adéquation avec les attentes de la société? Sont-ils toujours inoffensifs voire bénéfiques pour l'environnement? On répondra positivement à cette question tout en précisant que la réponse n'est pas toujours simple. À l'instar de certains microorganismes, le dossier toxicologique du *C. minitans* indique qu'il a une

toxicité aiguë très faible et qu'il n'est ni mutagène, ni carcinogène, ni tératogène. Ces propriétés le dispensent du classement toxicologique. Sur le plan écotoxicologique, il présente une faible toxicité contre plusieurs organismes aquatiques et n'avait pas d'effet sur la faune au sol ou sur les abeilles. À l'inverse, d'autres microorganismes peuvent présenter une certaine toxicité. La souche *P. flocculosa* PF-A22 UL, par exemple, cause des irritations aux yeux et une gêne pulmonaire chez les animaux. Une autorisation d'enregistrement provisoire avait été accordée par l'EPA en 2002 jusqu'en 2004, période pendant laquelle il était demandé à la société commercialisant le produit de réaliser des études afin de satisfaire aux exigences d'innocuité du champignon sur les poumons. En somme, un agent de lutte biologique est un microorganisme «naturel» issu de l'environnement et servant à protéger les plantes contre les bioagresseurs, son innocuité sur les organismes non ciblés doit cependant toujours être vérifiée.

### Luttes chimique et biologique

Luttes chimique et biologique sont parfois mises en opposition, mais peut-on réellement comparer ces deux méthodes de protection des plantes? On peut rappeler que la matière active d'un produit phytosanitaire est une molécule chimique alors que pour une formulation biologique, c'est un microorganisme. Un champignon ou une bactérie étant des organismes vivants, ils ont des spécificités et des potentialités qu'une molécule n'aura pas; ils ne peuvent donc pas être utilisés et vendus comme un produit phytosanitaire classique. Chez ces derniers, une action immédiate est recherchée alors qu'avec les agents de lutte biologique, l'action bénéfique et durable sur les plantes survient fréquemment après plusieurs applications et une période de temps plus ou moins longue. Un point fondamental spécifique de la lutte biologique est que le microorganisme utilisé va établir des relations dynamiques avec son environnement.

### Relations établies dans la rhizosphère par un microorganisme

Pour illustrer la spécificité des agents de lutte biologique, l'introduction d'un champignon antagoniste dans la rhizosphère sera prise comme exemple (Figure 1). Au sein de cet écosystème, l'agent fongique va établir des relations avec les autres microorganismes, mais aussi

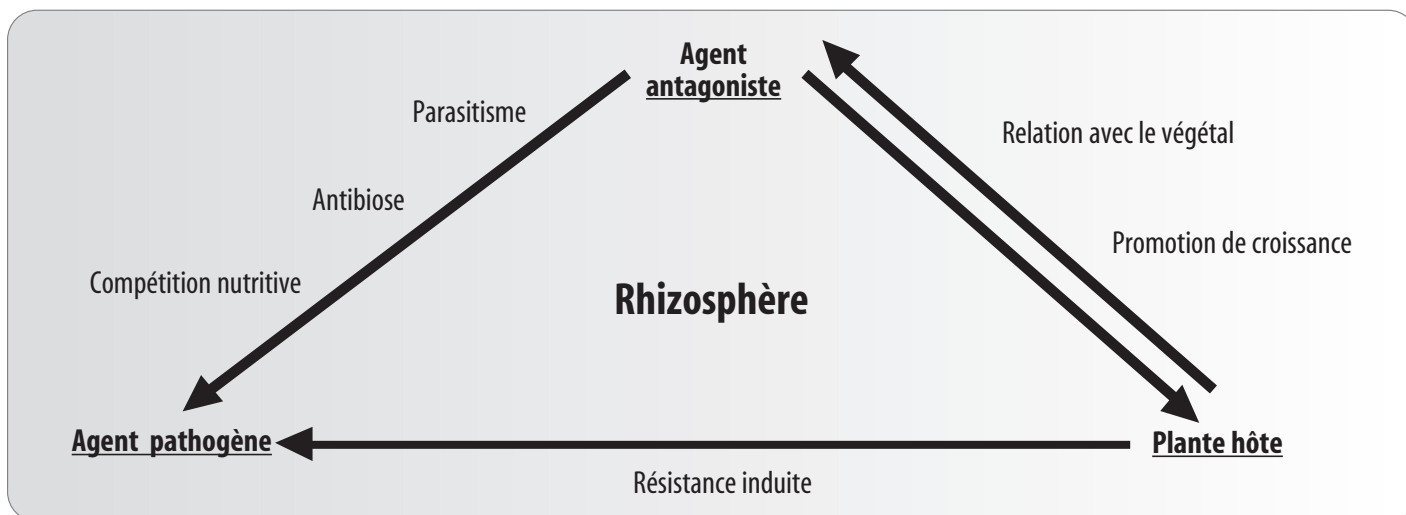


Figure 1 : Représentation des interactions qui s'établissent dans la rhizosphère entre un agent antagoniste (ou de lutte biologique), un agent pathogène et la plante.



avec le végétal. Il protégera donc la plante de deux *manières* : (i) directement en interagissant avec le ou les agents pathogènes ou (ii) indirectement en activant les mécanismes de défense du végétal.

Dans le premier cas, le champignon antagoniste, comme *Pythium oligandrum* ou *T. harzianum*, peut agir par mycoparasitisme en émettant des enzymes hydrolytiques (chitinases-1, 3-glucanases...) qui vont lyser la paroi du pathogène fongique ce qui conduira à son dépérissement (Benhamou et al., 1999; Rey et al., 2005). Cependant, selon le microorganisme hôte, *P. oligandrum* ou *T. harzianum* adapteront leurs systèmes d'attaque en émettant des antibiotiques ou en établissant une compétition nutritive. Il faut aussi tenir compte du fait que l'agent phytopathogène peut mettre en place des réactions de défense, par exemple en renforçant sa paroi pour se défendre contre l'agression de l'antagoniste (Picard et al., 2000b).

Dans le second cas, après colonisation de la rhizosphère, plusieurs champignons antagonistes sont capables d'induire une résistance

«Les limites actuelles de la lutte biologique ont été particulièrement mises en évidence lors d'expérimentations réalisées dans les serres hors sol.»

locale ou systémique chez la plante (Benhamou et al., 1997; Benhamou et al., 2002; Le Floch et al., 2003b). Ce phénomène peut aussi être obtenu lorsque des molécules élicitrices produites par le champignon comme une glycoprotéine nommée oligandrine chez

*P. oligandrum*, ou isolées de sa paroi, sont appliquées sur les plantes (Picard et al., 2000a; Takenaka et al., 2003). Ce phénomène est très intéressant pour le végétal car il potentialise ses systèmes de défense ce qui réduit ses dépenses énergétiques. La plante étant sensibilisée par la présence de l'antagoniste ou par un de ses éliciteurs met «en éveil» ses systèmes de défense et ne déclenche les réactions appropriées que lorsqu'elle est réellement attaquée par l'agent pathogène.

Un autre point important à considérer avec ces «champignons opportunistes et symbiontes de plantes» (Fravel et al., 2003; Harman et al., 2004; Rey et al., 2007) est leur aptitude à stimuler la croissance du végétal. Ce phénomène est à imputer, du moins en partie, à la production d'analogues d'hormones de croissance végétale, comme les auxines, par les champignons (Le Floch et al., 2003a).

## Limites de la lutte biologique

La lutte biologique réalisée avec des microorganismes présente des potentialités, mais aussi des limites. Deux problèmes sont fréquemment rapportés :

1. Les résultats peuvent différer considérablement selon les zones géographiques, un microorganisme pouvant ne pas s'adapter à un environnement donné. Pour éviter ce problème, certains auteurs recommandent d'isoler des bactéries ou des champignons potentiellement antagonistes à partir du végétal et de l'écosystème que l'on souhaite protéger.

2. Les échecs ou les variations dans l'efficacité proviennent aussi de la non-persistance de l'agent de lutte biologique sur la plante. La connaissance du cycle de développement et des facteurs favorisant

sa persistance sur un végétal permet de résoudre ce problème crucial.

Les limites actuelles de la lutte biologique ont été particulièrement mises en évidence lors d'expérimentations réalisées dans les serres hors sol. Dans ce système de culture, les plantes y sont nourries par des solutions nutritives, les excédents d'effluents étant recyclés. Théoriquement, l'introduction d'un agent de lutte biologique, ici *P. oligandrum*, dans les solutions nutritives est aisée, le recyclage favorisant sa diffusion à l'ensemble de la culture. Cependant, selon les conditions, des résultats très variables ont été rapportés. Lorsque *P. oligandrum* colonise durablement la rhizosphère des plantes (systèmes de culture en gouttière) des augmentations de rendement ont été observées (Le Floch et al., 2003b). À l'inverse, lorsque cette colonisation est transitoire (systèmes de culture en substrats), aucun effet positif n'a été obtenu. Les réussites et les échecs expérimentaux ont permis de trouver des stratégies d'application d'agents de lutte biologique pour résoudre ces problèmes.

## Les solutions et les perspectives

Plusieurs solutions peuvent servir à améliorer l'efficacité de la lutte biologique.

- Afin d'éviter les aléas et les limites liés à l'utilisation d'une seule souche, il est possible de combiner plusieurs d'entre elles. Une expérimentation ayant cet objectif a été réalisée par notre groupe avec *P. oligandrum*. Un criblage de souches a d'abord été réalisé, basé sur la production d'oospores qui conservent l'oomycète. Le criblage a aussi été basé sur la production de l'oligandrine, un éliciteur, et sur la production de tryptamine, une auxine dont la synthèse par *P. oligandrum* est corrélée à la promotion de la croissance des jeunes plants de tomate. À l'aide de ces critères, trois souches ont été sélectionnées puis inoculées en mélange dans la rhizosphère de plants de tomate en culture hors sol. Une bonne colonisation racinaire a alors été observée (Le Floch et al., 2007).

- La combinaison de plusieurs espèces de microorganismes antagonistes ayant des modes d'action différents, chacune avec ses propriétés particulières, est une solution envisagée par plusieurs scientifiques. Le Floch et al. (2006) ont montré les avantages et les inconvénients de différentes associations de champignons antagonistes : *Fusarium oxysporum* souche n°47, *P. oligandrum* et *T. harzianum*. *In vitro*, ces champignons se parasitent l'un l'autre, mais ils survivent dans la rhizosphère, car ils ont des niches écologiques différentes. Selon les observations, leur effet n'est pas additif, mais fonctionne plutôt comme un relais pour la protection des plantes.

- La répétition du nombre d'application favorise l'implantation pérenne d'un agent de lutte biologique, cependant le coût est souvent exorbitant. Conscient de ce problème, Steddom et al. (2002) ont utilisé un appareil, l'*EcoSoil Systems BioJect*, qui injecte régulièrement *Pseudomonas putida* 06909-rif/nal dans le sol. Selon les auteurs, ce procédé s'est avéré économiquement viable.

- La connaissance et le respect des propriétés biologiques du microorganisme permettent d'optimiser son efficacité. Par exemple, lorsqu'une bactérie agit par antibiose, il est important de tenir compte de la faible production d'antibiotiques et de leur diffusion sur une courte distance. Lorsque le mode d'action principal est la compétition nutritive, un ratio agent antagoniste/agent pathogène doit être respecté.



• Un autre point important à considérer est le choix de la méthode de suivi de l'agent de lutte biologique. Lors d'une expérimentation qui a duré sept mois, Le Floch et al. (2007) ont montré qu'une méthode culturale a détecté l'agent de lutte biologique, *P. oligandrum*, pendant les quatre premiers mois, alors que par macropuce à ADN et par PCR quantitative, l'agent de lutte biologique a été détecté pendant toute la période d'essai. Les conclusions sur la persistance de ce champignon, et donc sur son intérêt pour la lutte biologique, étaient très différentes suivant la méthode utilisée.

Outre leur utilisation classique pour la protection des plantes, certains microorganismes peuvent être utilisés dans des systèmes qui nécessitent une activation microbiologique. Par exemple, pour prévenir l'introduction d'agents pathogènes dans les cultures hors sol, une technique consiste à désinfecter l'eau d'apport par filtration lente. Il est possible d'optimiser l'efficacité antifongique des colonnes filtrantes en introduisant des bactéries antagonistes (Déniel et al., 2004; Renault et al., 2007).

En conclusion, les études sur les microorganismes utilisés dans la lutte biologique étant de plus en plus nombreuses, elles permettront certainement de lever les verrous scientifiques et techniques qui actuellement limitent le développement de ces produits et d'optimiser leur efficacité. La lutte biologique pourrait en particulier être une solution adaptée pour la protection des plantes dans les pays en voie de développement. On peut par exemple citer les essais encourageants réalisés au Pérou pour lutter contre les maladies du cacaoyer (Krauss et Soberanis, 2001) et en Chine contre les maladies du riz (Mew et al., 2004). Les niveaux de protection des plantes et les coûts des traitements se sont révélés intéressants pour les agriculteurs.

## Références

- Benhamou, N., Rey, P., Chérif, M., Hockenhull, J., and Tirilly, Y. 1997.** Treatment with the mycoparasite *Pythium oligandrum* triggers induction of defense-related reactions in tomato roots when challenged with *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*. *Phytopathology*, **87**, 108-122.
- Benhamou, N., Rey, P., Picard, K., and Tirilly, Y., 1999.** Ultrastructural and cytochemical aspects of the interaction between the mycoparasite, *Pythium oligandrum* and soilborne pathogens. *Phytopathology*, **89**, 506-517.
- Benhamou, N., Garand, C., and Goulet, A. 2002.** Ability of non pathogenic *Fusarium oxysporum* strain Fo47 to induce resistance against *Pythium ultimum* infection in cucumber. *Appl. Environ. Microbiol.*, **68**, 4044-4060.
- Déniel, F., Rey, P., Chérif, M., Guillou, A. and Tirilly, Y., 2004.** Inoculations of filter unit with antagonistic-and PGPR-bacteria improve slow filtration efficiency in soilless culture. *Can. J. Microbiol.*, **50**: 499-508.
- Fravel, D., Olivain, C., and Alabouvette, C. 2003.** *Fusarium oxysporum* and its biocontrol. *New Phytol.*, **157**, 493-502.
- Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I. and Lorito, M. 2004.** *Trichoderma* species, opportunistic, a virulent plant symbionts. *Nat. Rev. Microbiol.*, **2**, 43-56.
- Krauss, U., and Soberanis, W. 2001.** Biocontrol of cocoa pod diseases with mycoparasite mixtures. *Biol. Control*, **22**, 149-158.
- Le Floch, G., Rey, P., Benizri, E., Benhamou, N., and Tirilly, Y. 2003a.** The impact on plant growth of auxin-compounds produced by antagonist fungus, *Pythium oligandrum* or minor pathogen, *Pythium* group F. *Plant Soil*, **257**, 459-470.
- Le Floch, G., Rey, P., Deniel, F., Benhamou, N., Picard, K., and Tirilly, Y. 2003b.** Enhancement of development and induction of resistance in tomato plants by the antagonist, *Pythium oligandrum*. *Agronomie*, **23**, 1-6.
- Le Floch, G., Benhamou, N., Thuillier, E., Tirilly, Y., and Rey, P. 2006.** *Pythium oligandrum* associated with two antagonistic fungi: rhizosphere compatibility and tomato grey mould biocontrol. *Phytopathology*, **96**, (6) S65.
- Le Floch, G., Lévesque, C.A., Tambong, J., Vallance, J., Tirilly, Y., and Rey, P. 2007.** Rhizosphere persistence of three *Pythium oligandrum* strains in tomato soilless culture assessed by a DNA microarray and real-time PCR. *FEMS Microbiol. Ecol.* (sous presse).
- Mew, T.W., Cottyn, B., Pamplona, R., Barrios, H., Xiangmin, L., Zhiyi, L., Fan, L., Nilpanit, N., Arunyanart, P., Kim, P.V., and Du, P.V. 2004.** Applying rice seed-associated antagonistic bacteria to manage rice sheath blight in developing countries. *Plant Dis.*, **88**, 557-564.
- Picard, K., Ponchet, M., Blein, J. P., Rey, P., Tirilly, Y., and Benhamou N. 2000a.** Oligandrin, a proteinaceous molecule produced by the mycoparasite, *Pythium oligandrum*, induces resistance to *Phytophthora parasitica* infection in tomato plants. *Plant Physiol.*, **124**, 379-395.
- Picard, K., Tirilly, Y., and Benhamou, N. 2000b.** New insights into the mechanisms of antagonism exerted by *Pythium oligandrum*: evidence for the role of cellulases in the mycoparasitic process against *Phytophthora parasitica*. *Appl. Environ. Microbiol.*, **66**, 4305-4314.
- Renault, D., Tirilly, Y., Benizri, E., Sohler, D., Barbier, G., and Rey, P. 2007.** Characterization of *Bacillus* and *Pseudomonas* strains with suppressive traits isolated from tomato hydroponic-slow filtration. *Can. J. Microbiol.* (sous presse).
- Rey, P., Le Floch, G., Benhamou, N., Salerno, M.I., Thuillier, E., and Tirilly, Y. 2005.** Different interactions between the mycoparasite *Pythium oligandrum* and two sclerotia-forming plant pathogenic fungi: *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia minor*. *Mycol. Res.*, **109**, 779-788.
- Rey, P., Le Floch, G., Benhamou, N., and Tirilly, Y. 2007.** *Pythium oligandrum* biocontrol: its relationships with fungi and plants. In *Plant Microbe Interactions*, Ed. E.A. Barka. (sous presse).
- Steddom, K., Becker, O., and Menge, J.A. 2002.** Repetitive application of the biocontrol agent *Pseudomonas putida* O6909-rif<sup>r</sup>/nal and effects on populations of *Phytophthora parasitica* in citrus orchards. *Phytopathology*, **92**, 850-856.
- Takenaka, S., Nishio, Z., and Nakamura, Y. 2003.** Induction of defense reactions in sugar beet and wheat by treatment with cell wall protein fractions from the mycoparasite *Pythium oligandrum*. *Phytopathology*, **9**.





# Lutte microbienne : la situation au Canada et ailleurs dans le monde



Au cours des dernières décennies, de nombreux produits commerciaux à base d'agents entomopathogènes, y compris des bactéries, des champignons, des nématodes et des virus ont été utilisés pour lutter contre les insectes ravageurs dans de nombreux pays. Toutefois, seuls quelques-uns de ces produits ont été largement utilisés en agriculture et en foresterie. D'autres agents sont actuellement en préparation. Je commencerai par vous présenter une brève introduction aux principes de base de la lutte microbienne, puis je vous donnerai quelques exemples. Pourquoi ces agents ne sont-ils pas plus largement utilisés? Que peut-on faire pour faciliter leur utilisation? Comment ces agents peuvent-ils être utilisés autrement que dans le cadre d'une approche «insecticide»? Voilà quelques-unes des questions auxquelles je tenterai de répondre lors de ma présentation.

## Introduction

Les ennemis naturels jouent un rôle primordial dans la régulation naturelle des populations d'organismes nuisibles, qu'il s'agisse des mauvaises herbes, des maladies des plantes, des invertébrés ou des vertébrés. L'utilisation des insecticides chimiques perturbe souvent l'équilibre des populations d'ennemis naturels et se solde par la réapparition de l'organisme nuisible visé.

La lutte biologique consiste à utiliser les ennemis naturels d'un organisme nuisible pour en contrôler les populations. Trois stratégies principales sont utilisées en lutte biologique : l'augmentation, l'introduction (mieux connue sous le nom de «lutte biologique classique») et la conservation.

La stratégie dite d'augmentation consiste à effectuer des lâchers d'ennemis naturels en nombre suffisant pour éliminer relativement rapidement la population de l'organisme nuisible visé. Elle n'est généralement pas censée avoir d'effet résiduel. Cette stratégie de lutte biologique est parfois dite «inondative», «augmentative» ou «insecticide». Les agents microbiens utilisés de cette façon sont souvent appelés «biopesticides».

La stratégie dite classique consiste à introduire un ennemi naturel dans l'espoir qu'il se propage naturellement et réduise la population de l'organisme visé sous le seuil de nuisibilité économique. Elle est très efficace contre les espèces nuisibles envahissantes, à savoir les espèces introduites pour la première fois dans une région où aucun de leurs ennemis naturels n'est présent. Elle s'apparente à plusieurs égards au

rétablissement de «l'équilibre écologique» de l'habitat géographique naturel de l'espèce nuisible dans lequel ses ennemis naturels sont présents.

La stratégie dite de conservation tente de trouver des moyens de protéger les ennemis naturels contre les pratiques d'aménagement qui peuvent leur faire du tort ou d'adopter des pratiques d'aménagement qui leur sont bénéfiques. Par exemple, différer l'application d'un insecticide permet parfois de conserver des effectifs suffisants d'ennemis naturels pour rendre superflue toute application d'insecticide (Steinkraus, 2007).

Les agents de lutte biologique, parfois appelés agents auxiliaires, comprennent les prédateurs, les parasites, les antagonistes et les agents pathogènes. Les antagonistes et les agents pathogènes englobent les virus, les bactéries, les protozoaires et les champignons : ce sont les agents de lutte microbienne.

Lorsqu'ils sont commercialisés à des fins de lâchers augmentatifs, ils sont souvent appelés pesticides microbiens, biopesticides, bioinsecticides, bioherbicides, biofongicides ou bionématocides, selon le cas. À ce jour, plus de 100 microorganismes

«Les agents de lutte biologique, parfois appelés agents auxiliaires, comprennent les prédateurs, les parasites, les antagonistes et les agents pathogènes.»



ont été commercialisés à des fins de lutte biologique (Copping, 2004). Dans les pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) uniquement, plus de 200 produits à base de ces agents microbiens ont été homologués (Kabaluk et Gazdik, 2005), mais seulement un petit nombre d'entre eux sont disponibles au Canada (Réseau Biocontrôle, 2004).

## Exemples d'agents microbiens utilisés en forêt

### Bactéries

Le *Bacillus thuringiensis* est le biopesticide qui a remporté le plus de succès jusqu'à maintenant et il a été largement utilisé en forêt pour lutter contre des lépidoptères nuisibles comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette *Choristoneura fumiferana*. Lors de la sporulation, la bactérie produit une protéine cristalline appelée protéine Cry. Une fois ingérée par l'insecte, la protéine se transforme en toxine Cry dans l'intestin moyen de l'hôte, entraînant la destruction de l'épithélium intestinal et la mort de l'hôte. Les différentes souches de *B. thuringiensis* produisent des protéines Cry différentes, dont la toxicité est très spécifique. Par conséquent, il existe des souches de *B. thuringiensis* qui agissent spécifiquement sur des insectes appartenant surtout à l'ordre des lépidoptères, des coléoptères ou des diptères. Certains soutiennent cependant avoir isolé des souches agissant sur des invertébrés d'autres ordres, qui n'ont toutefois pas encore été commercialisées. En raison de cette spécificité, les produits à base de *B. thuringiensis* sont sans danger pour les organismes non visés, y compris l'humain.

La bactérie peut être produite en masse dans de grands fermentateurs, dans des conditions lui permettant de sporuler et de produire des protéines Cry. Des gènes codant les protéines Cry ont également été insérés dans des plantes transgéniques, les protégeant en permanence contre certains insectes ravageurs.

Pour de plus amples renseignements sur le *Bacillus thuringiensis*, son histoire, son mode d'action et sa commercialisation, le lecteur peut consulter Bravo et al., (2005), Charles et al., (2000) et Glare et O'Callaghan, (2000).

### Virus

Les virus sont relativement courants chez les insectes et sont parfois responsables d'effondrements spectaculaires de leurs populations. La plupart des virus appartiennent à la famille des *Baculoviridae* qui comporte deux genres, les nucléopolyédrovirus, ou virus de la polyédrose nucléaire (VPN), et les granulovirus (GV). Une fois ingéré par un hôte approprié, le virus commence par infecter les cellules de l'intestin moyen, puis se propage à d'autres tissus, entraînant généralement leur «liquéfaction». Dans les écosystèmes forestiers, des espèces nuisibles de lépidoptères et d'hyménoptères (diprions) sont souvent victimes d'épizooties naturelles.

L'une des plus grandes difficultés de la mise au point des baculovirus comme agents de lutte microbienne commerciaux est liée à leur production de masse. À ce jour, seuls des hôtes vivants ont pu être utilisés pour les produire en masse à une échelle commerciale, d'où leur coût de production beaucoup plus élevé que celui des produits bactériens et, dans une certaine mesure, de celui des produits fongiques qui peuvent être produits par fermentation liquide.

La plupart des virus homologués comme insecticides microbiens au Canada ont été mis au point et homologués par Ressources naturelles Canada pour lutter contre des espèces nuisibles de lépidoptères et d'hyménoptères (diprions) ravageant les forêts résineuses et feuillues. Parmi ceux-ci figurent le VPN du *Lymantria dispar* pour lutter contre la spongieuse et le VPN du *Neodiprion lecontei* pour lutter contre le diprion de LeConte, mais ils n'ont pas toujours été vendus sur le marché.

La mise au point et l'homologation du VPN du *Neodiprion abietis* (NeabNPV), un produit commercialisé sous le nom d'Abietiv<sup>MC</sup> pour lutter contre le diprion du sapin, constituent une percée récente à Terre-Neuve (Lucarotti et al., 2007). Ce VPN est produit en masse sur le terrain par inoculation de populations sauvages du diprion dans des peuplements infestés. Pour récolter les insectes infectés, on place des bâches sous les arbres, puis on secoue énergiquement leurs branches à l'aide de râteliers de jardinage. On place ensuite les larves dans de grands sacs, on les nourrit à l'aide d'aiguilles de sapin baumier, puis on les laisse mourir. On récupère ensuite les larves mortes parmi les débris, puis on purifie le virus. Il suffit d'un millilitre de concentré du virus pour traiter un hectare de forêt. Le traitement provoque une mortalité durant l'année d'application et continue d'agir l'année suivante, rendant toute autre application superflue.

Pour de plus amples renseignements sur les baculovirus, le lecteur peut consulter Bonning (2005), Hunter-Fujita et al., (1998) et Miller, (1997).

### Champignons

Les champignons jouent un rôle important dans la régulation naturelle de nombreux insectes ravageurs. De fait, les populations d'insectes ravageurs sont souvent décimées par des épizooties à grande échelle. Les champignons envahissent habituellement leurs hôtes par la cuticule et, contrairement à la plupart des autres entomopathogènes, n'ont pas besoin d'être ingérés pour provoquer une infection. Cette caractéristique en fait donc des candidats de choix pour lutter contre des insectes suceurs comme les pucerons. En règle générale, une spore fongique tombe sur la cuticule, germe, puis pénètre la cuticule et se répand dans le corps de l'insecte. À la mort de l'hôte, lorsque les conditions d'humidité sont propices, le champignon émerge du corps de l'insecte et produit des spores, donnant à la dépouille un aspect moisi.

Malgré le grand potentiel des champignons comme agents de lutte microbienne, seulement quelques-uns d'entre eux ont été utilisés dans des conditions réelles. Plusieurs produits commerciaux sont utilisés avec succès en serre pour lutter contre des ravageurs comme les pucerons, les aleurodes et les thrips. Ce sont notamment des produits à base de *Beauveria bassiana*, de *Paecilomyces fumosoroseus* et de *Verticillium lecanii* (Copping, 2004). Ces produits peuvent s'avérer très utiles dans les serres produisant des semis d'arbres forestiers où des ravageurs comme les pucerons et les thrips peuvent causer des problèmes.

En Chine, le *Beauveria bassiana* est utilisé depuis de nombreuses années pour lutter contre le *Dendrolimus punctatus*, une chenille

«Les champignons jouent un rôle important dans la régulation naturelle de nombreux insectes ravageurs.»





s'attaquant aux pins (Li, 2007). Ce champignon a été au départ produit et appliqué à l'aide de méthodes rudimentaires. Des améliorations technologiques ont débouché sur des méthodes modernes de production et d'application. À l'heure actuelle, le champignon est cultivé dans de gros fermentateurs et appliqué à l'aide de la technologie novatrice du mortier, qui consiste à faire exploser des bidons de spores très haut au-dessus du couvert forestier. Selon les résultats d'études récentes, il pourrait ne pas être nécessaire d'avoir recours à de telles stratégies inondatives en raison de la conservation des prédateurs et des parasites et de la capacité de récupération du champignon. Les lâchers inondatifs pourraient probablement être remplacés par des lâchers inoculatifs.

Un autre exemple de champignon maintenant commercialisé pour usage en forêt est le Chontrol, un produit mis au point pour empêcher les feuillus de faire des rejets de souche (Hintz, 2007). Ce bioherbicide empêche les souches de feuillus de produire des rejets, mais il n'agit pas sur les essences résineuses. Le *Chondrostereum purpureum*, le champignon à la base du produit, colonise les souches et les fait pourrir. Il est utilisé comme agent de lutte biologique contre les essences ligneuses feuillues dans les zones de reboisement et le long des corridors de transport où un débroussaillage est nécessaire.

Le cas de la spongieuse *Lymantria dispar* en Amérique du Nord est un excellent exemple de stratégie de lutte biologique classique (Hajek, 2007). La spongieuse a été introduite accidentellement aux États-Unis au milieu des années 1800. Elle a commencé par se disséminer lentement, défoliant de nombreux feuillus dans les zones urbaines et les régions forestières, et elle continue de se propager. Or, les populations de ce ravageur ne pullulent pas dans leurs régions d'origine (Europe, Afrique et Asie), signe que les infestations survenant en Amérique du Nord sont attribuables à l'absence et à l'inactivité de ses ennemis naturels.

Nombre de prédateurs et parasitoïdes ainsi qu'un VPN ont été introduits dans les zones où la spongieuse prolifère, mais aucun d'eux n'a pu freiner la dissémination du ravageur. En 1910 et en 1911, un champignon isolé dans des cadavres de spongieuses du Japon, *Entomophaga maimaiga*, a été introduit en Amérique du Nord, mais il ne semble pas qu'il se soit établi. D'autres introductions de ce champignon ont été effectuées au milieu des années 1980, mais aucun signe d'établissement n'avait alors été observé. Puis, en 1989, des scientifiques ont assisté au Connecticut à la première épizootie causée par ce champignon. Dès 1992, il s'était disséminé dans toute l'aire de répartition contiguë de la spongieuse dans le nord-est des États-Unis, y provoquant l'effondrement à grande échelle des populations du ravageur. L'origine précise de ce champignon demeure un mystère. Selon les résultats des analyses moléculaires, il ne provient probablement pas des introductions effectuées au milieu des années 80.

Pour de plus amples renseignements sur les champignons utilisés comme agents de lutte microbienne ou actuellement mis au point à cette fin, le lecteur peut consulter Butt et al., (2001) et Goettel et al., (2005).

## Conclusion

Même si relativement peu de pathogènes ont été utilisés jusqu'à maintenant dans la lutte biologique, les succès obtenus mettent en évi-

dence leur grand potentiel. Des épizooties naturelles surviennent de temps en temps et constituent un facteur important de régulation naturelle de nombreuses populations d'organismes nuisibles. Plusieurs agents ont été mis au point et sont maintenant largement utilisés partout dans le monde comme biopesticides. Pourtant, ils ne représentent qu'une goutte d'eau dans notre océan de dépendance à l'égard des pesticides chimiques.

Actuellement, la réglementation est à l'origine de certains des plus importants obstacles à la mise au point d'agents de lutte microbienne. Il est impératif que tout agent mis au point ou introduit à des fins de lutte biologique ne fasse aucun tort à l'environnement ou à des organismes non visés, y compris l'humain. Le problème est que chaque isolat d'un microorganisme est examiné séparément par la plupart des organismes de réglementation et doit donc subir la plupart des épreuves d'innocuité les plus rigoureuses, peu importe les résultats obtenus à l'égard d'un isolat différent du même organisme. Cette stratégie peut certes être avisée dans le cas de certains organismes, mais elle ne l'est très certainement pas dans de nombreux autres cas. Comme il est maintenant bien établi que les baculovirus n'agissent que sur les invertébrés, il ne sert à rien de soumettre chaque produit prometteur créé à partir de ce virus à des épreuves pour vérifier une éventuelle virulence pour sur les vertébrés.

À mesure qu'un nombre croissant de produits seront homologués et que leur utilisation s'avérera efficace et sans danger, il est à espérer que la réglementation sera modifiée afin d'en tenir compte. De plus, les méthodes moléculaires modernes qui permettent une identification et un suivi précis des microorganismes devraient faciliter l'utilisation de ces produits pour la lutte biologique classique et leur homologation comme biopesticides pour un usage dans le cadre de stratégies inondatives.

En comparaison des produits chimiques, les produits microbiens ont le désavantage d'être relativement plus coûteux à produire. De plus, leur durée de conservation est bien moindre et leur gamme d'hôtes est beaucoup plus restreinte. Cependant, le resserrement des normes environnementales empêchera l'utilisation de nombreux pesticides chimiques traditionnels, rendant ainsi les produits microbiens plus économiquement viables et plus recherchés.

Le lecteur trouvera dans Vincent et al., (2007) quelques exemples de cas concrets de lutte biologique et il trouvera dans Mason et Huber, (2001) une excellente rétrospective des activités de recherche et des programmes de lutte biologique au Canada.

## Références

**Bonning, B.C. 2005.** *Baculoviruses: biology, biochemistry, and molecular biology.* In L. Gilbert, K. Iatrou and S. Gill (eds.) *Comprehensive Molecular Insect Science.* Vol. 6. Elsevier. pp 233-270.

«À mesure qu'un nombre croissant de produits seront homologués et que leur utilisation s'avérera efficace et sans danger, il est à espérer que la réglementation sera modifiée afin d'en tenir compte.»



- Bravo, A., M. Soberón and S.S. Gill. 2005.** *Bacillus thuringiensis: mechanisms and use.* In L. Gilbert, K. Iatrou and S. Gill (eds.) *Comprehensive Molecular Insect Science.* Vol. 6. Elsevier. pp 175-205.
- Butt, T., C. Jackson and N. Magan (eds.). 2001.** *Fungi as Biocontrol Agents: Progress, Problems and Potential.* CABI Press, Wallingford, UK. 416 pp.
- Charles, J-F. A. Delécluse and C. Nielsen-LeRoux 2000.** *Entomopathogenic Bacteria: from Laboratory to Field Application.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 524 pp.
- Copping, L.G. (ed.). 2004.** *The Manual of Biocontrol Agents, 3rd edition (formerly The BioPesticide Manual).* British Crop Protection Council, Alton, UK.
- Glare, T.R. and M. O'Callaghan. 2000.** *Bacillus thuringiensis: Biology, Ecology and Safety.* Wiley, Chichester, UK. 368 pp.
- Goettel, M.S., J. Eilenberg, and T.R. Glare. 2005.** *Entomopathogenic fungi and their role in regulation of insect populations.* In L. Gilbert, K. Iatrou and S. Gill (eds.) *Comprehensive Molecular Insect Science.* Vol. 6. Elsevier. pp 361-406.
- Hajek, A.E. 2007.** *Introduction of a fungus into North America for control of gypsy moth.* In C. Vincent, M.S. Goettel and G. Lazarovits (eds.) *Biological Control: A Global Perspective.* CABI Press, Wallingford, UK. pp 53-62.
- Hintz, W. 2007.** *Development of Chondrostereum purpureum as a mycoherbicide for deciduous brush control.* In C. Vincent, M.S. Goettel and G. Lazarovits (eds.) *Biological Control: A Global Perspective.* CABI Press, Wallingford, UK. pp 284-290.
- Hunter-Fujita, F.R., P.F. Entwistle, H.F. Evans and N.E. Crook. 1998.** *Insect Viruses and Pest Management.* Wiley, Chichester, UK, 632 pp.
- Kabaluk, T. et K. Gazdik. 2005.** *Catalogue de pesticides microbiens utilisés pour les récoltes dans les pays de l'OCDE. Révision de septembre 2005.* <http://www4.agr.gc.ca/resources/prod/doc/pmc/pdf/micro-f.pdf>
- Li, Z. 2007.** *Beauveria bassiana for pine caterpillar management in the People's Republic of China.* In C. Vincent, M.S. Goettel and G. Lazarovits (eds.) *Biological Control: A Global Perspective.* CABI Press, Wallingford, UK. pp 300-310.
- Lucarotti, C.J., G. Moreau and E.G. Kettela. 2007.** *Abietiv™, a viral biopesticide for control of the balsam fir sawfly.* In C. Vincent, M.S. Goettel and G. Lazarovits (eds.) *Biological Control: A Global Perspective.* CABI Press, Wallingford, UK. pp 353-361.
- Mason, P.G and J.T. Huber (eds.). 2001.** *Biological Control Programmes in Canada, 1981-2000.* CABI Publishing, Wallingford, UK. 608 pp.
- Miller, L.K. (ed.). 1997.** *The Baculoviruses.* Plenum, New York. 468 pp.
- Réseau Biocontrôle. 2004.** *Listing of microbial and pheromone pest management products currently registered in Canada.* [http://www.biocontrol.ca/english/start\\_s.html](http://www.biocontrol.ca/english/start_s.html)
- Steinkraus, D. 2007.** *Management of aphid populations in cotton through conservation: delaying insecticide spraying has its benefits.* In





# Colloque sur la lutte biologique et intégrée

## faits saillants de la plénière

### Avertissement au lecteur

Les pages qui suivent exposent les faits saillants de la plénière du colloque sur la lutte biologique et intégrée. La plénière était animée par Gaëtan Daoust, gestionnaire de recherche au Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada. Les discussions ont été résumées et regroupées par thèmes plutôt que selon un ordre séquentiel. Le lecteur pourra constater que le texte vise à rapporter les propos des participants le plus fidèlement possible. Ce résumé a été préparé à partir d'un enregistrement.

M. Daoust fait une courte présentation rappelant les objectifs du colloque et les sujets abordés à propos de chacun des objectifs. Il termine sa présentation avec la conclusion suivante, tirée de la présentation d'un des conférenciers (J. Cabana) : «Pour protéger la forêt, il faut une collaboration active entre les utilisateurs, l'industrie des biopesticides et les agences gouvernementales». Pour chacun des objectifs présentés, il invite les participants à prendre la parole.

### Synthèse des discussions

#### Le choix des essences

Quand un problème d'insecte ou de maladie survient avec une espèce d'arbre, elle est facilement abandonnée pour une autre, et ce, même si des méthodes de lutte sylvicole ont été développées pour diminuer l'impact des ravageurs. Ce fut le cas avec le pin blanc et l'épinette de Norvège, des essences pourtant très productives. Qu'arrivera-t-il quand il y aura des problèmes avec l'épinette blanche et l'épinette noire? Sur quelles essences les aménagistes se rabattront-ils? Chaque essence a ses ennemis, insectes ou maladies, qui lui sont propres.

La situation est pire en milieu urbain où les outils de lutte biologique naturelle ou de lutte chimique ne sont pas disponibles pour certains ravageurs et pour certaines maladies. Il arrive aussi que les produits existent ailleurs, mais ne soient pas homologués au Canada ou bien qu'ils ne soient pas connus.

À Détroit et à Toronto, avec l'arrivée de l'agrile du frêne, un insecte exotique récemment introduit, près de cinq millions de frênes ont été abattus sans que le bois soit récupéré afin de limiter la dispersion de l'insecte. Même s'il y a beaucoup de dynamisme dans la recherche sur ce ravageur, les solutions de lutte proposées se limitent à l'abattage et à l'émondage.

Il ne faut pas oublier aussi que ce ne sont pas tous les insectes qui peuvent faire l'objet de traitement.

#### L'homologation

Plusieurs outils de lutte sont disponibles à travers le monde, mais nous ne pouvons y avoir accès au Canada parce qu'il faut beaucoup de temps pour obtenir l'homologation d'un produit. En effet, l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) demande beaucoup d'expertises avant de donner la permission d'utiliser un produit. C'est un processus long et très coûteux.

Par contre, même si l'ARLA semble être un obstacle, elle joue un rôle essentiel pour la sécurité des citoyens. Il faudrait plutôt envisager de développer une structure intermédiaire qui serait financée à différents degrés par des compagnies, des instituts de recherche, des gouvernements, etc. Cet organisme pourrait faciliter l'homologation de certains produits pour un usage limité. Cette structure, ou cet organisme, permettrait de répondre aux besoins des petits marchés et de réagir à certaines épidémies occasionnelles.

Une autre solution proposée serait de s'associer avec des partenaires d'autres pays qui oeuvrent dans les mêmes domaines (pépinnières,

«Plusieurs outils de lutte sont disponibles à travers le monde, mais nous ne pouvons y avoir accès au Canada parce qu'il faut beaucoup de temps pour obtenir l'homologation d'un produit.»



vergers à graines, producteurs de sapins de Noël, etc.). Cette collaboration permettrait d'accélérer l'homologation de produits pour des projets de moindre envergure.

## Seuil de nuisance

Il faut sensibiliser les utilisateurs de produits contre les ravageurs à tolérer un certain seuil de parasitisme, surtout en milieu urbain. Il faut leur apprendre à ne pas utiliser un arsenal de pesticides pour une chenille dans un arbre. De même, en forêt publique, il existe un seuil naturel d'infestation. Il s'agit de déterminer au-delà de quel seuil il faut intervenir.

«Il faut sensibiliser les utilisateurs de produits contre les ravageurs à tolérer un certain seuil de parasitisme, surtout en milieu urbain.»

Ce seuil diffère selon la superficie du territoire touché. En effet, pour le charançon de la racine du fraisier, par exemple, les dommages sont minimes à l'échelle de la province, mais dans une pépinière infestée le problème est

majeur. Dans une perspective globale, les problèmes moins graves vont obtenir peu ou pas de financement gouvernemental. La situation est la même pour la forêt privée où un insecte ou une maladie peuvent être présents sur toute la superficie d'une propriété, mais avoir un impact minime sur le reste de la province.

## Lutte intégrée

La lutte intégrée requiert l'utilisation de tous les outils disponibles, ce qui inclut les outils biologiques, les outils chimiques et les méthodes de culture. Le but est de diminuer le plus possible l'utilisation des produits chimiques par un meilleur contrôle, une meilleure surveillance et de meilleures pratiques culturelles.

Dans certains cas, seuls les produits chimiques sont disponibles, mais ne peuvent être utilisés. Cette restriction peut accentuer le problème.

En 2001, le gouvernement du Québec a décidé d'abolir l'usage des pesticides chimiques en forêt, bien que les principes de la lutte intégrée supposent l'utilisation de tous les outils disponibles. Les responsables de la lutte antiparasitaire se sont ainsi retrouvés privés d'un outil essentiel à leur travail.

Il est à noter que la législation sur les pesticides a débuté en forêt, loin des populations. Les pesticides ont été interdits en forêt avant d'être interdits en ville et dans les productions agricoles.

## La relève

Il se forme passablement de spécialistes dans le domaine de la lutte biologique, mais peu de postes sont disponibles. Ces spécialistes doivent souvent s'expatrier, bien que dans quelques années, un bon nombre de fonctionnaires spécialisés dans ce domaine, tant au gouvernement fédéral que provincial, vont prendre leur retraite. Actuellement, il ne semble pas y avoir de volonté pour former la relève.

## La santé des travailleurs

Ce sont des travailleurs qui épandent les produits de lutte (chimique ou biologique) contre les ravageurs. Il faut utiliser des méthodes ou des produits qui réduisent les risques pour leur santé et pour leur sécurité.

## Transfert de connaissances

Il faudrait développer une façon de faire connaître aux utilisateurs et aux partenaires potentiels les résultats des recherches et les sujets des recherches en cours.

Le colloque est déjà un bon départ, mais il faudrait le tenir chaque année ou trouver un autre moyen pour faire connaître aux utilisateurs et aux chercheurs les travaux en cours.

Un réseau de recherche pourrait être créé pour favoriser les échanges entre les chercheurs.

## Une commercialisation problématique

Le développement de nouveaux produits de lutte biologique est très difficile et prend beaucoup de temps et surtout beaucoup d'argent. De plus, la plupart du temps, le produit a une durée de vie très courte (2 à 3 ans). Il n'y a donc pas de place pour plusieurs entreprises de commercialisation.

«Les produits biologiques contre les ravageurs sont bons pour l'environnement et leur usage répond au désir de la population d'avoir des produits verts.»

Les produits biologiques contre les ravageurs sont bons pour l'environnement et leur usage répond au désir de la population d'avoir des produits verts. Plusieurs de ces produits ont l'avantage d'être propres à un type de ravageur. Par contre, cet avantage devient un désavantage lors de la mise en marché du produit, ce qui favorise le développement des produits chimiques qui ont, pour leur part, un spectre d'utilisation plus large.

La spécificité réduit aussi le marché potentiel pour le produit biologique d'où le peu d'intérêt des compagnies distributrices à investir dans le produit.

Le *Bacillus thuringiensis* fait exception parce qu'il a été développé au cours d'une période épidémique et qu'il est efficace contre plusieurs espèces de lépidoptères.

Dans certains cas, les problèmes des ravageurs ont été créés par des pratiques culturelles qu'il faut améliorer. Dans ces cas, il faut une solution de lutte à court terme en attendant de trouver ou de modifier la pratique culturelle de façon à minimiser l'impact des ravageurs.

Pour assurer une bonne participation de l'industrie de la distribution, il faudrait qu'elle soit partie prenante dès le début d'un projet au lieu d'intervenir à la fin du processus.



## Rôle de la SOPFIM

La Société de protection des forêts contre les insectes et les maladies (SOPFIM) se concentre principalement sur les insectes à grand déploiement comme la tordeuse et l'arpenteuse. Elle devrait aussi s'attarder aux autres insectes qui ne sont pas des nuisances pour l'instant, tant dans les pépinières qu'en forêt privée. Beaucoup de connaissances pourraient ainsi être acquises sur ces insectes et ces connaissances pourraient être exportées. Il ne faut pas faire comme pour le dendroctone du pin en Colombie-Britannique et dire qu'aucune intervention n'est possible, mais il faut plutôt essayer de trouver des solutions au problème.

## Recherche

Plusieurs chercheurs se sont lancés dans des travaux et le fruit de leurs découvertes n'a jamais dépassé le stade expérimental, faute d'intérêt de la part de distributeurs potentiels.

Souvent, pour les projets de recherche, le facteur critique est l'argent. Tant que le financement est disponible, les chercheurs peuvent maintenir une équipe de travail et développer une expertise. Toutefois, quand les fonds sont épuisés, l'équipe se dissout, la recherche retombe à zéro et le savoir-faire est perdu. Si un autre problème survient et que des fonds sont disponibles, tous les travaux doivent repartir de rien.

Il faudrait agir d'une manière proactive et ne pas attendre que le problème frappe. Il faudrait prévoir les risques et développer une expertise en conséquence. En effet, des ravageurs, endémiques aujourd'hui, peuvent devenir épidémiques plus tard. Certains ravageurs pourraient être ciblés et faire l'objet de recherches exclusives de la part d'équipes qu'il faudrait former à cet effet.

Il y a encore de la recherche fondamentale à faire. Certains ravageurs sont peu connus. Pour faire de la lutte intégrée, il faut augmenter nos connaissances sur tous les ravageurs.

De plus, nous ne savons pas encore l'effet des changements climatiques sur les ravageurs.

Dans certains milieux comme les pépinières, il faudrait développer un processus souple par lequel le chercheur peut répondre à un besoin spécifique rapidement. En effet, il arrive souvent que le ravageur ne soit présent que pendant deux ou trois ans, ce qui est souvent trop court pour trouver une régie de culture qui diminue ses dommages. De plus, le pépiniériste ne peut perdre deux à trois ans de production pour développer une méthode culturale. Il a rapidement besoin d'un outil et se tourne vers ce qu'il y a de disponible, un produit chimique la plupart du temps.

## Financement

Pour réaliser les travaux de recherche et maintenir les équipes actives, il faut un financement constant.

Les projets qui ont connu du succès sont ceux pour lesquels le maillage avec le privé et les partenaires financiers s'est fait dès le début.

Lorsque les pesticides chimiques ont été bannis des forêts, le gouvernement avait promis d'investir dans la recherche de solutions, mais les fonds n'ont jamais été octroyés.

L'Association des producteurs de sapin de Noël a créé un fonds pour la recherche sur les ravageurs. Peut-être que d'autres groupes, comme les pépiniéristes, devraient les imiter.

Un fonds spécial pourrait également être créé pour la réalisation de petits projets que l'on sait non rentables dès le départ. Cet aspect serait le critère de sélection pour avoir le droit d'utiliser cet argent. Une partie de ce fonds permettrait l'homologation de produits.

## Sensibilisation

Les spécialistes qui travaillent dans le domaine des produits biologiques contre les ravageurs pourraient, à l'exemple des Riopelle, Pellan et autres, écrire un manifeste dénonçant la lenteur de l'homologation des produits biologiques. Ce document permettrait de sensibiliser les gens et les décideurs à ce phénomène.





*Actes du colloque  
Protéger la forêt... naturellement!*

**ÉDITION ET DIFFUSION**

**RESPONSABLE DE L'ÉDITION**

*Étienne Boileau, ing.f.  
Partenariat innovation forêt  
1055, rue du P.E.P.S. C.P. 10380 Succ. Sainte-Foy  
Québec (Québec) G1V 4C7  
Site web du PIF : <http://www.partenariat.qc.ca>*

**DIFFUSION**

*Ressources naturelles Canada  
Gouvernement du Canada  
Service canadien des forêts  
Centre de foresterie des Laurentides  
1055, rue du P.E.P.S. C.P. 10380 Succ. Sainte-Foy  
Québec (Québec) G1V 4C7  
Site web du CFL : <http://www.cfl.scf.mcan.gc.ca>*

**Le site web du colloque :**

*<http://scf.mcan.gc.ca/soussite/luttebiol/>*

*No de catalogue :*

*ISBN : 978-2-9808476-2-2*





*Protéger la forêt...*

# naturellement!

Colloque sur la lutte biologique et intégrée



Ce document et les présentations en diaporama sont disponibles en format PDF sur le site Internet de l'événement : <http://scf.mcan.gc.ca/soussite/luttebiol/>