

## Impact des changements globaux sur les insectes des érablières.

Y. Mauffette <sup>1</sup>, M. Fortin <sup>1</sup>, J. Martel <sup>2</sup>, F. Lorenzetti <sup>3</sup>, M. Constantin<sup>1</sup> et C. Kouassi <sup>1</sup>

- 1) *Groupe de Recherche en Écologie Forestière, Département des Sciences Biologiques, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, Succ A, Montréal, CANADA H3C 3P8.*
- 2) *Section of Ecology, Department of Biology, University of Turku, FIN-20014, Finlande*
- 3) *Département de biologie, Université d'Ottawa, Ottawa, Canada, K1N 6N5*

### Résumé

Durant les saisons estivales de 1987, 1988 et 1989, nous avons recensé les insectes dans des érablières du sud-est du Québec afin d'évaluer l'impact du dépérissement sur les communautés d'insectes phytophages. Au cours de cette étude, nous avons récolté plus de 40,000 spécimens appartenant essentiellement aux 4 ordres suivant: Homoptères, Hémiptères, Coléoptères et Lépidoptères.

Ce sont principalement les Lépidoptères qui répondent négativement au dépérissement. Néanmoins, un d'entre eux, la livrée des forêts (*Malacosoma disstria* Hbn.), qui cause d'importants dommages chez les feuillus, démontre une fécondité supérieure en laboratoire lorsque les larves consomment du feuillage provenant d'érables dépérissants. Afin de vérifier si l'effet d'un polluant gazeux comme l'ozone peut engendrer des modifications sur les relations entre la livrée et l'érable, nous avons nourri la livrée des forêts avec de jeunes semis d'érable exposés à différentes concentrations d'ozone troposphérique. Les résultats démontrent que la performance de l'insecte n'est que partiellement affectée par ce stress. Par contre, la livrée consommant du feuillage exposé au soleil possède une survie ainsi qu'une fécondité supérieures. Ces résultats suggèrent que d'importantes ouvertures dans la strate arborescente pourraient influencer l'abondance de la livrée des forêts.

Ces études révèlent que le stress peut facilement rompre l'équilibre entre les producteurs primaires et leurs consommateurs à l'intérieur de ces écosystèmes forestiers. Le déséquilibre associé avec les changements globaux pourrait donc entraîner une augmentation des populations de certains insectes défoliateurs dans nos érablières.

### Introduction

Dans les érablières, les insectes ont coévolué avec leurs hôtes depuis de nombreuses années. Les insectes présents dans ces écosystèmes forestiers jouent une multitude de rôles (e.g. décomposeur) et chacune de leur fonction est essentielle à l'équilibre de l'écosystème (Strong et al. 1984). Ces insectes se sont adaptés aux conditions environnementales de l'érable mais aussi aux constituants chimiques que l'insecte perçoit lorsqu'il broute le feuillage. Les insectes phytophages n'exploitent pas cependant toutes les ressources alimentaires disponibles. Le niveau moyen de défoliation des forêts en Amérique du Nord se situe entre cinq et trente pour cent (Mattson et Addy, 1975). Il arrive néanmoins que plusieurs centaines d'hectares de forêts soient complètement défoliés mais ces dommages sont causés par moins de 10% des espèces (Mason 1987). Ces défoliations peuvent diminuer la croissance des arbres, augmenter leur susceptibilité à

d'autres ravageurs ou pathogènes, et dans des cas extrêmes causer la mort de l'arbre (Kulman, 1971). Par contre, l'équilibre fragile qui s'est établi entre l'hôte et l'insecte risque d'être rompu par les nombreux stress que subissent nos forêts.

Depuis plusieurs années, les changements globaux représentent une menace importante pour les forêts (Vitousek 1994). Une augmentation des températures risque à plus long terme de modifier sensiblement la structure des communautés forestières en favorisant certaines espèces et en nuisant à d'autres (Bergeron et al. 1992). La production de polluants qui ont pour origine la production d'énergie à partir de combustibles fossiles, comme le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et les macro-particules de carbone, provient en partie du sol (Lovett 1994). D'autres polluants se forment dans l'atmosphère par des réactions chimiques (réaction des oxydes d'azote (NOx) ou composés organiques volatils (COV), dont l'un des plus importants est l'ozone, sont rejetés dans la basse atmosphère (troposphère) (Turner 1995). Les pluies acides résultent aussi d'interactions atmosphériques, auxquelles participent les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre. L'agence pour la protection de l'environnement (EPA), aux États-Unis, prédit une augmentation croissante des concentrations de ces différents polluants dans l'atmosphère d'ici l'an 2000. On mentionne par exemple, que l'ozone troposphérique augmenterait de 1% à 2% par an en Amérique du Nord.

Les concentrations grandissantes de ces polluants amenuisent la productivité de ces écosystèmes forestiers (Mauffette 1996). La réponse des arbres à la pollution n'est pas uniforme car elle dépend de l'espèce considérée, des caractéristiques génétiques, de l'âge de l'arbre de même que du type et de la concentration du polluant et de ces interactions avec d'autres polluants (Kozlowski et al. 1991). Un polluant seul ou de concert avec d'autres induisent des blessures et des changements physiologiques, notamment au niveau de la photosynthèse et l'absorption minérale, qui par la suite altèrent la croissance de la plante (Burton et al. 1993; Taylor et al. 1994). Ils peuvent aussi affecter l'appareil reproducteur des plantes et la production de semences (Thompson & Taylor 1969). Plus spécifiquement, certains polluants, notamment les pluies acides, causent un déséquilibre dans les éléments nutritifs du sol, souvent responsable de carences chez la plante et d'un retard dans sa croissance (Taylor et al. 1994). D'autres comme l'ozone peuvent inhiber la formation des feuilles et leur expansion, ou même accélérer la sénescence (Lefohn 1992).

Si l'estimation de ces différentes formes de dommages permet assez facilement de quantifier les effets des polluants sur un arbre, il est en revanche difficile d'estimer leur impact sur l'ensemble de l'écosystème forestier. Plusieurs facteurs comme les conditions environnementales, la fréquence des émissions de polluants ou les temps d'exposition interagissent, compliquant ainsi l'interprétation et l'évaluation de l'effet précis de la pollution. Dans les cas de forte pollution, l'appauvrissement de l'écosystème et la réduction de la biomasse sont évidents. Les cas moins sévères engendrent des modifications de la structure et du fonctionnement de la communauté végétale, réduisent la diversité ou perturbent les stades successionnels (Taylor et al. 1994). Enfin, la pollution atmosphérique peut diminuer la vigueur de l'arbre et le rendre plus sensible aux attaques des ravageurs (Lechowicz 1987; Heliövaara & Vaisanen 1993).

Plusieurs auteurs rapportent que les stress abiotiques diminuent la résistance des plantes aux insectes (Hain, 1987; Mattson et Haack 1987; Larsson 1989; voir aussi Heliövaara & Vaisanen 1993). Ces mêmes auteurs indiquent qu'un facteur ou une conjonction de facteurs abiotiques affectant les plantes conduit à un déséquilibre entre les qualités nutritives et les capacités

défensives de ces plantes. De plus, ces changements pourraient causer une augmentation des effectifs des populations d'herbivores sur les plantes stressées. L'impact qu'engendre un polluant ou la combinaison de polluants sur la physiologie de la plante pourra donc influencer directement les insectes qui la consomment ou même les communautés d'insectes associées à l'espèce végétale.

Nos érablières sont assujetties depuis les dernières années à de nombreux stress environnementaux qui altèrent la dynamique de cet écosystème mais aussi qui se répercutent sur la croissance et les divers processus physiologiques de l'érable (Voir: Dizengremel; Gaucher et al. dans ce volume). Ces études ont clairement démontré les effets pernicioeux que ces perturbations peuvent avoir sur un producteur primaire comme l'érable mais il est aussi essentiel d'évaluer cet impact sur l'entomofaune associée à l'érable. Les études présentées dans cet article regroupent une série de projets se concentrant principalement sur l'érable et ses insectes qui ont été réalisés au cours des dix dernières années.

### **Le dépérissement des érablières**

Le dépérissement des forêts est un phénomène complexe qui a pris de l'ampleur autant en Europe qu'en Amérique du Nord (Manion et Lachance 1992). Au Québec, nous avons assisté durant les années 80 à un dépérissement inhabituel de l'érable dans toute son aire de distribution. Les causes du dépérissement sont multiples et de nombreuses études ont décrit comment cette perturbation modifie de façon importante la structure du milieu forestier (Bauce et Allen 1991; Manion et Lachance 1992) car elle crée un déséquilibre qui entraîne une série de modifications successives sur les divers éléments de l'écosystème (Klein & Perkins 1988; Roy et al. 1985). Les symptômes les plus visibles apparaissent au niveau de la cime des arbres. Les feuilles deviennent plus petites et dressées et le feuillage est de plus en plus clairsemé de sorte que le volume de la cime diminue progressivement, créant d'importantes ouvertures au niveau de la voûte forestière (Dessureault 1985). Les modifications des caractéristiques physiques et chimiques du feuillage entraînent inévitablement des changements sur la quantité et la qualité des feuilles produites et par conséquent sur les communautés d'invertébrés qui s'y développent.

Nous avons au cours des années 1987, 1988 et 1989 recensé dans la région des Bois-Francs 18 érablières affectées à divers degrés par le dépérissement (Martel 1989). L'objectif de notre étude avait pour but d'évaluer l'impact du dépérissement sur les communautés d'invertébrés présents dans les érablières. Nous avons remarqué que la perte du couvert végétal au niveau de la voûte forestière dans les érablières en dépérissement favorise une plus grande pénétration des rayons solaires jusqu'au sol, entraînant une augmentation de la température et un assèchement de la litière (Perkins et al. 1987). Ces nouvelles conditions semblent défavorables au développement de certains organismes liticoles (Tousignant et al. 1990; Martel et al. 1991) puisque ceux-ci sont très sensibles aux variations de température et d'humidité (Schowalter 1985). De plus, les perturbations du cycle des éléments nutritifs observées dans les érablières en dépérissement entraînent des modifications de la qualité de la litière et, par conséquent, de la structure des communautés d'arthropodes décomposeurs tels que les vers de terre (Coderre et al. 1995).

Les insectes de la litière ne sont pas les seuls affectés par le dépérissement. Durant ces trois ans, nous avons aussi récolté plus de 40,000 insectes phytophages dans ces érablières du sud-est du Québec. Parmi les spécimens recensés, ce sont les Lépidoptères qui sont les plus affectés par le dépérissement (Darveau et al. 1997). Nous avons noté au printemps que la

diversité et la richesse des communautés de Lépidoptères sont affectées négativement par le dépérissement (tableau I). L'abondance d'insectes comme les mineuses telles que *Phyllonorycter lucidicostella* ou des enrouleuses, qu'on retrouve souvent dans les érablières, diminue avec le dépérissement (Martel & Mauffette 1997). Les altérations chimiques du feuillage dépérissant ainsi qu'une dégradation du couvert ne permettraient pas à ces insectes de compléter leur cycle vital, réduisant ainsi leur abondance.

Cependant, un défoliateur comme la livrée des forêts (*Malacosoma disstria*), une espèce qui se nourrit de plusieurs hôtes feuillus (Stehr et Cook 1968), profiterait des modifications chimiques du feuillage d'érables dépéris. Nos expériences en laboratoire sur la livrée démontrent clairement que le feuillage dépéri constitue une meilleure source de nourriture que les feuilles saines même si les concentrations de phénols et tannins, deux composés secondaires du métabolisme des plantes considérés comme des éléments de défenses contre les herbivores, augmentent dans les feuilles d'arbres dépéris (Martel et Mauffette 1989; Lorenzetti 1993). Nos données confirment que des livrées élevées sur du feuillage dépéri d'érables à sucre ont un développement plus rapide et un poids pupal plus grand que des individus élevés avec du feuillage sain (Figure 1). Le principal facteur responsable de ces changements pourrait être attribué à l'augmentation des concentrations de sucres dans le feuillage dépéri sachant que les hydrates de carbone peuvent avoir un rôle significatif dans l'alimentation de l'insecte (Martel et Mauffette 1996).

### **L'ozone une menace**

On reconnaît que l'ozone est probablement un des polluants les plus nocifs pour les forêts en Amérique du Nord en plus d'être considéré comme l'un des grands responsables des problèmes de pollution atmosphérique dans plusieurs villes canadiennes (Turner 1995). Une des régions particulièrement touchées est le corridor Windsor-Québec où on y retrouve souvent les concentrations d'ozone les plus élevées au Canada (Fuentes & Dann 1994). Au Québec, depuis la fin des années soixante-dix, l'ozone est mesuré continuellement comme plusieurs autres polluants gazeux classiques tels que le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote (voir description du REMPAFAQ: *Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieu forestier et agricole du Québec*, dans Robichaud 1994 ). Cependant, contrairement à ceux-ci, aucune tendance significative à la baisse pour l'ozone n'a été observée dans le sud-est de la province de Québec. Par exemple, pour la majorité des polluants gazeux, les normes de qualité de l'air ambiant sur le territoire de la communauté urbaine de Montréal sont aisément rencontrées grâce à des mesures correctrices prises sur les sources d'émission. La seule exception est l'ozone pour lequel les normes horaires et quotidiennes sont dépassées fréquemment dans la région de Montréal (Leduc & Gagnon 1992). Pour l'ensemble du territoire québécois, on rapporte aussi des dépassements de la norme horaire pour quelques sites forestiers au Québec méridional et on attribue pour la saison 1991 selon certaines estimations des pertes de croissance de 0 à 12% chez certains feuillus (Robichaud 1994).

L'impact de l'ozone sur l'érable a été décrit dans de nombreuses études (Boulais 1990; Garrec et al. 1992; Renaud et al. 1992). Les modifications physiologiques qu'entraîne ce phyto-oxydant a des répercussions sur la biochimie foliaire de la plante qui indirectement affecteront les insectes qui la consomment. Nous avons au début des années 90 procédé à des élevages des insectes sur du feuillage de jeunes semis d'érable à sucre exposés à différentes concentrations d'ozone. Nous avons choisi deux espèces de Lépidoptère, la livrée des forêts et l'hétérocampe de l'érable. Les deux insectes que nous avons étudiés ont été peu affectés par leur source de nourriture exposée à l'ozone. Fortin et al. (1997) rapporte que la livrée, un défoliateur printanier, a

su reconnaître le feuillage exposé à l'ozone, et ce, de façon préférentielle pour une année de notre étude. La performance de l'insecte sur les feuilles exposées aux différents niveaux d'ozone démontre des réponses très variable qui laisse supposer que l'insecte répond plus aux variations climatiques qu'à l'ozone (Fortin et al. 1997). De même, le comportement alimentaire et la biologie de l'hétérocampe en réponse à l'ozone ne sont pas hautement affectés et nous croyons que la nature polyphage de cet insecte estival conférerait à ce dernier une grande capacité d'adaptation aux variations phytochimiques (Constantin, 1993).

## **L'impact de l'aménagement et le contrôle des insectes forestiers**

L'éclaircissement du couvert forestier suite aux perturbations comme le dépérissement ou même à des interventions sylvicoles aura lui aussi un effet sur la dynamique des insectes forestiers. Nos travaux de recherche sur la livrée des forêts et du feuillage de l'érable démontrent pour l'insecte des taux de survie ou de fécondité différents en fonction des types de feuilles (e.g. feuilles d'ombre versus de lumière; feuilles provenant de semis versus d'arbre mature) qu'elle consomme. Fortin (1994) a démontré que pour les livrées des forêts qui consomment des semis exposés au soleil, elles ont un taux de survie et une fécondité supérieurs à celles consommant des semis en sous-bois. Ces réponses pourraient être attribuables aux différences morphologiques et physiologiques des feuilles provenant de milieu ensoleillé versus un milieu ombragé (Mattson et Scriber, 1987; Ellsworth et Reich, 1993). Les feuilles de lumière possèdent des teneurs en sucre, azote et phénols supérieurs à celles rencontrées en milieu ombragé ce qui a pour effet d'influencer l'écologie nutritionnelle de l'insecte (Fortin & Mauffette 1997).

En forêt, l'insecte est confronté à une gamme de feuilles qui ont des qualités nutritionnelles différentes en fonction de leur distribution à l'intérieur de la voûte forestière. À la lumière de nos résultats, la performance biologique de la livrée est liée à sa source de nourriture. Les insectes consommant le feuillage de la cime se développeront mieux que ceux consommant des semis ou du feuillage ombragé situé à la base de la couronne des arbres (Figure 2). Les réponses de cet insecte face à ses différentes sources de nourriture auront donc un impact direct sur la dynamique des populations. Une nourriture de qualité augmentera le taux de survie ainsi que la fécondité ce qui peut entraîner l'accroissement des populations.

Les épidémies de la livrée des forêts au Québec ont été principalement recensées dans les peupleraies (Boulet 1996). On note par contre qu'au début des années 80 d'importantes défoliations ont été retracées dans les érablières du sud-est de la province mais aucune intervention n'a été prise afin d'enrayer l'insecte. En Amérique du Nord, des milliers d'hectares sont défoliés chaque année par la livrée et des agents de lutte biologique comme le *Bacillus thuringiensis* sont actuellement utilisés (Harper et Lawrence 1979). Au Québec, peu d'études ont porté sur le contrôle de la livrée car ces dommages se sont surtout concentrés dans les forêts pionnières. Par contre à plus long terme, la susceptibilité des érablières aux épidémies suite aux récentes perturbations que subissent ces forêts risquent d'augmenter. Afin de palier à ce manque de connaissance, Kouassi et al. (1998) a entrepris des travaux sur l'efficacité du *Bacillus* contre la livrée et ce en fonction de sa plante hôte. Ces résultats démontrent que l'efficacité du *Bt* est cent fois plus grande contre l'insecte quand celui-ci se nourrit de feuillage provenant de l'érable contrairement à du feuillage du peuplier faux-trembles. Les données suggèrent que les normes d'arrosage devront être révisées en fonction du type de peuplement qui est visé.

## Conclusion

Nos recherches des dernières années sur les insectes et les érablières nous ont permis d'élucider certains facteurs concernant les relations plantes-insectes mais aussi de reconnaître la complexité de ces écosystèmes forestiers. Le dépérissement des érablières a sensibilisé un grand nombre de producteurs à la fragilité de leur ressource face aux perturbations abiotiques, mais nos travaux ont aussi mis en évidence la rupture de l'équilibre existant entre l'érable et son entomofaune. Aussi longtemps que les activités humaines modifieront son environnement, l'homme devra se préoccuper de mieux gérer son milieu mais aussi de développer des outils de prédiction afin de comprendre les réponses des plantes et des insectes aux changements globaux. Jusqu'à maintenant, plusieurs études démontrent les effets directs ou indirects des polluants sur les végétaux et les insectes mais notre compréhension est toujours limitée et ne nous permet pas de mettre sur pied des programmes de gestion (Winner 1994). Ces outils et ces connaissances sont donc indispensables si nous voulons pour l'an 2000 établir une gestion et une protection de nos forêts face aux perturbations.

## Références

- Bauce, E. & D.C. Allen. 1991. Etiology of a sugar maple decline. *Can. J. For. Res.* 21: 686-693.
- Bergeron, Y., D. Gagnon, Y. Mauffette & J. Tardif. 1992. La forêt menacée. pp 55-64. in *Terre patrimoine commun, sous la direction de M. Barière*. Editions La Découverte, Paris.
- Boulais, C. 1990. Effets de l'ozone sur la photosynthèse et la croissance de jeunes érables à sucre (*Acer saccharum*) en chambre d'exclusion sans toit. Mémoire de M. Sc. Env. UQAM.
- Boulet, B. 1996. Les principaux insectes forestiers: historique, distribution et impact sur les forêts québécoises. pp 37-55 *in*: *La gestion écologiques des forêts québécoises: un défi pour l'an 2000*. eds Cantin, D & C. Potvin. Les Presses de l'Université Laval.
- Burton, A. J.; Pregitzer, K. S.; Macdonald, N. W. 1993. Foliar Nutrients in Sugar Maple Forests Along a Regional Pollution- Climate Gradient. *Soil Science Society of America Journal*. 57(6): 1619-1628.
- Coderre, D., Y. Mauffette. D. Gagnon, S. Tousignant & G. Bessette. 1995. Earthworm populations in healthy and declining sugar maple forests. *Pedobiologia* 39: 86-96.
- Constantin, M. 1993. Impact de l'ozone sur le comportement alimentaire et la biologie de l'hétérocampe de l'érable (*Heterocampa guttivitta* Walker). Mémoire de M.Sc. Bio. UQAM.
- Darveau, M., J. Martel, J.L. DesGranges & Y. Mauffette. 1997. Ecosystemic effects of forest decline: bird and insect communities in northern hardwoods. *Can. J. For. Res.* 27:876-882.
- Dessureault, M. 1985. Le dépérissement des arbres: nature, causes et mécanismes. *Phytoprotection* 66: 71-81.
- Ellsworth, D.S. & P.B. Reich. 1993. Canopy structure and vertical patterns of photosynthesis and related leaf traits in a deciduous forest. *Oecologia*. 96:169-178.
- Fortin, M. 1994. Les stress environnementaux: effets indirects sur la biologie et le comportement alimentaire de la livrée des forêts (*Malacosoma disstria* HBN.). Mémoire de M.Sc. Bio. UQAM.
- Fortin, M. & Y. Mauffette. 1997. Sun and shade leaves: implications for the forest tent caterpillar (*Malacosoma disstria* Hbn.). ESC/SCE, Edmonton, Canada.
- Fortin, M., Y. Mauffette & P. Albert. 1997. The effects of ozone-exposed sugar maple seedling on biological performance and feeding preference of the forest tent caterpillar (*Malacosoma disstria*) *Env. Poll.* 97(3): 303-309.
- Fuentes, J. D.; Dann, T. F. 1994. Ground-Level Ozone in Eastern Canada - Seasonal Variations, Trends, and Occurrences of High Concentrations. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 44(8): 1019-1026.
- Garrec, J.P., Y. Mauffette, G. Allard & J.P. Renaud. 1992. L'augmentation de l'ozone troposphérique et le dépérissement des forêts. *Eureka* 33:3-5.
- Hain, F. P. 1987. Interactions of insects, trees and air pollutants. *Tree Physiology*. 3: 93-102.

- Harper, J.D. et P.A. Lawrence. 1979. Forest tent caterpillar control with aerially applied formulations of *Bacillus thuringiensis* and Dimilin. J. Econ. Entomol., 72:74-77
- Heliovaara, K. and Vaisanen, R. 1993. Insects and pollution. - CRC Press, Boca Raton.
- Klein, R.M. and T.D. Perkins. 1988. Primary and secondary causes and consequences of contemporary forest decline. Bot. Rev. 54: 1-43.
- Kouassi, C., Y. Mauffette, J. Cabana & C. Guertin. 1997. Tritrophic interactions between the forest tent caterpillar (*Malacosoma disstria* Hbn.) its hosts and the Bt (*Bacillus thuringiensis* Berliner). ESC/SCE, Edmonton, Canada.
- Kozlowski, T.T., Kramer, P.J., Pallardy, S.G. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, N.Y.
- Kulman, H.M. 1971. Effects of insect defoliation on growth and mortality of trees. Annu. Rev. Entomol. 16: 289-324.
- Larsson, S. 1989. Stressful times for the plant stress-insect performance hypothesis. Oikos 56(2):277-283
- Lechowicz, M. J. 1987. Ressource Allocation by Plants under Air Pollution Stress: Implications for Plant-Pest-Pathogen Interactions. The Botanical Review. 53: 281-299.
- Leduc, R., Gagnon, C. 1992. L'ozone au Québec. Pollution atmosphérique, oct-déc : 93-111.
- Lefohn, A. 1992. Surface level ozone exposures and their effects on vegetation. Michigan, Lewis Publishers.
- Lorenzetti, F. 1993. Performances relatives de la livrée des forêts *Malacosoma disstria* Hbn. sur l'érable à sucre *Acer saccharum* Marsh. sain et dépéri et sur le peuplier faux-tremble *Populus tremuloides* Michx. en relation avec la chimie foliaire. Mémoire de M.Sc. Bio. UQAM.
- Lovett, G. M. 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: An ecological perspective. Ecological Applications. 4(4): 629-650.
- Manion, P. D.; Lachance, D. 1992. Forest Decline Concepts - An Overview. Forest Decline Concepts: Amer Phytopathological Soc. 181-190.
- Martel, J. 1989. Populations et communautés d'insectes forestiers dans des érablières saines et dépériées du sud-est du Québec. Mémoire de M.Sc. biologie, UQAM.
- Martel, J. & Y. Mauffette. 1989. Dépérissement des érablières et interactions plantes-insectes pp. 66-70. in: Atelier sur le dépérissement dans les érablières, MAPAQ 89-0143.
- Martel, J. & Y. Mauffette. 1996. Increasing leaf concentrations of reducing sugars and the performance of the forest tent caterpillar. Ecological Society of America. Providence, Rhode Island.
- Martel, J. & Y. Mauffette. 1997. Lepidopteran communities in temperate deciduous forests affected by canopy dieback. Oikos 78:48-56.
- Martel, J., Y. Mauffette & S. Tousignant. 1991. Secondary effects of canopy dieback: the epigeal carabid fauna in Quebec appalachian maple forests. Can. Ent. 123:851-859.
- Mason, R.R. Nonoutbreak species of forest Lepidoptera. - In: Barbosa, P. and Schultz, J.C. (eds), Insect outbreaks. Academic Press, San Diego, pp. 31-57.
- Mattson, W.J. & J.M. Scriber. 1987. Nutritional ecology of insect folivores of woody plants. In:Slansky F Jr, Rodriguez JG (eds). Nutritional ecology of insects, mites spiders, and related invertebrates. Wiley, New-York, pp. 105-146.

- Mattson, W.J. & N.D. Addy. 1995. Phytophagous insects as regulators of forest primary production. *Science* 190:515-522.
- Mattson, W.J. and Haack, R.A. 1987. The role of drought stress in provoking outbreaks of phytophagous insects. - In: Barbosa, P. and Schultz, J.C. (eds), *Insect outbreaks*. Academic Press, San Diego, pp. 365-407.
- Mauffette, Y. 1996. Les effets des polluants atmosphériques sur la productivité des forêts. pp 107-115. *in: La gestion écologiques des forêts québécoises: un défi pour l'an 2000.* eds Cantin, D & C. Potvin. Les Presses de l'Université Laval.
- Perkins, T.D., Vogelmann, H.W. and Klein, R.M. 1987. Changes in light intensity and soil temperature as a result of forest decline on Camels Hump, Vermont. - *Can. J. For. Res.* 17: 565-568.
- Renaud, J.P., Y. Mauffette, G. Allard, C. Boulais, M. Constantin, M. Fortin & A. Minero-Amador. 1992. L'ozone, un ennemi silencieux: ses effets sur l'allocation des ressources et la résistance au froid et aux insectes de l'érable à sucre. pp 83-94. *in La pollution atmosphérique par l'ozone au Québec: Aspects de la problématique.* Envirodoq EN920411, QEN/QA/-36/1. Québec.
- Robichaud, A. 1994. Analyse des niveaux d'ozone troposphérique en milieu forestier. Réseau REMPAFAQ (1989-1991). Gouvernement du Québec, MRN, Direction de l'environnement forestier, RN94-3116, 84 p.
- Roy, G., Robitaille, L. et Gagnon, G. 1985. Etudes des principaux facteurs de dépérissement des érablières au Québec. *Phytoprotection* 66: 91-99.
- Schowalter, T.D. 1985. Adaptations of insects to disturbance. *In The ecology of natural disturbance and patch dynamics.* Edited by S.T.A. Pickett and P.S. White. Academic Press, New York. pp.235-252.
- Stehr, F.W. & E.F. Cook. 1968. A revision of the genus *Malacosoma* Hubner in North America (Lepidoptera: Lasiocampidae): Systematics, biology, immatures, and parasites. U.S. National Museum Bulletin 276:1-320
- Strong, D.R., J. Lawton & T.R.E. Southwood. 1984. *Insects on plants, community patterns and mechanisms.* Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Taylor, G. E.; Johnson, D. W.; Andersen, C. P. 1994. Air pollution and forest ecosystems: A regional to global perspective. *Ecological Applications*. 4(4): 662-689.
- Thompson, C.R., Taylor, O.C. 1969. Effects of air pollutants on growth, leaf drop, fruit drop and yield of citrus trees. *Environ. Sci. Technol.* 3: 934-940.
- Tousignant, S., J. Martel & Y. Mauffette. 1990. Invertébrés de la litière dans des érablières saines et dépériées du sud-est du Québec. *Can. J. Zool.* 68:2445-2449
- Turner, S. 1995. Problématique de l'ozone troposphérique au Québec et plus spécifiquement dans la région de Montréal. *Environnement Canada* KM351-4-7514.
- Vitousek, P.M. 1994. Beyond global warming:ecology and global change. *Ecology*.75(7):1861-1876.
- Winner, W. E. 1994. Mechanistic analysis of plant responses to air pollution. *Ecological Applications*. 4(4): 651-661.

**Tableau I.** Comparaison de la richesse en espèce des larves de Lépidoptères échantillonnées dans la voûte forestière et sur des gaulis d'érable à sucre sain (S) et déperé (D). Les moyennes sont suivies de leur erreur-type en parenthèse (voir Martel et Mauffette (1997) pour plus d'information).

|                             | Début de saison |      |                 | Fin de saison   |       |                 |
|-----------------------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|
|                             | S               | D    | P               | S               | H     | P               |
| <b>(a) Voûte forestière</b> |                 |      |                 |                 |       |                 |
| 1987                        | 2,36<br>(0,24)  | 1,67 | 0,218<br>(0,37) | 4,60<br>(0,35)  | 4,11  | 0,531<br>(0,59) |
| 1988                        | 6,67<br>(0,36)  | 4,00 | 0,004<br>(0,60) | 12,52<br>(0,72) | 10,67 | 0,207<br>(0,80) |
| <b>(b) Gaulis</b>           |                 |      |                 |                 |       |                 |
| 1987                        | 1,85<br>(0,17)  | 1,75 | 0,468<br>(0,65) | 5,54<br>(0,33)  | 5,63  | 0,794<br>(0,53) |
| 1988                        | 3,93<br>(0,35)  | 2,25 | 0,037<br>(0,37) | 6,59<br>(0,48)  | 7,25  | 0,454<br>(0,96) |

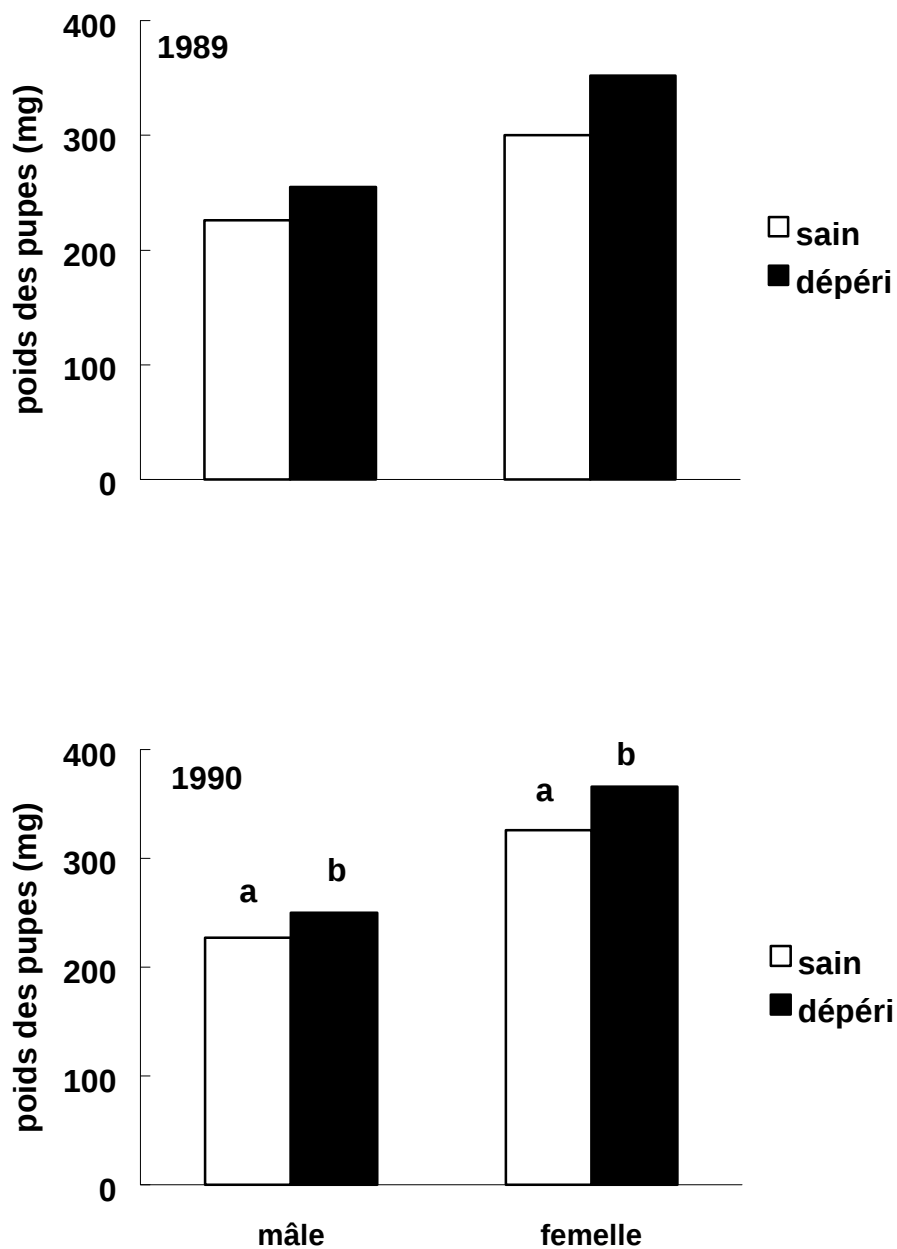


Figure 1. Poids des pupes de la livrée des forêts sur des érables à sucres sains et déperis en 1989 et 1990. Les lettres différentes pour chaque sexe et chaque année indiquent que les moyennes sont significativement différentes entre elles à  $p < 0.05$ .

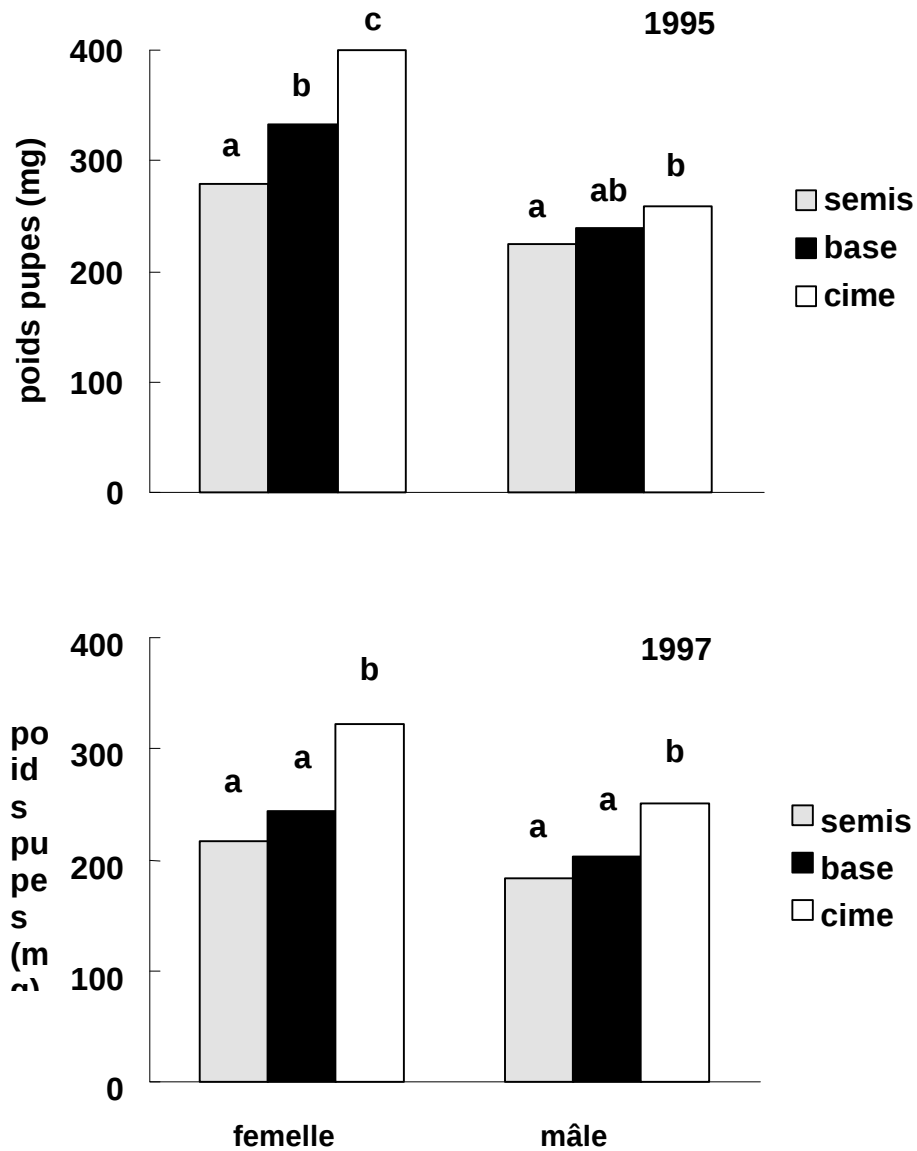


Figure 2. Résultats concernant le poids des pupes mâles et femelles lorsque les larves ont été nourrit sur des feuilles d'érable à sucre provenant de la cime et de la base de la couronne des arbres ainsi que sur des semis. Les lettres différentes au-dessus des colonnes (moyennes) indiquent des différences significatives entre les traitements ( $P < 0.05$ ).