

UFR Sciences & Techniques Côte Basque – Université de Pau et des Pays de l'Adour
Licence Professionnelle : Espaces Naturels – Biologie Appliquée aux Ecosystèmes Exploités
13 Avril – 28 Août 2015

REGNIER Maud

Impact d'une épidémie de l'arpenreuse de la pruche sur les communautés de coléoptères de la sapinière à bouleau blanc



Bugguide

Maître de stage : Docteur Christian Hébert

RESUME

Le laboratoire d'écologie et de diversité des insectes forestiers au centre de foresterie des Laurentides mène, depuis 2012, différentes études autour de l'arpenteuse de la Pruche, *Lambdina fuscicornis* (Guenée), suite à une première infestation signalée dans la région de la Capitale-Nationale (QC) principalement sur les territoires de la Forêt Montmorency, de la réserve faunique des Laurentides et du parc national de la Jacques-Cartier.

Le présent document présente l'étude de l'abondance des coléoptères forestiers de la sapinière à bouleau blanc d'une forêt boréale, suite à une perturbation du milieu causé par l'arpenteuse de la pruche.

Les prélèvements concernant cette étude ont été effectués durant les années 2013 et 2014 par le biais de pièges spécifiquement adaptés pour capturer les insectes en milieu forestier. La zone de recherche s'étend sur les différents territoires précédemment cités où l'Arpenteuse de la pruche a sévi.

Une autre étude s'intéresse aux familles de coléoptères xylophages. Ces familles, en temps normal, colonisent le bois mort dans les chablis ou les brûlis. L'objectif est de savoir si ces coléoptères vont également coloniser le bois mort de la même manière pendant et/ou après le passage de l'arpenteuse de la pruche. Les données enregistrées en 2013 et 2014 ont soulevé une abondance assez élevée de scolytes, qui font partie de la famille des Curculionidae, dans les zones de niveau de défoliation grave. Une espèce était prédominante: *Trypodendron lineatum*. Auparavant, cette espèce n'était pas observée en aussi grand nombre puisque la ressource était limitée. A l'inverse, dans les zones touchées par l'arpenteuse de la pruche, la ressource est devenue très abondante puisque ce sont des milliers d'hectares de forêts qui ont été touchés. Dans les études concernant l'arpenteuse de la pruche (AP), cette espèce n'avait jamais été aussi importante. On tente de comprendre pourquoi cette espèce a colonisé en grand nombre les arbres morts touchés par l'AP dans les zones d'études. Ce projet étant en cours, les résultats statistiques à venir vont pouvoir révéler les réponses aux hypothèses qui ont été émises.

Le projet concernant les scolytes est en lien avec le présent projet. Il s'intéresse à des familles de coléoptères qui ne sont pas xylophage mais qui ont un besoin indirect du bois pour se développer. Ce projet s'avère nécessaire afin de mettre en évidence le rôle écologique des habitats touchés par l'arpenteuse de la pruche après son passage et la diversité de la communauté de coléoptères forestiers.

Mots-clés: l'arpenteuse de la pruche, les familles de coléoptères forestiers: les cantharidae, les nitidulidae, les elitaridae, les carabidae, les cryptophagidae, les monotomidae, les cantharidae et les staphylinidae, la forêt boréale, piège TWT et à impact multidirectionnel.

AVANT PROPOS

Ressources naturelles Canada (RNCan), un ministère du gouvernement fédéral, cherche à renforcer le développement et l'utilisation responsables des ressources naturelles du Canada et la compétitivité des produits tirés des ressources naturelles du pays. Le Ministère est un chef de file établi dans les domaines de l'énergie, des forêts et des minéraux et métaux. Il utilise aussi son expertise dans le domaine des sciences de la Terre afin de bâtir et de tenir à jour une base de connaissances sur la masse continentale du Canada. Le Ministère défend les intérêts internationaux du Canada et aide le pays à s'acquitter de ses obligations internationales à l'égard du développement durable des ressources naturelles.

Le Service canadien des forêts (SCF), un secteur du ministère, est la voix nationale et internationale du secteur forestier du Canada. Sa mission première est d'offrir une expertise et des avis scientifiques et politiques sur des enjeux nationaux liés au secteur forestier. Pour répondre à cette mission, le SCF possède cinq centres de recherche à l'échelle du pays.

Le centre de foresterie des Laurentides (CFL), situé à Québec, fait partie de ces cinq centres de recherche. Il s'articule autour des quatre axes suivants : les ravageurs des forêts, la dynamique des écosystèmes, la productivité des forêts et l'écogénomique. Au-delà de ces quatre axes de recherche, le CFL contribue à harmoniser l'excellence scientifique avec la pertinence des politiques publiques; maintenir et accroître les partenariats du SCF avec les autres ministères fédéraux, les provinces, les organismes de recherche, les universités, les communautés autochtones et les collectivités forestières et de rendre accessibles aux entreprises et aux utilisateurs de la forêt les connaissances générées par la recherche au CFL. (<http://www.rncan.gc.ca/>).

Le laboratoire d'écologie et de diversité des insectes forestiers a pour principaux domaines d'études l'écologie des insectes ravageurs, la biodiversité et les feux de forêts. Cette unité est dirigée par le docteur Christian Hébert, chercheur scientifique en écologie et diversité des insectes forestiers. Il est accompagné par un technicien en entomologie, Yves Dubuc et un taxonomiste, Georges Pelletier. Le laboratoire accueille régulièrement des étudiants en maîtrise, doctorat et post doctorat en partenariat avec des universités ainsi que des stagiaires étrangers.



Source : photos personnelles

REMERCIEMENTS

Un immense merci au Docteur Hébert Christian de m'avoir accueilli au sein de son équipe et de m'avoir donné cette expérience unique en entomologie tant recherchée depuis plusieurs années. De m'avoir fait découvrir, également, un pays aussi chaleureux qu'est le Canada. De plus, je souhaite le remercier de m'avoir intégrée à d'autres projets et ainsi de m'avoir donné un bel éventail de ce qu'est la recherche scientifique. Et enfin, d'avoir cru en mon potentiel pour apporter ce petit quelque chose au sein de son équipe et de ne pas m'avoir jugée selon mon âge mais bien par ma motivation, mes compétences et mes connaissances.

Je tiens également à remercier Yves Dubuc, technicien, pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils. De plus, je tiens à le remercier pour m'avoir invitée à son animation autour des insectes ainsi qu'à sa conférence et de m'avoir présenté à de nombreux professionnels dans notre domaine. Je tiens aussi à indiquer que malgré sa popularité par la publication d'un guide naturaliste, qui par ailleurs est reconnu comme référence pour la détermination d'insectes au Québec, par ses nombreuses animations et conférences, Yves reste une personne humble, accessible et généreuse et quel plaisir de le côtoyer chaque jour au centre.

J'adresse un grand merci à Jean Michel Béland, étudiant à la maîtrise, pour m'avoir consacré du temps dans l'explication des projets concernant l'arpenteuse de la pruche mais aussi pour m'avoir donné une ouverture, pour la partie discussion de ce rapport, sur des analyses statistiques à son niveau, m'avoir accompagnée dans les premières semaines de mon stage et tout simplement d'avoir eu une bonne humeur et un sourire permanent.

Je tiens également à remercier sincèrement Olivier Jeffrey, biologiste, pour m'avoir plus qu'épaulée sur les analyses statistiques des données et par conséquent, m'avoir apporté une grande aide pour la partie résultat de ce présent rapport. Je tiens à souligner son sens du professionnalisme et par conséquent lui souhaite de tout cœur d'intégrer de manière permanente l'équipe de chercheurs du laboratoire d'écologie et de diversité des insectes forestiers.

Je remercie George Pelletier, biologiste et taxonomiste des insectes, pour avoir validé mes identifications, de m'avoir félicitée pour la bonne détermination de certaines espèces complexes et de m'avoir donné des encouragements quant à ma poursuite dans le domaine de l'entomologie.

Je tiens simplement à remercier les personnes que j'ai côtoyées quotidiennement au CFL et qui ont grandement participé à mon bien-être durant ce stage entre autres, Anne Cotton-Gagnon, Xavier Prairie, Baptiste Lacaille, Tony Fontaine et Alain Labrecque.

Toutes les personnes précédemment citées ont eu un rôle plus que positif sur ma personne et je les remercie d'avoir été sincères, honnêtes et humaines envers moi. Certaines personnes vont jouer, et je le pense sincèrement, un grand rôle pour mon futur dans l'entomologie et sans eux mon avenir aurait été bien différent.

Merci à toute l'équipe du Centre de Foresterie des Laurentides et à mon tuteur de l'UFR Sciences et techniques Côte Basque, Monsieur D'amico, maître de conférences HDR.

Je tiens à terminer ces remerciements pour mes parents Jacqueline et Christophe Régnier, ma grande sœur Alicia et mon amour Léonard, qui m'ont toujours soutenue dans mes projets, dans mes rêves et qui sans eux, ce stage, ce voyage, cette passion n'auraient jamais eu lieu. Sans ces personnes, je ne serais jamais arrivée jusqu'ici. Merci à mes parents qui m'ont apporté leur aide financière et qui se sont toujours sacrifiés

pour que leurs enfants réussissent et fassent ce qu'ils veulent de leur vie sans jamais douter de leurs convictions. Merci à ma sœur qui m'a toujours encouragée dans ma passion et réussi à allier son métier au mien et c'est toujours un plaisir de réaliser des projets en famille. Merci à mon amour, Léonard, pour m'avoir toujours soutenue moralement et accompagnée dans les démarches de visas, qui ont été pour moi une période de stress important.

Un merci à toute ma famille et mes amis qui ont toujours été là pour moi, en me félicitant de ne pas avoir abandonné mon rêve de venir au Québec. Je tiens à dédier plus précisément un énorme merci à Elise Albertin, pour m'avoir mis en contact avec le Docteur Christian Hébert.

Table des matières

INTRODUCTION	7
1. MATERIELS ET METHODES.....	8
1.1 Description des sites d'étude.....	8
1.2 Détermination du protocole	9
1.2.1 L'épidémie de l'arpenreuse de la pruche	9
1.2.2 Les familles de coléoptères	10
1.2.3 Objectif et hypothèses.....	10
1.2.4 Dispositif expérimental	11
1.3 Traitement des échantillons	13
1.4 Analyses statistiques	14
2 RESULTATS.....	16
3 DISCUSSION	22
CONCLUSION.....	24
BIBLIOGRAPHIE.....	24
Liste des abréviations.....	26
ANNEXES.....	27

INTRODUCTION

En 2005, la superficie forestière totale était estimée à 30% des terres de la planète, soit un peu moins de 40 millions de km². Cette estimation se base sur les données fournies par 228 pays et régions. Les cinq pays possédant les couvertures forestières les plus étendues sont la Fédération de Russie, le Brésil, le Canada, les Etats-Unis et la Chine. Ils représentent à eux cinq plus de la moitié de la superficie forestière mondiale (Global Forest Resources Assessment 2005).

Ainsi la forêt joue un rôle important dans le développement de ces pays. En effet, au Canada, la forêt a un rôle à la fois écologique, social et économique de première importance. Les forêts Canadiennes sont estimées à 348 millions d'hectares, dont 153 millions d'hectares de forêts certifiées de façon indépendantes comme aménagées de façon durable, 8.6 millions d'hectares de forêts ravagées par les insectes en 2012, 4.2 millions d'hectares de forêts brûlées dans des incendies de forêts en 2013 et 0.6 millions d'hectares de forêts exploitées en 2012. Le pays est reconnu mondialement en tant que source fiable de produits forestiers obtenus légalement et selon les principes du développement durable. (<http://www.rncan.gc.ca/>).

D'après les estimations indiquées au-dessus, les insectes ravageurs dévasteraient plusieurs millions d'hectares de forêts chaque année, ce qui représente une perte pour l'industrie du bois. Une mesure a été prise en 2006 par le conseil canadien des ministres des forêts (CCMF) qui a approuvé la vision, les principes et l'approche de la stratégie nationale de lutte contre les ravageurs forestiers (SNLRF). La SNLRF est une approche d'intervention proactive, intégrée et écosystémique qui vise à faire face à la menace que représentent les ravageurs forestiers, elle fait appel à un modèle d'analyse du risque à l'échelle nationale, pour que les provinces et territoires concernés prennent les décisions qui s'imposent dans la lutte contre les ravageurs et parasites au Canada. A partir d'une première liste de 112 ravageurs : 10 ont été estimés prioritaires pour la recherche, l'arpenteuse de la pruche figure parmi cette liste (Canadian Council of Forest Ministers).

Au fil des 50 dernières années, le CFL s'est ajusté aux nouvelles problématiques forestières. Traditionnellement, la recherche sur les insectes forestiers au laboratoire d'écologie et de diversité des insectes forestiers de ce centre était orientée vers la répression des ravageurs de priorité élevée à l'échelle nationale. Cinq espèces ont été considérées comme priorité élevée parmi les dix prioritaires pour la recherche (<http://www.rncan.gc.ca/>). La tordeuse des bourgeons de l'épinette *Choristoneura fumiferana* (Clemens), insecte défoliateur est l'espèce la plus répandue dans les forêts du Canada. Elle était donc jusque-là, l'espèce faisant l'objet de plusieurs projets au sein du laboratoire du CFL et, de plus, elle sévissait dans les forêts voisines. Une épidémie avait donc été appréhendée par cette espèce sur le massif des Laurentides dans la Région de la Capitale, non loin du CFL. C'est un autre ravageur qui se manifeste de façon surprenante et inattendue en 2012, l'arpenteuse de la pruche (AP) *Lambdina fuscellaria* (Guenée). Il s'agit, à ce jour, de la première et seule infestation produite par cet insecte dans cette zone puisqu'elle est plutôt connue pour pulluler dans l'extrême Est du Québec et sur l'île de Terre-Neuve, où le climat est maritime. Cette expansion dans une région continentale et froide suggère qu'elle profite du réchauffement climatique (Bulletin de conservation 2014 /2015).

Suite à la découverte de l'infestation en 2012, les chercheurs du RNCAN, SCF et de l'Université Laval ont déployé un dispositif scientifique dans les secteurs infectés. Les objectifs premiers étaient de comprendre la dynamique de ses populations et améliorer les moyens de détection et de prévision des dommages (<http://www.sepaq.com/>). Après avoir amélioré les connaissances propres du ravageur, d'autres projets ont été menés afin d'en apprendre d'avantages sur les insectes colonisateurs du bois stressé ou mort après le passage de l'AP. L'objet principal de ce projet est d'évaluer l'impact de l'épidémie de l'AP sur certaines familles de coléoptères, via la défoliation du sapin baumier, sur deux années successives. Les données permettront de connaître l'abondance des familles selon l'année, la relation entre famille et/ou espèce avec la défoliation et connaître les associations d'espèces avec les nouvelles conditions environnementales. Les buts sont, quant à eux, de déterminer l'impact économique des insectes colonisant les arbres morts et de définir des modalités de récupération des forêts affectées qui n'ont pas d'impact négatif sur la biodiversité régionale.

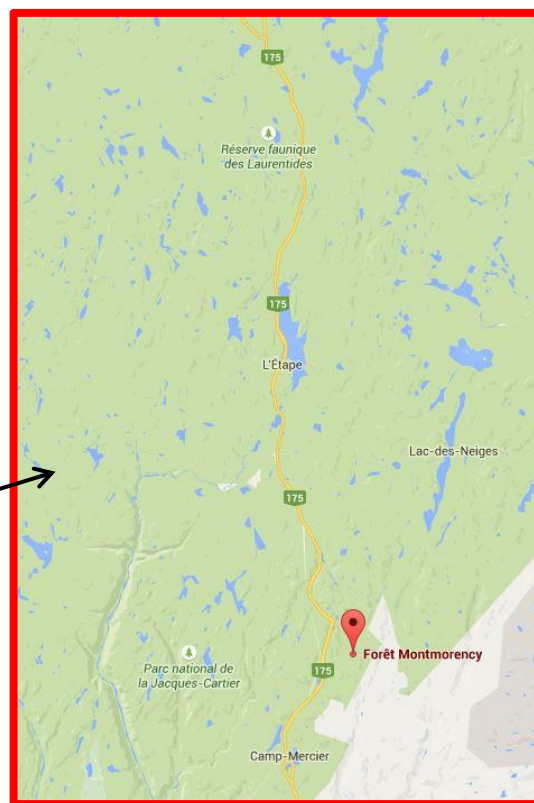
1. MATERIELS ET METHODES

1.1 Description des sites d'étude

Les sites d'études se situent au Québec dans la région de la Capitale Nationale. Les secteurs affectés, à partir de 2012, par l'AP se situent principalement dans la Réserve faunique des Laurentides, la forêt Montmorency et le Parc national de la Jacques – Cartier (cf. figure1). Les sites d'études sont donc situés dans ces secteurs.



Figure 1 : Localisation de l'aire d'étude



Source : Google map

La forêt Montmorency, plus grande forêt d'enseignement et de recherche au monde, le parc de la Jacques-Cartier et la Réserve Faunique des Laurentides ont été créés à des fins de conservations et de protection des milieux naturels mais également de développer un modèle d'aménagement forestier durable des ressources.

Les secteurs étudiés se situent sur le massif des Laurentides au relief accidenté, caractérisé par un plateau d'une altitude d'environ 750 m avec des collines pouvant atteindre 1000 m. Les secteurs sont soumis à un climat froid et humide avec des températures moyennes de 0.3 °C et des précipitations connues comme étant les plus importantes de la province (Environnement Canada).

Le paysage forestier est entièrement composé d'une forêt boréale, principal domaine de végétation au Québec. Ses vastes étendues représentent un peu plus du tiers de la superficie du Québec. Les essences résineuses recouvrent la majorité de ces forêts, avec comme espèce prédominante l'épinette (*Picea sp.*). On y retrouve également le sapin (*Abies sp.*), le mélèze (*Larix.sp*) et le pin (*Pinus.sp*). Les essences de feuillus, quant à eux, représentent 25 % du couvert végétale. Le bouleau (*Betula sp.*) et le peuplier (*Populus sp.*) dominant dans ces écosystèmes. En plus des espèces végétales, les forêts boréales attirent de nombreuses espèces animales, mais également mousses, lichens et champignons (<http://www.mern.gouv.qc.ca>).

Les sites d'études font partie du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc (Manuel de Foresterie, 1993). L'essence dominante dans ces secteurs est le sapin Baumier (*Abies balsamea*, Bélanger 2001). D'autres essences sont présentes comme le bouleau blanc (*Pinus strobus*), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), l'épinette blanche (*Picea glauca*) et d'un sous-bois qui présente une proportion importante de mousses et lichens qui abondent sur les branches et troncs des arbres.

Comme tout écosystème à l'état naturel, le renouvellement des forêts boréales est assuré par des perturbations de différents types : feu, vent, maladie ou épidémies d'insectes. Une régénération naturelle des différentes essences s'instaure, permettant de maintenir une importante variété d'habitats. Le dynamisme de ces zones d'étude est principalement régi par les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE), les chablis et les feux, ce qui confère à ce milieu forestier une importante quantité de bois mort.

1.2 Détermination du protocole

1.2.1 L'épidémie de l'arpenteuse de la pruche

L'arpenteuse de la Pruche *Lambdina fiscellaria* (Guenée), lépidoptère indigène d'Amérique du Nord, est considérée comme un défoliateur de première importance. Dans la situation d'épidémie de la région de la Capitale Nationale (cf. annexe1), les dommages ont été surtout rapportés sur le Sapin Baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), non sans surprise puisque cette essence est privilégiée par cette espèce, bien qu'elle soit opportuniste. Elle a la caractéristique de ne pas s'attaquer seulement aux arbres matures mais aussi aux gaules et aux semis (cf. figure.3). (L'arpenteuse de la pruche : une gaspilleuse imprévisible. 2012 Delisle J. Hébert C.) Cette espèce a également un comportement alimentaire, qualifié de « gaspilleur », en effet, en grignotant presque toutes les aiguilles de l'arbre sans les manger entièrement, elle peut causer leur mort dès la première année où la défoliation est détectée (cf. figure.2). Les rameaux entièrement dénudés, non protégés contre le vent et la lumière du soleil, d

Figure 2 : Histogramme représentant le taux de mortalité des arbres selon la perturbation

(Source : Christian Hébert)

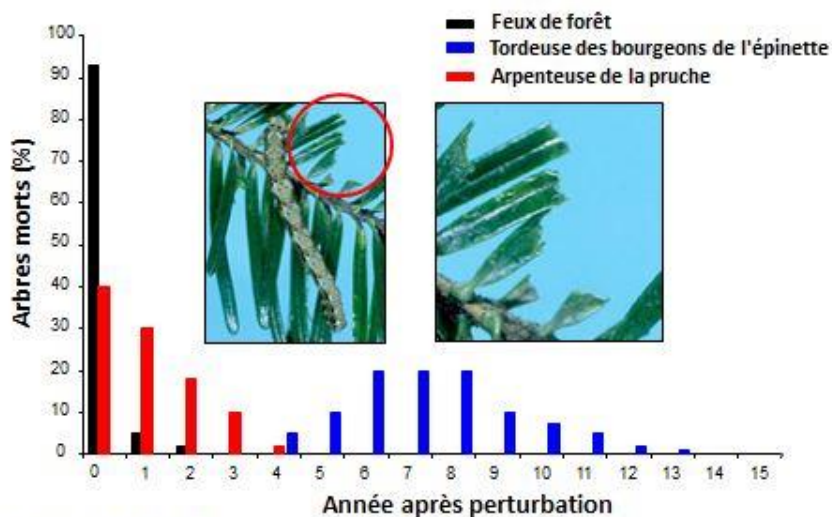


Figure 3 : Défoliation sur les semis et les gaules de sapin baumier



En 2012, première année de la défoliation, la superficie totale touchée par l'AP, au niveau régional, s'élevait à 3 379 hectares. La présence de vastes peuplements purs et murs de sapins aurait favorisé l'expansion de cet insecte. (<http://www.sepaq.com/>). L'épidémie a continué jusqu'en 2014 (cf. annexe 1)

1.2.2 Les familles de coléoptères

Sept familles de coléoptères forestiers ont été sélectionnées pour l'étude : les Nitidulidae, les Elateridae, les Carabidae, les Cryptophagidae, les Monotomidae, les Cantharidae et les Staphylinidae.

Ces familles sont connues pour répondre rapidement aux changements résultant des feux de forêts et ont donc été retenues pour l'étude de la colonisation du milieu pendant et/ou après le passage de l'arpenteuse de la pruche.

D'après la littérature scientifique :

- les **Cantharidae** et les **Elateridae** sont des insectes nectarivores, par conséquent, ils prolifèrent dans des milieux ouverts où les plantes, principalement les astéracées, s'y développent facilement. De plus, concernant les Elateridae, on sait, après expérience, qu'ils répondent significativement après des feux et des coupes. Dans ce genre de cas, il n'y a pas de perturbations intermédiaires. Il est donc intéressant pour les Elateridae, de savoir s'ils colonisent les milieux aux perturbations intermédiaires c'est-à-dire dans les zones où la défoliation est de niveau faible et modéré. Pour les deux familles, on peut envisager une significativité dans les zones de défoliation de niveau grave où le milieu sera plus ouvert.

- les **Monotomidae** sont des prédateurs de scolytes, famille des Curculionidae, qui répondent fortement à la colonisation du bois mort après l'arpenteuse de la pruche. Il est donc intéressant de confirmer leur présence via les scolytes.

- l'épidémie de la pruche ne tue pas tous les arbres, mais certains subissent néanmoins un stress important. Les **Nitidulidae** profitent, en général, des blessures aux arbres. On peut donc penser qu'elles profitent de cet état des arbres.

- les **Staphylinidae** et les **Carabidae** sont des familles largement dominantes en milieu forestier et il est donc intéressant de savoir si leur abondance est toujours élevée après une perturbation dans le milieu.

- les **Cryptophagidae** ont été sélectionnés dans cette étude car les informations les concernant dans la littérature sont assez peu nombreuses. Malgré tout, on sait qu'ils sont fongivores, c'est-à-dire qu'ils consomment des champignons. Les arbres morts ou stressés sont susceptibles d'être colonisés par des champignons saproxyliques et par conséquent peuvent attirer cette famille.

1.2.3 Objectif et hypothèses

L'objectif principal de ce projet est d'évaluer la colonisation du milieu par certaines familles de coléoptères, préalablement sélectionnées, en fonction de la défoliation du sapin baumier dans les sapinières à Bouleau blanc suite à l'épidémie de l'AP, sur deux années successives.

Afin de répondre à cet objectif, une hypothèse de recherche a été avancée dans le but de consolider les théories sur l'écologie des communautés des insectes forestiers.

L'hypothèse est la suivante:

- La modification des variables environnementales suite aux défoliations par l'AP générera des conditions favorables à certaines familles de coléoptères, ce qui entraînera une succession d'espèces.

- Le niveau de défoliation aura un rôle important selon la famille de coléoptères concernée, on suppose donc que certaines familles privilégieront, par exemple, les zones graves seulement alors que d'autres pourraient se manifester dès l'apparition d'une défoliation légère.
- L'abondance des coléoptères diffèra significativement ou pas entre la première année et la deuxième année d'étude, selon le niveau de dommage causé par l'épidémie.

1.2.4 Dispositif expérimental

Le dispositif a été installé, en 2013, dans 12 peuplements (cf. annexe 2), c'est-à-dire 12 sites, dominés par le sapin baumier (*Abies balsamea*) où l'AP avait commencé à sévir en 2012. Cette année-là, le Ministère des Ressources naturelles (MNR) a donc attribué un premier niveau de défoliation, en pourcentage, des forêts touchées pour l'AP dans le secteur de la région de la Capitale Nationale. Ce niveau de défoliation a été effectué par avion.

Les dommages ont été évalués selon les trois niveaux suivants, conçu par le MNR (Aires infestées par l'arpeuse de la pruche au Québec en 2013) :

- Léger : de 1 à 34 %; perte de feuillage dans le tiers supérieur de la cime de quelques arbres
- Modéré : de 35 à 69 %; perte de feuillage dans le tiers supérieur de la cime de la majorité des arbres et sur toute la longueur de la cime de certains arbres
- Grave : de 70 à 100 %; perte de feuillage sur toute la longueur de la cime de la majorité des arbres

Les zones de l'étude ont été sélectionnées en fonction du niveau de défoliation effectué par le MNR. L'accès aux sites a également été pris en compte afin de pouvoir installer le dispositif expérimental dans les meilleures conditions.

Le dispositif comprend donc 3 sites légers, 3 sites modérés et 3 sites graves. Les 3 derniers sites sont des sites appelés « témoin » en dehors de la zone épidémique. Ils servent de comparatif par rapport aux autres sites. Un pourcentage de défoliation leur a été attribué mais celui-ci n'a pas de lien avec l'arpeuse de la pruche. On suppose que la compétition de lumière et les conditions environnementales (le drainage et le chablis) ont causés cette défoliation. Chaque site est composé de 3 parcelles (cf. figure. 4) aléatoirement réparties puisque la zone affectée dans chaque site n'a pas la même surface. Le nombre de parcelles total est donc de 36.

Au printemps 2013 et 2014, un nouveau pourcentage de défoliation a été attribué pour chaque parcelle sélectionnée afin de voir l'évolution de la défoliation du sapin baumier au cours de l'épidémie. Ce nouveau pourcentage a été effectué directement sur le terrain, donnant un pourcentage plus précis que le MNR auparavant. Il a donc été observé que certaines parcelles avaient été citées comme étant de niveau de défoliation sévère par le MNR en 2012 et semblaient être de niveau léger sur le terrain en 2013.

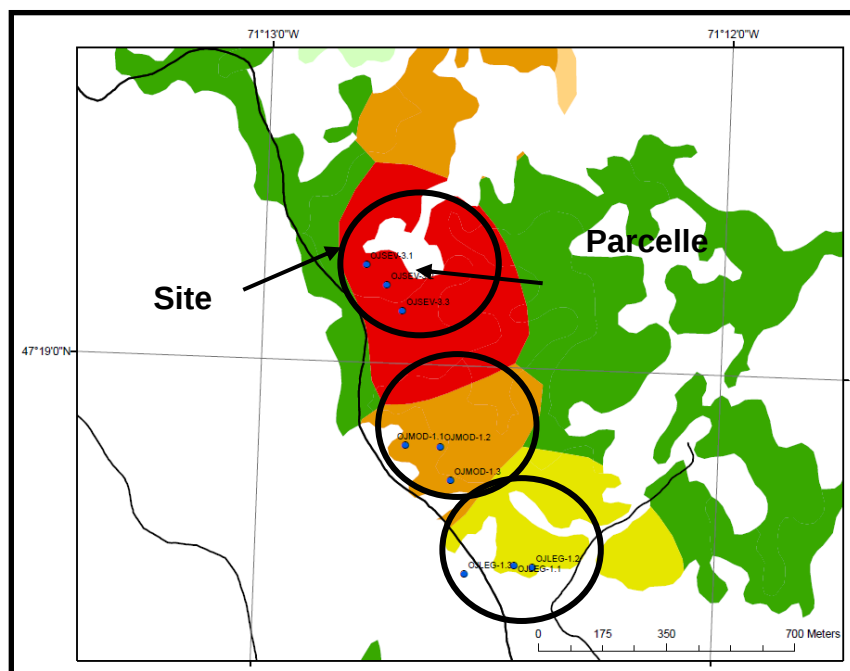


Figure 4 : exemple de sites composé de leurs parcelles respectives

Chaque parcelle a été nommée en référant au niveau de défoliation de 2013 dans le fichier de données Excel. Le tableau suivant illustre un extrait du fichier (cf. tableau. 1).

Légende
• Léger : LEG
• Modéré : MOD
• Grave : SEV
• Témoin : TEM

Tableau 1 :
Extrait du fichier
de donnée

year	station	defoliation	canth
2013	mod1_1_imp	34	0
2013	mod1_2_imp	70	2
2013	mod1_3_imp	52	0
2013	mod2_1_imp	52	1
2013	mod2_2_imp	61	0
2013	mod2_3_imp	60	4
2013	mod3_1_imp	42	1
2013	mod3_2_imp	45	1
2013	mod3_3_imp	20	0

Remarque: le niveau de défoliation a parfois changé entre la première année de l'épidémie c'est-à-dire en 2012 et les années de récolte en 2013 et 2014 mais l'intitulé du site n'a pas changé. En effet, en 2012, si un site était de défoliation légère donc LEG mais ensuite il est passé, en 2013, à un niveau de défoliation modéré puis en 2014, à un niveau de défoliation sévère, le nom de la parcelle est resté « LEG ».

Des pièges, spécifiquement conçus, nommés « piège à impact multidirectionnel » et « TWT » ont chacun leur utilité :

- Impact multidirectionnel (cf. figure. 5) : évalue l'activité de vol des insectes sur la parcelle
- TWT « Truck Window Trap » (Kaila 1993) (cf. figure. 6): permet de faire un diagnostic plus précis des insectes qui se déplacent autour de l'arbre sélectionné.

Remarque : dans chaque parcelle, un piège à impact multidirectionnel et deux pièges TWT ont été installés.



Figure 5 : piège à impact multidirectionnel



Figure 6 : piège TWT

Lors de l'installation des pièges, le liquide utilisé pour la conservation des insectes était du propylène glycol. Celui-ci a comme avantage d'être inodore et donc de ne pas être attractif ou répulsif pour les insectes. La récolte se faisait environ tous les 15 jours.

1.2 Traitement des échantillons

Les coléoptères ont été triés, séparés des autres invertébrés, puis conservés dans de l'Ethanol 70%. Ce travail a été effectué durant les années de récolte, en 2013 et 2014. Le travail de 2015 a consisté à trier les échantillons précédents afin de sortir les familles voulues pour l'étude. L'identification à la famille a nécessité l'utilisation d'une clé simplifiée mentionnant les critères de détermination les plus caractéristiques de chaque famille (cf. annexe 3).

Par la suite, l'identification à l'espèce est nécessaire. Par manque de temps, deux familles seulement ont été identifiées à l'espèce, les Cantharidae et les Monotomidae. L'idéal aurait été de déterminer à l'espèce toutes les familles. Afin d'identifier les spécimens, un montage a dû être effectué. En effet, la plupart des individus sont difficilement identifiables directement dans l'alcool. Les spécimens ont été épinglés avec des aiguilles n°2 sur des paillettes, cela consiste à positionner et coller sur un carton de forme triangulaire, en bout d'épingle, les individus. Ce montage permet d'observer des spécimens de petite taille sous tous les angles. Chaque individu est accompagné d'étiquettes de montage mentionnant les informations utiles (1^{er} étiquette : localisation, période de récolte, titre du projet et responsable du projet, 2^{ème} étiquette : piège, biotope et numéro d'échantillon et 3^{ème} étiquette : genre et espèce en latin, nom d'auteur et nom du taxonomiste et année de l'identification). Sans ces étiquettes, les spécimens n'auraient aucune valeur scientifique.

L'observation s'est effectuée à la loupe binoculaire (Wild Heerbrugg). L'identification des Cantharidae s'est effectué grâce à la clé d'identification *The Cantharidae of Eastern Canada and Northeastern United States, February 28, 2014* élaborée par le taxonomiste Georges Pelletier (cf. annexe 4). Pour les Monotomidae, la clé d'identification utilisée est celle de Yves Bousquet, *A Review of the North american species of Rhizophagus herbst and a revision of the nearctic members of the subgenus Anomophagus reitter, January/February 1990*. Les spécimens ont été validés par le taxonomiste Georges Pelletier afin qu'ils intègrent la collection de référence du laboratoire.

1.4 Analyses statistiques

Une analyse corrélative visant à examiner les relations entre certaines variables et l'abondance des familles a d'abord été effectuée pour quantifier la force de ces relations. Les variables utilisées pour les analyses étaient l'année de récolte (2013 /2014), l'abondance de famille de coléoptères (7 variables) et le pourcentage de défoliation. Ces variables sont quantitatives discrètes. Il faut noter que les analyses qui vont suivre ont été effectuées seulement avec les données des pièges à impact multidirectionnel, par souci de temps.

- **Coefficient de corrélation** : permet de chercher l'éventuelle relation fonctionnelle linéaire qui existe entre une valeur x pouvant prédire une variable y . La relation est particulièrement sensible aux valeurs aberrantes, surtout si elle est effectuée sur un petit nombre d'observations. Lorsque ces valeurs risquent de fausser l'analyse, il vaut mieux les exclure. Graphiquement, on représente cette éventuelle relation dans un plan muni d'un repère orthogonal. L'ensemble des données figure sous forme de nuage de points. En fonction de la dispersion des points autour de la droite, l'ajustement peut être de plus ou moins bonne qualité. Il est mesuré par les coefficients de corrélation et de détermination.

Le coefficient de corrélation est un indicateur sur la qualité des données. Il est dégradé par la dispersion des informations autour de la tendance. Le coefficient de détermination, appelé, coefficient de Spearman exprime, lorsque la relation est significative, la force de la relation entre les variables, c'est-à-dire la proportion de variabilité de y expliquée par x . Le coefficient de Pearson est un test non paramétrique utilisé lorsque les données ne peuvent être normalisées. Comme une covariance est forcément inférieure ou égale au produit des écarts-type, le coefficient est compris entre -1 et 1.

Pour être interprété, le coefficient de corrélation doit être significatif. Si le coefficient est non significatif, on considère qu'il ne diffère pas de 0. Par contre, lorsqu'il est significatif, le coefficient donne deux informations importantes : le sens et la force de la relation linéaire entre les deux variables. Pour le sens de la relation, un coefficient de 1 indique une corrélation positive parfaite entre les deux variables. À l'inverse, un coefficient de - 1 indique une corrélation négative parfaite. Un coefficient de 0 indique qu'il n'y a aucune relation entre les deux variables. Ainsi, la variation de l'une n'est aucunement associée à la variation de l'autre. Pour la force, plus la valeur du coefficient est proche de + 1 ou de - 1, plus les deux variables sont associées fortement. Au contraire, plus le coefficient est près de 0, moins les variables partagent de covariance et donc, moins l'association est forte.

- **Analyse canonique de redondance (RDA)** : les analyses canoniques rassemblent de nombreuses méthodes statistiques combinant les concepts d'ordination et de régression et partageant un but commun, à savoir identifier les relations entre un ensemble de variables réponse (matrice Y décrivant généralement la composition en espèces de différentes communautés) et un ensemble de variables explicatives (matrice X contenant le plus souvent des variables environnementales). Les analyses canoniques permettent de tester des hypothèses écologiques relatives aux déterminants environnementaux de la composition en espèces des communautés. Parmi l'ensemble de méthodes d'analyses canoniques existantes, nous insisterons ici principalement sur l'analyse canonique de redondance (RDA).

L'analyse canonique de redondance correspond à une extension directe de la régression multiple puisqu'elle modélise l'effet d'une matrice X de variables explicatives sur une matrice Y de variables réponses en effectuant une ordination de Y afin d'obtenir des axes d'ordination qui correspondent à des combinaisons linéaires des variables de la matrice X. Dans une RDA, les axes d'ordination sont calculés à partir d'une PCA de la matrice Yfit, calculée en ajustant les variables Y sur les variables X par régression

linéaires multivariée. Avant d'effectuer une RDA, les variables explicatives de X doivent être centrées, standardisées, transformées ou normalisées suivant les mêmes principes que dans une PCA. La colinéarité entre variables explicatives doit également être minimale pour effectuer une RDA. Afin d'obtenir le meilleur modèle de RDA, les variables explicatives peuvent être sélectionnées par sélections progressives ou régressives afin d'éliminer les variables explicatives non significatives.

- **Fonction espèces indicatrices** : les espèces indicatrices sont des espèces qui sont utilisés comme indicateurs écologiques des types de communautés ou d'habitats, des conditions environnementales ou des changements environnementaux. Afin de déterminer les espèces indicatrices, la représentation se fait sous la forme d'une classification des sites, qui est comparé aux modèles de répartition des espèces trouvées sur les sites (*Improving indicator species analysis by condining groups of sites*, Miquel De Càceres, Pierre Legendre et Marco Moretti, 2010).

Dans notre cas, la méthode IndVal, proposée par Dufrêne Et Legendre, 1997, sert à évalue la force et la signification statistique de la relation entre l'abondance et la fréquence des espèces et le niveau de défoliation des sites.

Afin d'améliorer l'analyse des espèces indicatrices en considérant toutes les combinaisons possibles de groupes de sites, l'indice de corrélation point-bisériale a été préconisé par la fonction MULTIPATT, dans le package Indicspecies de R. L'utilisation de ce coefficient de corrélation augmente la puissance des associations et permet d'identifier les espèces positivement associés à un niveau de défoliation. Dans l'analyse, toutes les espèces identifiées, dans les familles de Monotomidae et des Cantharidae, ont été prise en compte.

2 RESULTATS

	Cantha.	Staphy.	Nitidu.	Carab.	Elate	Monot	Crypto	Abondance totale en fonction du niveau de défoliation
TEM	40	161	1044	6	215	28	22	1516
LEG	40	75	244	4	138	6	3	510
MOD	249	118	324	7	209	7	12	926
SEV	77	140	730	26	242	15	3	1233
Abondance totale en fonction des familles	406	494	2342	43	804	56	40	4185

Tableau2 : répartition des abondances totales de chaque famille de coléoptères en fonction du niveau de défoliation en 2013/2014

Abondance relative de chaque famille (cf. tableau.2) : Au cours des années 2013 et 2014, 4185 individus ont été récoltés à l'aide des pièges à impact multidirectionnel. Il apparaît une présence majoritaire de la famille des Nitidulidae par rapport aux autres familles. Son abondance est au minimum trois fois plus grande que celle des autres familles échantillonnées. La seconde famille la plus représentée est la famille des Elatéridae, suivie des Cantharidae et des Staphylinidae dans des proportions relativement similaires. Les familles des Carabidae, des Monotomidae et des Cryptophagidae sont peu abondantes. Le nombre d'individus échantillonnés reste très faible.

Année	2013				2014			
Niveau de défoliation	LEG	MOD	SEV	TEM	LEG	MOD	SEV	TEM
Nombre de parcelles	12	10	5	9	1	10	16	9
Abondance d'individus	460	432	339	754	50	494	894	762
Moyenne de l'abondance d'individus	38,33	43,2	67,8	83,78	50	49,4	55,87	84,67

Tableau 3 : moyenne de l'abondance de coléoptère vs le niveau de défoliation vs le nombre de parcelles

Abondance totale des coléoptères en fonction du niveau de défoliation (cf. tableau 3) : selon le niveau de défoliation, l'abondance totale d'individus ne semble pas varier de la même manière. Pour les parcelles « TEM », la moyenne de l'abondance totale de coléoptères, entre les deux années, est pratiquement identique. Ceci semble logique puisque le nombre de parcelles est inchangé et le milieu n'a pas connu de précipitation violente. Il n'y a donc pas de différence significative entre les deux années. Pour les parcelles « LEG », on observe une différence importante quant aux nombre d'individus et aux nombres de parcelles. En effet, l'épidémie ayant fortement progressé courant 2013, le nombre de sites est passé de 12 à 1. Le nombre d'individus en 2013 est donc plus important qu'en 2014 mais n'ayant qu'un site en 2014, la moyenne de l'abondance d'individus total de la parcelle LEG en 2014 est donc 50, par conséquent, on peut affirmer, qu'en moyenne l'année 2014 est plus significatif qu'en 2013 . Pour les parcelles « MOD », le nombre de parcelles est identique d'une année à l'autre mais il faut remarquer que ce ne sont pas les mêmes parcelles. En effet, en regardant dans le fichier de données, les parcelles « MOD » de 2013 sont passées en « SEV » en 2014 et les parcelles « LEG » de 2013 (à exception d'une qui est passé en SEV) sont passées en « MOD » en 2014. Une légère différence est observée au niveau de la moyenne mais on peut donc dire qu'en 2014, l'abondance moyenne de coléoptère est plus élevé qu'en 2013. Pour les parcelles « SEV », sachant que les sites « MOD » de 2013 sont passées « SEV » en 2014 et que les parcelles « SEV » de 2013 n'ont pas changées, le nombre de parcelles a triplé. L'abondance de coléoptères a donc considérablement augmenté en 2014 mais si l'on observe la moyenne des deux années, on s'aperçoit que la moyenne de 2013 est plus élevée qu'en 2014. Cela veut donc dire que l'on a récolté plus d'individus en 2013 qu'en 2014.

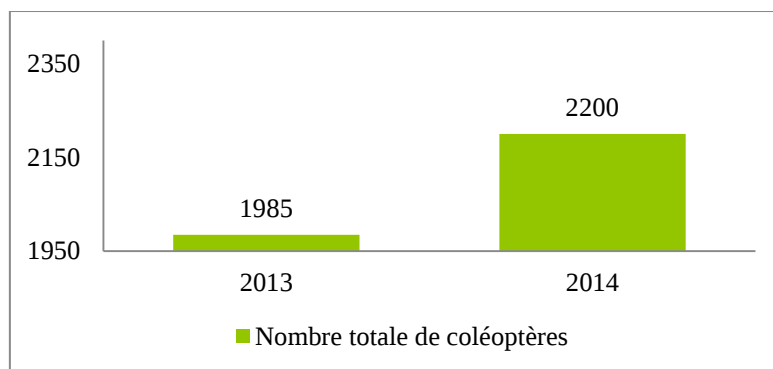


Figure 7 : Répartition totale des coléoptères en fonction de l'année.

Abondance totale en fonction de l'année (cf. figure 7) : l'année 2013 a recueilli 1985 individus, pour l'année 2014, 2200 individus ont été récoltés. On peut dire que l'abondance entre les deux années n'est pas différente.

On remarque que les histogrammes (cf. annexe 5) présentent des formes anormales. La distribution des familles des données des familles de coléoptères a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk :

H0 : les variables suivent une loi normale

H1 : les variables ne suivent pas de loi normale

	α	p-valeur
Staphylinidae	0,05	0.001708
Nitidulidae	0,05	2.524e-05
Carabidae	0,05	2.344e-15
Elateridae	0,05	2.93e-14
Cryptophagidae	0,05	2.93e-14
Monotomidae	0,05	2.179e-11
Cantharidae	0,05	1.164e-09

Tableau 4 : indicateurs des variables « famille »

Conclusion : $p\text{-valeur} < \alpha$ (cf. tableau 4), on ne peut pas accepter H0 au risque de 5 %. Les variables ne suivent pas une loi normale.

On remarque que les box plots (cf. annexe 6) présentent souvent une ou plusieurs valeurs atypiques plus fortes que la majorité des valeurs. Ces valeurs ne sont pas aberrantes, elles sont donc conservées dans l'analyse. Une extinction est cependant observée pour la variable cantharides. En effet, la donnée « 54 » représente 204 individus alors que les données varient de 0 à 18. De plus, après observation sur le terrain, cette parcelle a fait l'objet d'une coupe de récupération autour des dispositifs expérimentaux causant une ouverture brusque du milieu et entraînant un biais pour l'analyse. Cette donnée a donc été écartée.

Afin d'apprécier les relations entre les variables, on a réalisé des graphiques sous forme de nuage de points (cf. annexe 7). En fonction de la dispersion des points autour de la droite, l'ajustement peut être plus ou moins de bonne qualité.

On ne remarque pas de structure particulière dans les nuages de points et en particulier pas de forme linéaire. La transformation « log » ne permet pas de linéariser plus les nuages de points.

Nous allons cependant mesurer l'intensité de la liaison linéaire entre les variables « l'abondance des familles de coléoptères » vs la défoliation et « l'abondance des familles de coléoptères » vs l'année à l'aide d'un test non paramétrique, **le test de Spearman**.

- La variable « défoliation » vs « famille de coléoptère »

H0 : corrélation non significative

H1 : corrélation significative

$\alpha=0.05$

	S	p-value	rho	
Staphylinidae	70985	0,24	-0,14	
Nitidulidae	76660	0,05	-0,23	✓
Carabidae	50090	0,10	0,19	
Elateridae	76696	0,05	-0,23	✓
Cryptophagidae	72914	0,15	-0,17	
Monotomidae	88513	0,0002	-0,42	✓
Cantharidae	49357	0,15	0,17	

Tableau 5 : indicateurs du test Spearman de la variable « défoliation » en fonction des variables « famille »

p-valeur < α (cf. tableau 5) pour les variables suivantes : Nitidulidae, Elateridae et Monotomidae. On peut donc accepter H1. On en déduit que la corrélation est significative.

Afin de déterminer le lien entre les variables, on calcule le **coefficient de détermination** (coefficient de corrélation de Spearman ²⁾ :

	coeff. de déter.
Nitidulidae	0.05
Elateridae	0.05
Monotomidae	0.18

Tableau 6 : indicateurs des coefficients de détermination de la variable « défoliation » en fonction des variables « famille »

Conclusion : les coefficients de détermination (cf. tableau 6) pour les Nitidulidae et les Elateridae sont faibles, en effet, le lien entre les variables est de 5 %. Pour les Monotomidae, le coefficient de détermination est de 18 %. Cela veut dire que 18 % de la variabilité des Monotomidae est expliquée par la défoliation.

Vis-à-vis des résultats, les Monotomidae répondent le mieux à la défoliation, il est intéressant de savoir l'année où les montomidae répondent le mieux à la défoliation.

H0 : corrélation non significative

H1 : corrélation significative

$\alpha=0.05$

	Monotomidae			
	S	p-value	rho	
2013	9833,4	0,12	-0,27	
2014	12480	0,00009	-0,61	✓

Tableau 7 : indicateurs du test Spearman de la variable « défoliation » en fonction des variables « monotomidae »

En 2014 : p-valeur < α (cf. tableau 7), on peut accepter H1. On en déduit que la corrélation est significative.

Le coefficient de détermination est de 0.37 %, ce qui indique que 37 % de la variabilité de Monotomidae est expliquée par la défoliation en 2014.

- La variable « année » vs « famille de coléoptère »

H0 : corrélation non significative

H1 : corrélation significative

$\alpha=0.05$

	S	p-value	rho	
Staphylinidae	84633	0.02	-0,36	✓
Nitidulidae	48058	0,05	-0,23	✓
Carabidae	50765	0,12	0,18	
Elateridae	100320	1.05^E-08	-0,61	✓
Cryptophagidae	57233	0,51	0,08	
Monotomidae	60783	0,85	0,02	
Cantharidae	43739	0.02	0.27	✓

Tableau 8 : indicateurs du test Spearman de la variable « année » en fonction des variables « famille »

p-valeur < α (cf. tableau 8) pour les variables suivantes : Staphylinidae, Nitidulidae, Elateridae et Cantharidae. On peut donc accepter H1. On en déduit que la corrélation est significative.

Afin de déterminer le lien entre les variables, on calcule le **coefficient de détermination** (coefficient de corrélation de Spearman ²) :

	coeff. de déter.
Staphylinidae	0.13
Nitidulidae	0.05
Elateridae	0.37
Cantharidae	0.07

Tableau 9: indicateurs des coefficients de détermination de la variable « défoliation » en fonction des variables « famille »

Conclusion : les coefficients de détermination (cf. tableau 9) pour Staphylinidae, Nitidulidae, Elateridae et Cantharidae sont faibles. Pour les Nitidulidae et les Cantharidae, le coefficient de détermination est de 5 % et 7%. Cela veut dire que 5 % de la variabilité des Nitidulidae et 7 % de la variabilité des Cantharidae sont expliquées par l'année. Pour les Staphylinidae, 13 % de la variabilité est expliqué par l'année. Et enfin, pour les Elateridae, 37 % de la variabilité est expliqué par l'année.

Vis-à-vis des résultats, les Elateridae répondent le mieux à l'année.

Analyse canonique de redondance (RDA) :

Les espèces sont marquées d'une croix alors que les conditions environnementales de l'habitat sont illustrées avec des flèches. Toutes les espèces des familles des Monotomidae et des Cantharidae ont été utilisées dans l'analyse canonique de redondance. Un code a été attribué pour chaque espèce à la place du nom complet

- **En 2013**

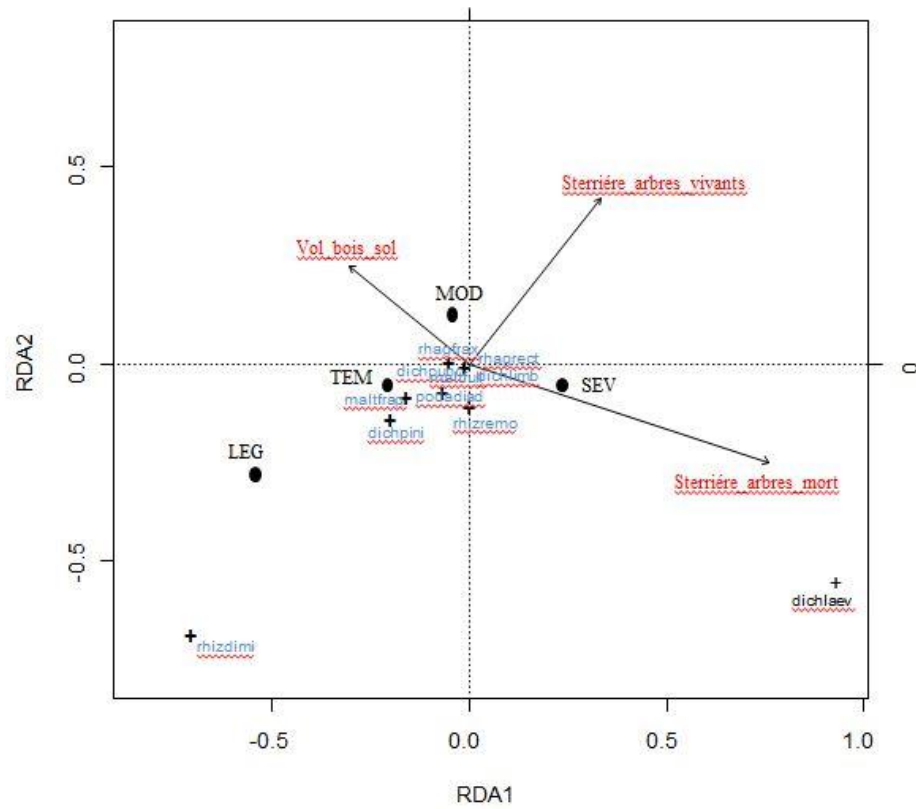


Figure 8 : RDA de 2013

L'ordination RDA est marginale ($F= 1.7581$, $P= 0.058$, 999 permutations), suggérant une structuration faible des communautés étudiées.

Le centroïde des parcelles (cf. figure 8) de défoliation SEV se trouve sur le côté droit du premier axe tandis que les parcelles de défoliation LEG, MOD et TEM sont sur la gauche du premier axe. La surface terrière d'arbres morts est liée aux sites de défoliation SEV, ce qui paraît normal puisque la majorité des arbres sont morts dans ces sites. Ce vecteur semble avoir un lien avec l'espèce de Cantharidae *Dichelotarsus laevicollis*, ce qui indique que cette espèce est associée aux forêts fortement défoliées.

- **En 2014**

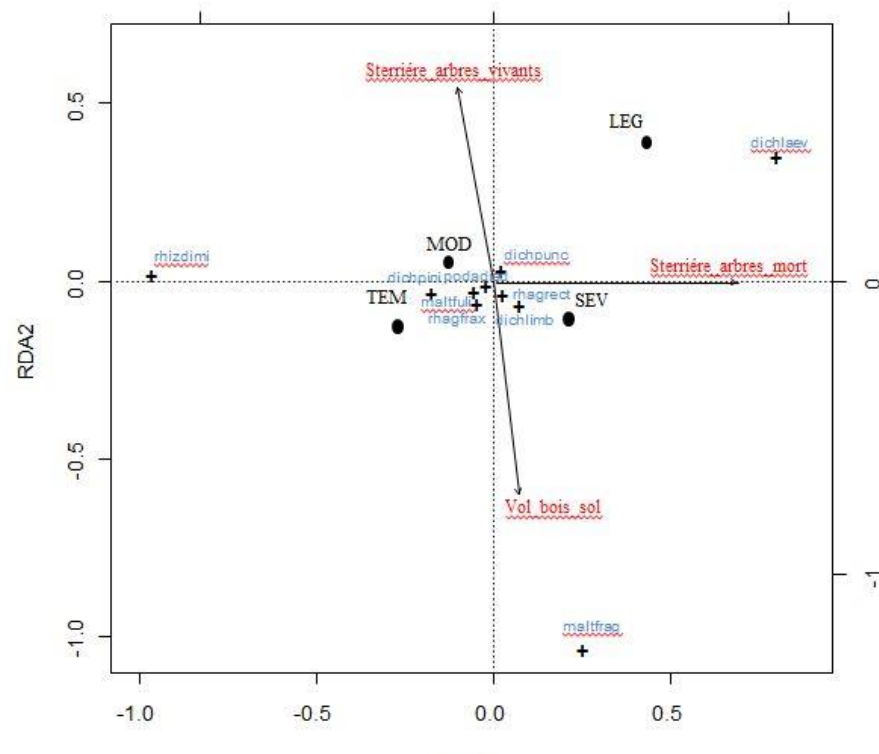


Figure 9 : RDA en 2014

L'ordination RDA est significative ($F= 2.3415$, $P= 0.001^{***}$, 999 permutations), les étoiles indiquent que la significativité est élevée.

Le centroïde des parcelles (cf. figure 9) de défoliation SEV et LEG se trouve sur le côté droit du premier axe tandis que les parcelles de défoliation MOD et TEM sont sur la gauche du premier axe. La surface terrière d'arbres vivants est liée avec le niveau de défoliation MOD alors qu'en 2013, ce vecteur n'avait pas de lien avec un niveau de défoliation. De plus, une espèce de Monotomidae, *Rhizophagus dimidiatus*, a un lien avec ce vecteur. Il est normal que cette espèce soit significative puisqu'elle représente 70 % de Monotomidae total. Le vecteur de volume de bois au sol est lié avec les zones de défoliation SEV. La surface terrière d'arbres morts se trouve entre les sites de niveau de défoliation LEG et SEV s'associant de nouveau avec l'espèce *Dichelotarsus laevicollis* qui représenté 47 % de l'effectif total de Cantharidae.

Fonction espèces indicatrices :

L'analyse cherchant l'association espèces/habitats a révélé que 2 espèces étaient significativement associées à un ou plusieurs niveaux de défoliation pour l'année 2013/2014. Ces deux espèces font partie de la famille des Cantharidae. En 2013, l'espèce *Malthodes fragilis* est associée avec les sites de niveau de défoliation témoin ($\phi : 0.522$, $p\text{-value} : 0.04^*$) et en 2014, l'espèce *Dichelotarsus laevicollis* est associée avec les sites de niveau de défoliation léger et sévère ($\phi : 0.424$, $p\text{-value} : 0.027$). Les résultats des RDA précédents, vis-à-vis de l'espèce *Dichelotarsus laevicollis*, sont confirmés par l'indice. Elle semble clairement être liée avec des parcelles de défoliation sévères.

3 DISCUSSION

De manière générale, les résultats ont révélé que le niveau de défoliation de l'épidémie de l'arpenteuse de la pruche ne semble pas avoir de grands impacts sur les communautés de coléoptères concernées dans cette étude. Les Staphylinidae, les Nitidulidae, les Elateridae et les Cantharidae répondent à l'année mais le lien entre les variables est faible. Pour la défoliation, les Elateridae, les Cantharidae et les Nitidulidae ont été significativement associés. Étant donné que les coefficients de détermination sont assez faibles, cela soulève quelques questions. En effet, on supposait que l'abondance d'Elateridae soient relativement corrélés avec le niveau de défoliation puisqu'ils préconisent les milieux ouverts. Certaines études ont confirmé cette hypothèse.

L'étude de Saint-Germain et al, 2004, souligne clairement que la famille des Elateridae réagissent aux brulis « Elateridae was the most abundant family collected in our study. Most species were captured in much higher numbers in all burned stands than in unburned stands ($F = 47,218$; $df = 3, 32$; $p < 0.001$) » (*Comparison of Coleoptera assemblages from a recently burned and unburned black spruce forests of northeastern North America*). Un autre exemple avec des sites de coupes, démontrent également que l'ouverture de milieu leur est favorisée « The Monotomid *Rhizophagus dimidiatus* Mann. and the Nitidulid *Epureae planulata* Er. were closely associated with closed habitats while the Elaterid *Pseudanostirus triundulatus* (Rand.) was mostly found in open habitats » d'après Légaré et al.

D'un point de vue abiotique, les parcelles défoliées sévèrement par l'arpenteuse de la pruche se rapprochent d'un feu de forêt. Par conséquent, les résultats de cette étude auraient confirmé une fois de plus que les Elateridae ont une préférence pour ce type de milieu or ce n'est pas le cas ici. On peut donc supposer que l'épidémie de l'arpenteuse de la pruche dans les zones sévères n'offre pas une ouverture du milieu propice aux Elateridae. La question du changement climatique ou d'autres facteurs sont peut-être en lien avec ceci. En effet, l'arpenteuse de la pruche a profité du réchauffement climatique pour descendre dans les régions plus froides qu'en temps normal, qui provoqua la première épidémie détectée dans la Région de la Capitale Nationale. Pour expliquer cette hypothèse, des conditions environnementales propres à ces secteurs d'étude devront être croisés afin de soulever des réponses. La possibilité de croiser ces données avec d'autres projets semble intéressante. En effet, l'étude portant sur les xylophages dans les mêmes sites d'étude, de Jean-Michel Béland étudiant à la maîtrise, a révélé une espèce en abondance, *Trypodendron lineatum*. De la famille de Curculionidae, ce scolyte a été récolté en majorité dans les zones de défoliation sévère. Des études portant sur l'arpenteuse de la pruche n'avaient jamais soulevé cet insecte auparavant. Plusieurs questions restent sans réponses à savoir pourquoi des espèces rarement observées sont associées avec les défoliations sévères de l'arpenteuse de la pruche et qu'est-ce qui rend ces forêts différentes de celle de la Gaspésie ou de la Côte Nord du Québec où les dégâts causés par le ravageur ont été le plus observés.

Les outils statistiques ont révélé une information importante concernant une espèce de Cantharidae, *Dichelotarsus laevicollis*. Dans l'article de Georges Pelletier (*The Cantharidae of Eastern Canada and Northeastern United States*, 2014), l'espèce est décrite comme étant dominante dans les forêts boréales et très commune de l'habitat à dominance de sapin baumier. Ce qui correspond tout à fait aux sites d'étude, une information nouvelle a donc été démontrée par les résultats de ce projet comme étant une espèce abondante dans les forêts défoliées sévèrement.

Au niveau de l'utilisation des données, ce présent rapport ne traite que d'une partie des données recueillies. Les effets de l'épidémie seront plus perceptibles lorsque l'ensemble des insectes auront été identifiés.

En ce qui concerne les résultats, d'autres analyses statistiques plus poussées sur les communautés de coléoptères peuvent être effectuées afin d'avoir plus de précisions sur la significativité des différentes variables. L'utilisation du coefficient de Spearman a été envisagée par souci de connaissances et de compétences. Au niveau d'études supérieures (ex : maîtrise), différents modèles statistiques peuvent être utilisés pour exploiter toutes les possibilités concernant le lien statistiques entre les variables afin de produire le modèle le plus efficace et le plus pertinent par rapport aux données. En effet, un modèle linéaire à régression multiple est privilégié si plusieurs variables environnementales sont à étudier. Les variables utilisées pour la RDA auraient pu être ajoutées à celles de l'année et du niveau de défoliation. Le modèle linéaire mixte généralisé peut-être recommandé en utilisant la loi Poisson ou encore la binomiale négative afin de mieux ajuster les données. Ce modèle permet de se rapprocher de la réalité en utilisant l'effet aléatoire causé par la structure du dispositif expérimental.

Cependant, certains de ce modèle ont été testés durant la rédaction de ce rapport afin de me donner une idée des résultats attendus pour l'écriture d'un article scientifique et également l'utilisation de nouvelles méthodes qui m'ont permis de me familiariser avec ces approches statistiques.

CONCLUSION

Les forêts issues d'une épidémie de l'arpenteuse de la pruche présentent des successions différentes au niveau des communautés de coléoptères forestiers boréaux que celles des feux de forêts ou des coupes. Une nouvelle approche de gestion voit le jour depuis quelques années, l'approche d'aménagement écosystémique. Cette approche d'aménagement vise à maintenir des écosystèmes sains et résilients en misant sur une diminution des écarts entre les paysages naturels et ceux qui sont aménagés afin d'assurer, à long terme, le maintien des multiples fonctions de l'écosystème et, par conséquent, de conserver les bénéfices sociaux et économique que l'on en retire (*Aménagement écosystémique en forêt boréale. Sylvie Gauthier*) La récupération du bois ne peut pas se procéder de la même manière pour un feu qu'une épidémie. Les espèces ne répondent pas de la même façon à ces deux perturbations forestières. Les résultats de cette étude ont montré que les communautés de coléoptères ne répondent pas fortement à la défoliation ni à l'année, à date. Par conséquent, la biodiversité entomologique est toujours présente durant les premières années de l'épidémie, des études sur la succession d'espèce en fonction de la mortalité / taux d'arbres morts se poursuit présentement afin de voir si la quantité d'arbres morts et des débris ligneux affectent plus de ces coléoptères à moyen terme. De plus, il faut prendre un compte que le taux d'arbres morts causés par le ravageur est plus élevé la première année de l'épidémie (cf. figure 2). La colonisation des xylophages se fait donc rapidement. Pour conséquent, l'aménagement des zones touchées par l'arpenteuse de la pruche doit être pris en compte en fonction des espèces présentes dans le milieu afin de permettre à l'écosystème de garder un certain équilibre. Un exemple peut-être cité, en effet, contrairement aux feux de forêts, la récupération du bois n'a pas besoin d'être effectué rapidement. Les Cerambycidae sont fortement liés à la colonisation du bois mort après feu hors durant l'épidémie de l'arpenteuse de la pruche, l'abondance des Cerambycidae est relativement faible. Par conséquent, le bois peut rester stocker plus longtemps qu'après un feu. Le temps de stockage reste à définir car le bois trop longtemps laissé dans le milieu peut perdre en qualité de fibre et donc peut-être une perte économique pour les entreprises forestières.

BIBLIOGRAPHIE

50 ans et toujours dans le feu de l'action! 2011. Hébert, C. Pages 17-24 dans Actes du colloque « Les feux de forêt : science et défis d'aménagement ». RNC, SCF. 23-24 mars 2011, Saint-Félicien (Québec). Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec).

Aires infestées par l'arpenteuse de la pruche au Québec en 2012. Septembre 2012. Direction de la protection des forêts, Ressources naturelles et Faune du Québec Version 1.0. 10 p.

Aires infestées par l'arpenteuse de la pruche au Québec en 2013. Novembre 2013. Direction de la protection des forêts, Ressources naturelles et Faune du Québec Version 1.1. 10 p.

Aires infestées par l'arpenteuse de la pruche au Québec en 2014. Septembre 2014. Direction de la protection des forêts, Ressources naturelles et Faune du Québec Version 1.0. 10 p. 27

Alternative Silvicultural Practices in Irregular Boreal Forests: Response of Beetle Assemblages. 2011. The Finnish Society of Forest Science · The Finnish Forest Research Institute. Jean-Philippe Lëgaré, Christian Hébert and Jean-Claude Ruel p 945

Aménagement écosystémique en forêt boréale 2008. Presse de l'université du Québec, Sylvie Gauthier

Comparison of Coleoptera assemblages from a recently burned and unburned black spruce forests of northeastern North America 2003, Biological Conservation, Michel Saint-Germain, Pierre Drapeau, Christian Hébert p 586

Improving indicator species analysis by condining groups of sites, Miquel De Càceres, Pierre Legendre et Marco Moretti, 2010

***Lambdina fiscellaria* (Guenée), hemlock looper (Lepidoptera: Geometridae). 2013. Hébert, C.; Brodeur, J.** Chapter 28, pages 203-207 in P.G. Mason and D.R. Gillespie, eds. Biological Control Programmes in Canada 2001-2012. CABI International.

L'arpenteuse de la pruche. 2001. Hébert, C.; Jobin, L.J. Révisé. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Québec, Québec. Feuillet d'information CFL 4. p17

L'arpenteuse de la pruche : une arrivée remarquée. 2014. Arsenault, J.-E.; Hébert, C.; Tousignant, A.; Berthiaume, R.; Bauce, É. Bulletin de conservation 2014-2015: 5-9 p.

L'arpenteuse de la pruche : une gaspilleuse imprévisible. 2012. Delisle, J., Hébert, C. 2012. RNCAN, SCF, Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec). L'éclaircie du Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides. No. 76. 2 p.

Les Brèves du Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides. 2011. RNCAN, SCF, Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec). No 24. 2 p.

Science et technologie. Besoins et priorités de la recherche sur les ravageurs forestiers au Canada. 2014. Hodge, J. Conseil canadien des ministres des forêts, Ottawa, Ontario. 77 p.

The Cantharidae of Eastern Canada and Northeastern United States, Canadian Journal of Arthropod Identification No. 25 (February, 2014), Georges Pelletier¹, Christian Hébert 246 p

Sites internet

<http://www.mern.gouv.qc>

<http://www.sepaq.com>

<http://scf.rnca.gc.ca/>

Liste des abréviations

AP: Arpenteuse de la Pruche

CCMF: Conseil Canadien des Ministres des Forêts

CFL: Centre de Foresterie de Laurentides

LEG : niveau de défoliation léger

MNR: Ministère des Ressources Naturelles

MOD : niveau de défoliation modéré

QC: région du Québec

RDA: Analyse canonique de redondance

RNCAN: Ressources Naturelles Canada

SEV : niveau de défoliation sévère

SCF: Service Canadien des Forêts

TBE: Tordeuse des Bourgeons de l'Épinette

TEM : niveau de défoliation témoin

TWT : Trunk Window Trap (piège fixé au tronc ayant une vitre en plexiglas)

UL : Université Laval

ANNEXES

Annexe 1 : évolution de l'épidémie de l'AP 2012-2013-2014

Annexe 2 : sites expérimentaux

Annexe 3 : planche de détermination des familles

Annexe 4 : extrait de la clé des cantharidae

Annexe 5 : histogrammes loi normale des variables « familles »

Annexe 6 : box plots des variables « familles »

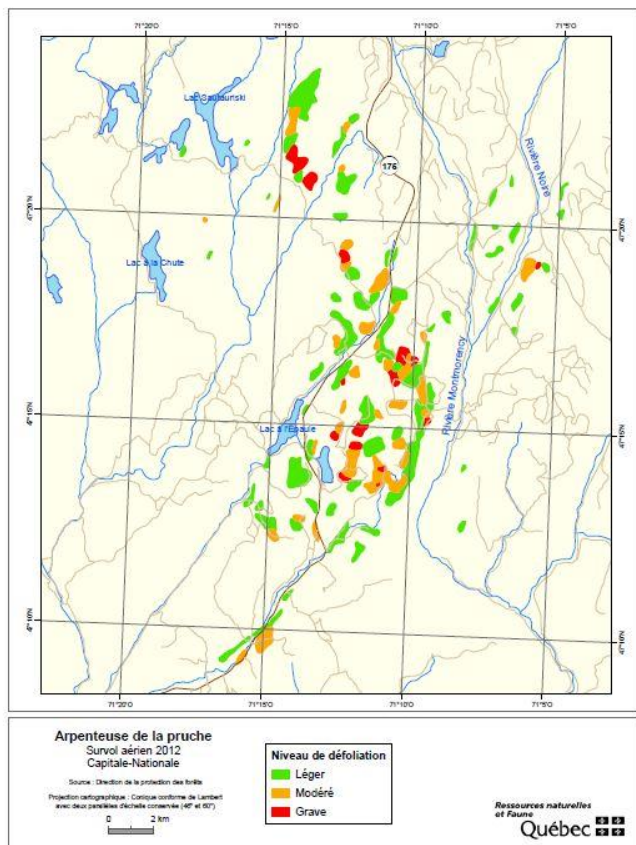
Annexe 7 : nuages de points des variables « familles »

Suppléments :

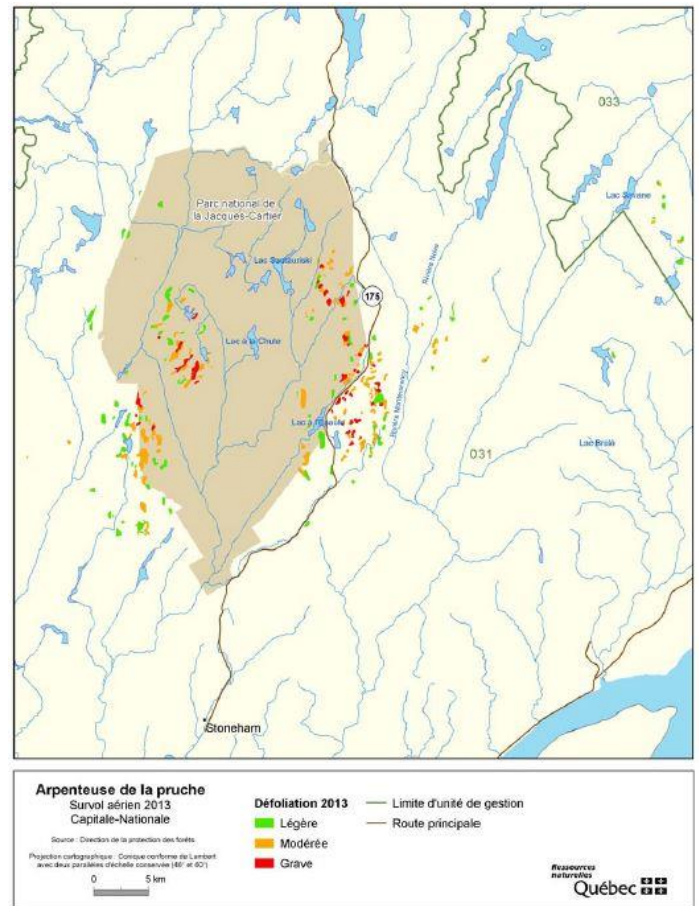
Annexe 8 : Planification de la méthodologie de travail

Annexe 9 : Répartition des tâches exécutées

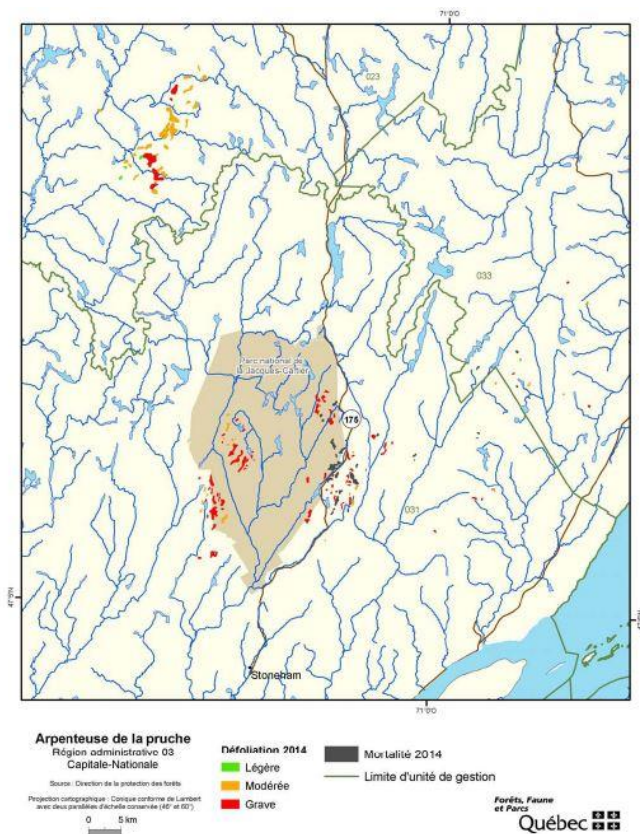
Annexe 1 : évolution de l'épidémie de l'AP 2012-2013-2014



2012

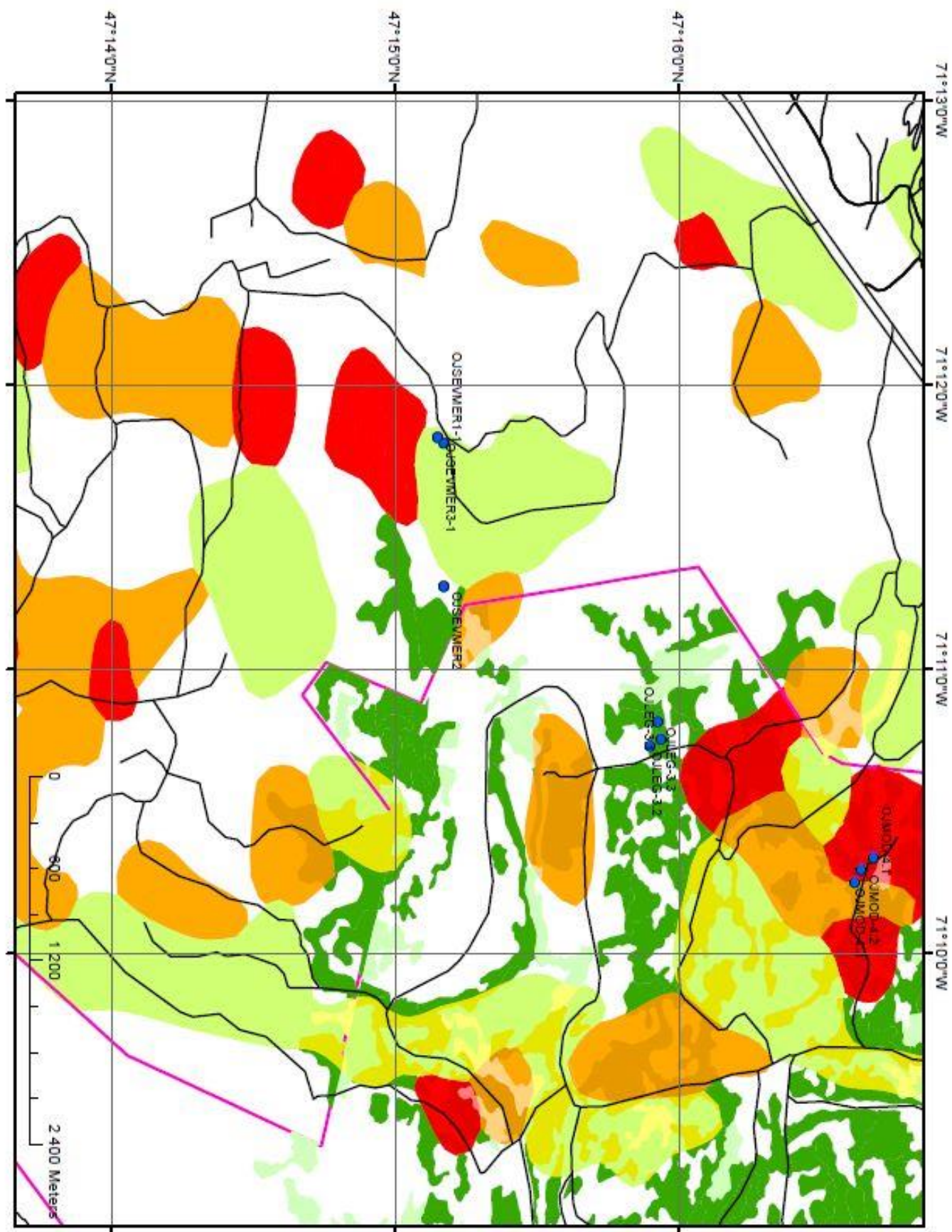


2013

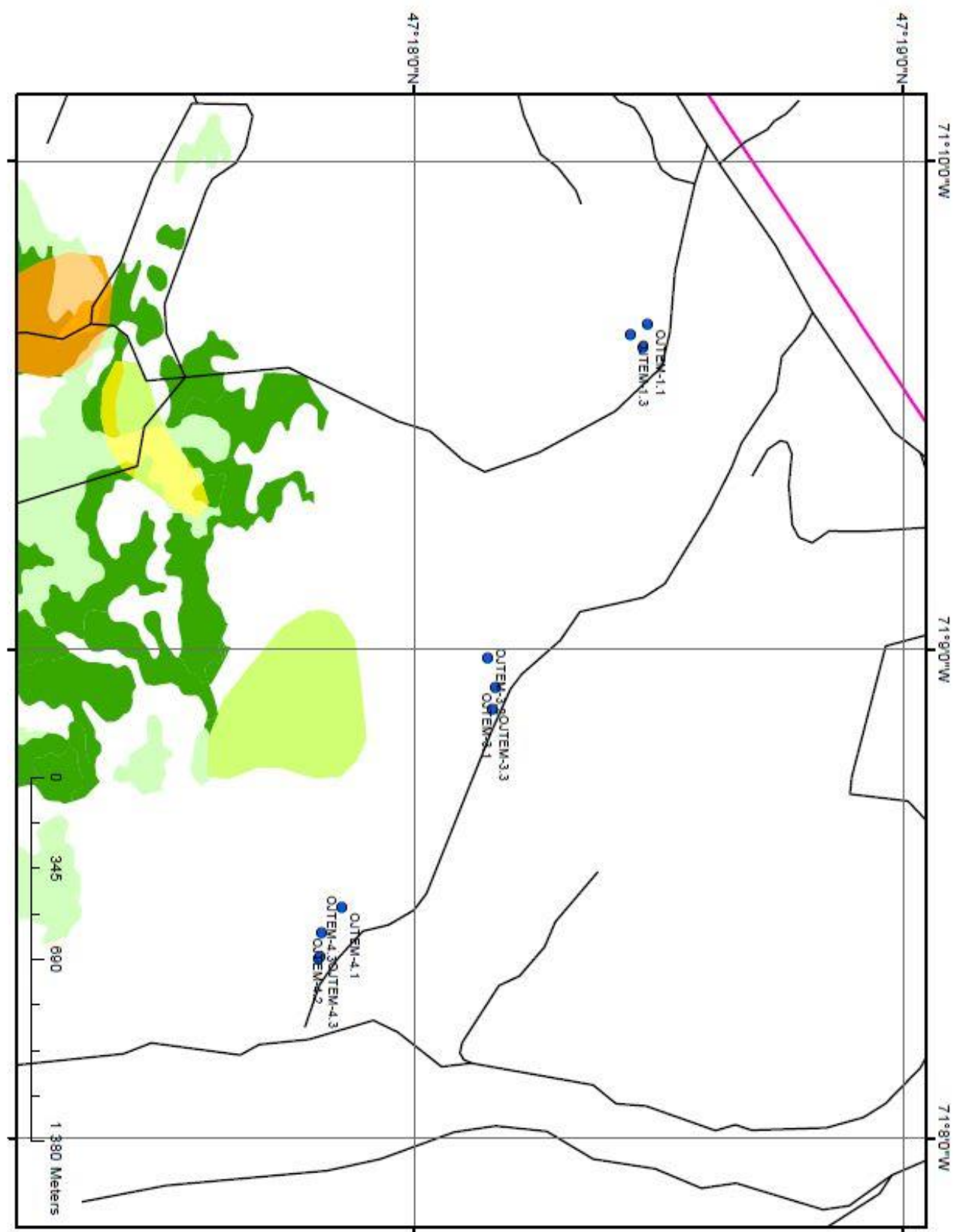


2014

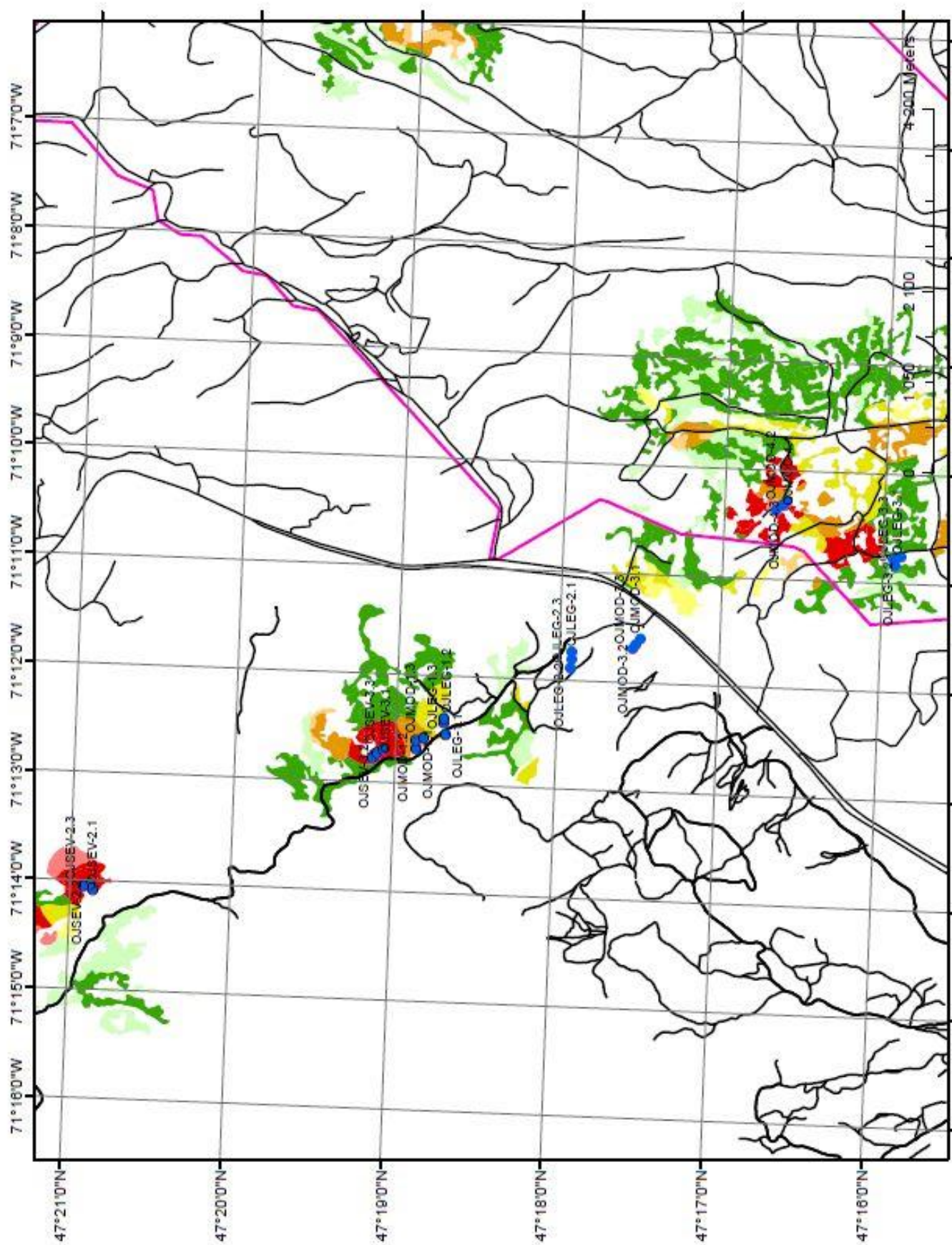
Annexe 2 : sites expérimentaux A



Annexe 2 : sites expérimentaux B



Annexe 2 : sites expérimentaux C



Annexe 3 : planche de détermination des familles

Cantharidae : 48 espèces au Québec

- 1.1-15mm
- 2.Forme allongée
- 3.Élytres flexibles recouvrant lâchement l'abdomen
- 4.Tête visible, égale ou plus large que le pronotum au niveau des yeux
- 5.Antennes filiformes sans massues
- 6.Tarses 5-5-5, dont le 4^e segment est bilobé



Les insectes du Québec p. 159 Beetles p. 183

Cryptophagidae : 23 espèces au Québec

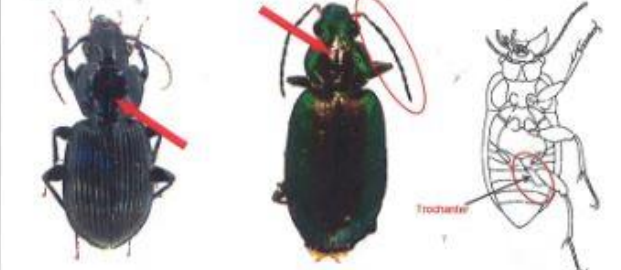
- 1.1-3mm
- 2.Massues antennaires à 3 segments lâches
- 3.Généralement très poilue
- 4.Élytres souvent plus large au niveau du pronotum
- 5.Pronotum possède souvent des dépressions à la base
- 6.Ponctuations sur élytres confuses et non-alignées (non-striées)
- 7.1^{er} segment abdominal plus long que les autres



Beetles p. 222

Carabidae : 450 espèces au Québec

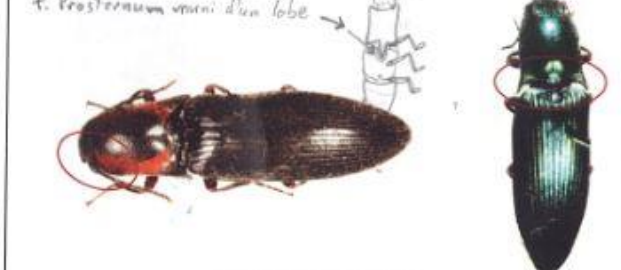
- 1.4-20mm
- 2.Antennes filiformes sans massue
- 3.Trochanter postérieur proéminent
- 4.Élytres striées
- 5.Présence d'une strie médiane fendant le pronotum en deux
- 6.Les coxae postérieurs divisent le 1^{er} segment abdominal
- 7.Tarses 5-5-5



Les insectes du Québec p. 95 Beetles p. 88

Elateridae : 165 espèces au Québec

- 1.3-20mm
- 2.Pronotum avec pointes
- 3.Corps allongé et étroit
- 4.Antennes près des yeux, presque toujours en dents de scie
- 5.Ressemble à la famille des **Eucnemidae** (faux-taupin)
- 6.Tarses 5-5-5
7. Prosternum muni d'un lobe



Les insectes du Québec p. 149 Beetles p. 172

Monotomidae (Rhizophagidae): 11 espèces au Québec

- 1.1,5-3mm
- 2.Chaque antenne a 10 segments
- 3.Massues antennaires à 2 segments
- 4.Corps allongé (Élytres en particulier)
- 5.Laisse dépasser le dernier segment abdominal
- 6.Tête clairement visible du dessus



Beetles p. 217

Nitidulidae : 64 espèces au Québec

- 1.1-12mm
- 2.Massues antennaires abruptes à 3 segments, presque toujours en forme de boule
- 3.En général élytres courtes laissant dépasser 1, 2 ou plus de segments abdominaux
- 4.Élytres généralement non striées
- 5.Tarses 5-5-5, dont les 3 premiers segments sont courts et dilatés, le 4^e très petit et le 5^e allongé



Les insectes du Québec p. 168 Beetles p. 225

Staphylinidae : 470 espèces au Québec

- 1.1-10mm
- 2.Corps allongé aux côtés parallèles
- 3.Laisse généralement dépasser au moins 5 segments abdominaux derrière les élytres
- 4.Abdomen flexible
- 5.Antennes filiformes ou avec massues
- 6.Tarses variables, habituellement 5-5-5



Les insectes du Québec p. 126 Beetles p. 110

Annexe 4 : extrait de la clé des cantharidae

Canadian Journal of Arthropod Identification No. 25 (February, 2014)

Pelletier & Hébert



Fig. 16 .

Fig. 18 .

Fig. 20

Fig. 17 .

Fig. 19

Fig. 21

5 (4)	Pronotum arcuate laterally, widest near base (Fig. 16) or near middle (Fig. 17); tarsal claws broadly cleft in both sexes (Fig. 20).	<i>Podabrus</i> 56
5'	Pronotum rectilinear, at least on anterior half, widest anteriorly, constricted posteriorly (Figs. 18-19); tarsal claws with broad basal tooth in female, at least on posterior tarsi in male (Fig. 21).	<i>Dichelotarsus</i> 77

doi:10.3752/cjai.2014.25

12

Canadian Journal of Arthropod Identification No. 25 (February, 2014)

Pelletier & Hébert



Fig. 98

Fig. 99

Fig. 100

Fig. 101

Fig. 102

Fig. 103

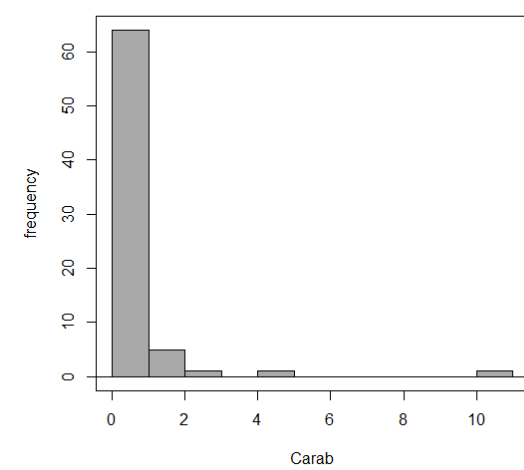
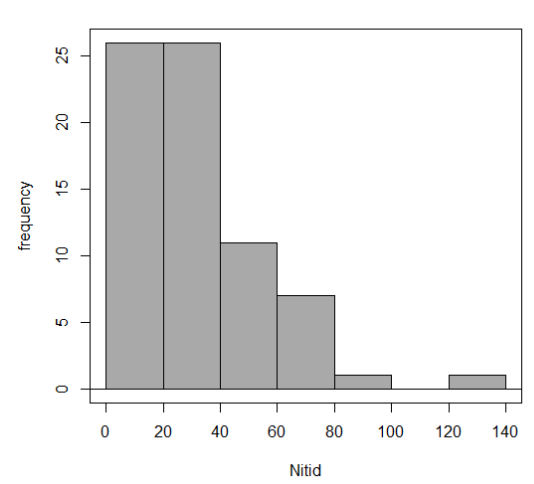
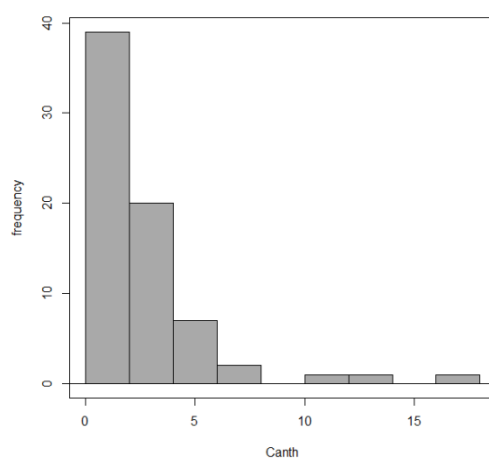
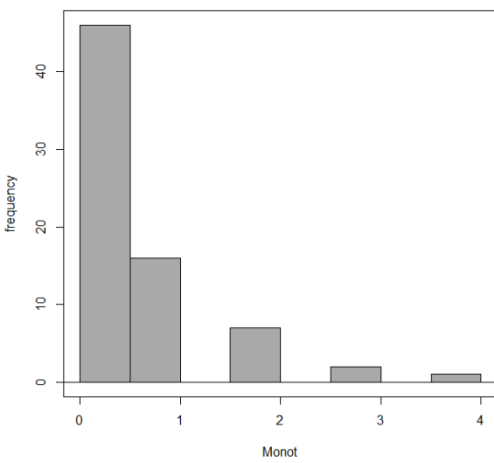
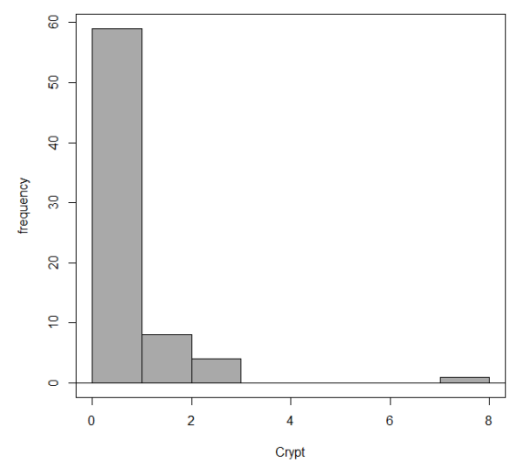
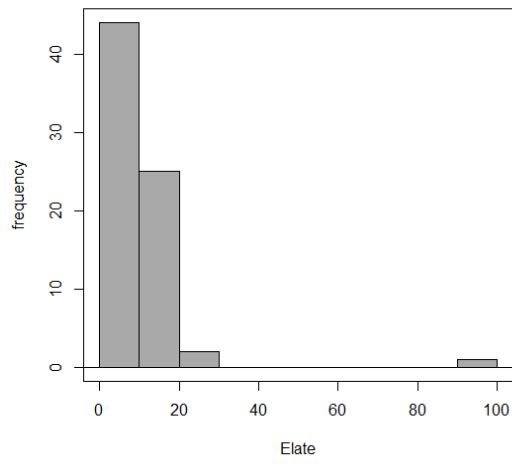
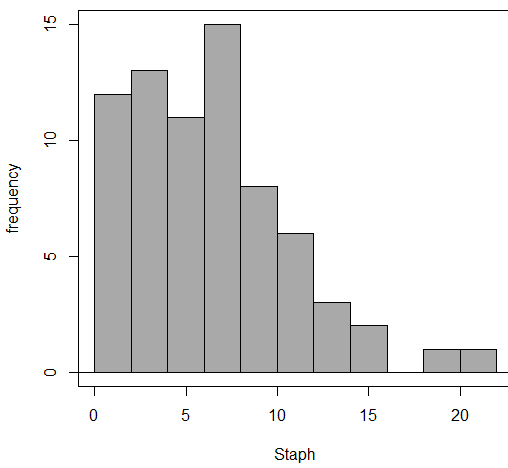
Fig. 98-103: *Rhagonycha*

22 (21)	Pronotum subquadrate, about 1.1X as wide as long or less (Fig. 98). Elytra predominantly yellow (Fig. 100).	23
22'	Pronotum variable, usually at least 1.2X as wide as long (Fig. 99). Elytra entirely (Figs. 101) or predominantly black (Fig. 102) or bicoloured (Fig. 103).	26

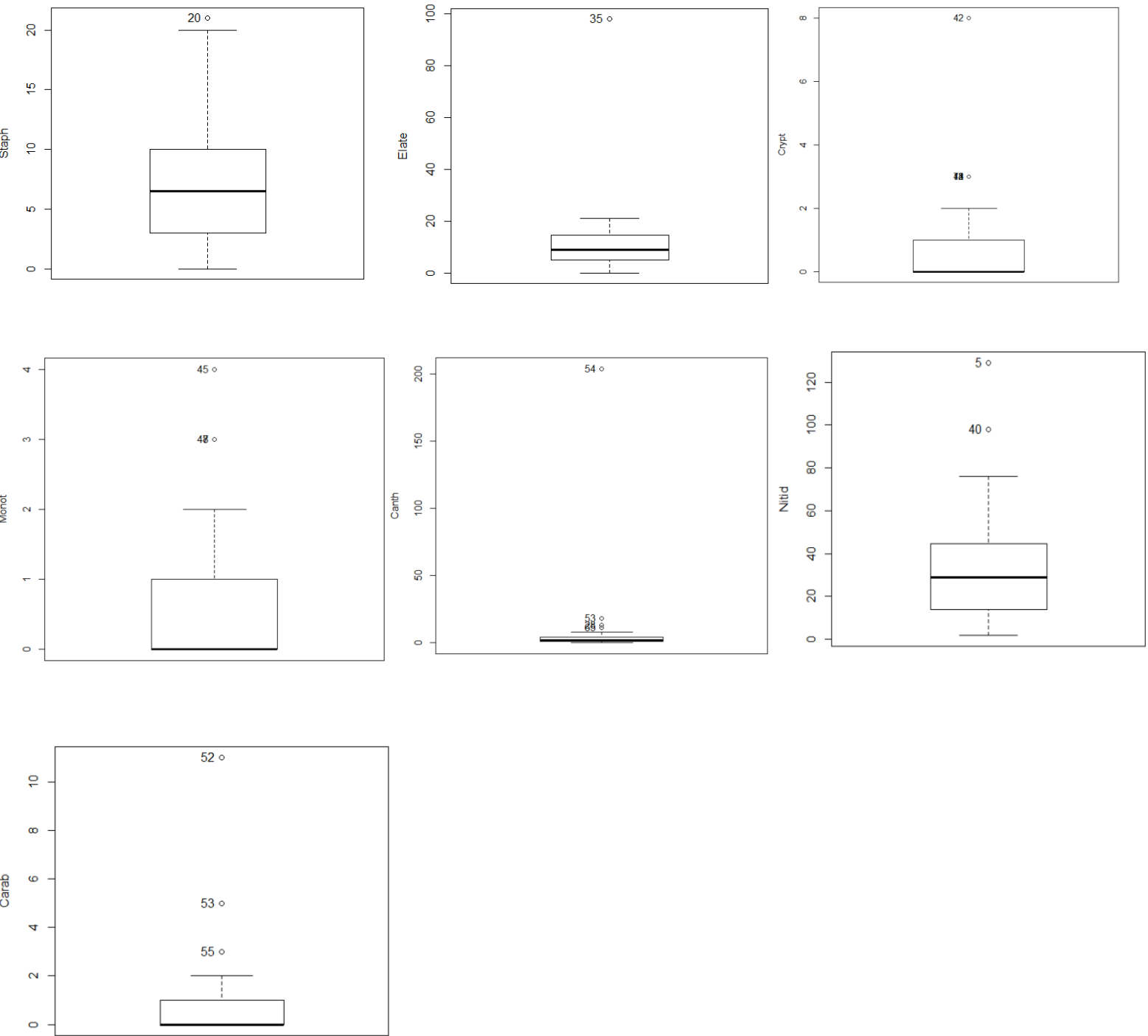
doi:10.3752/cjai.2014.25

29

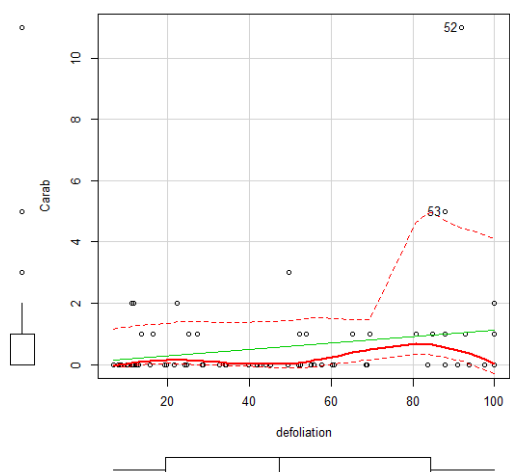
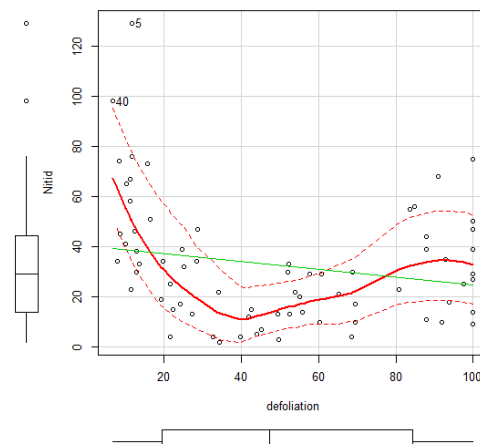
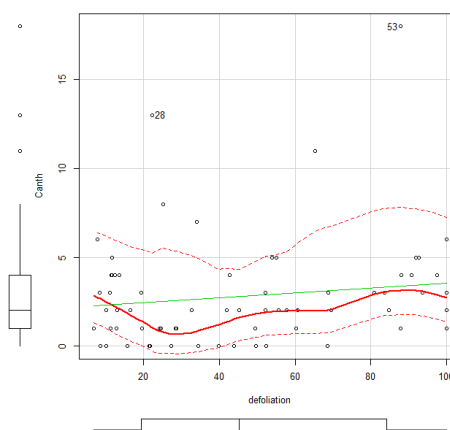
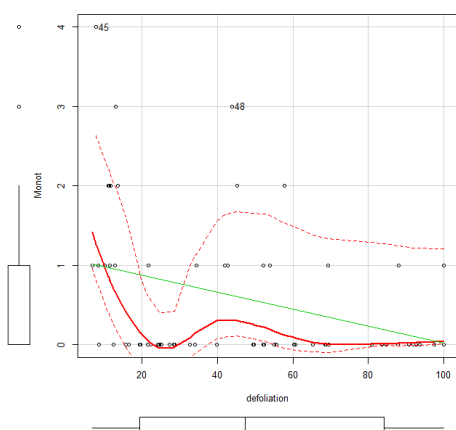
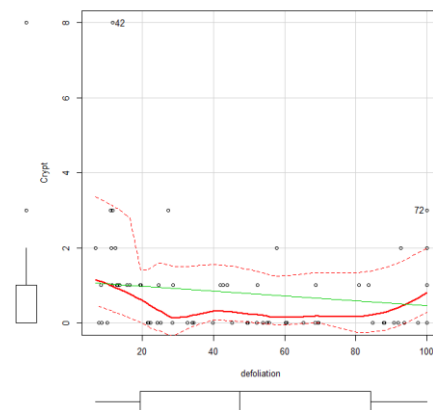
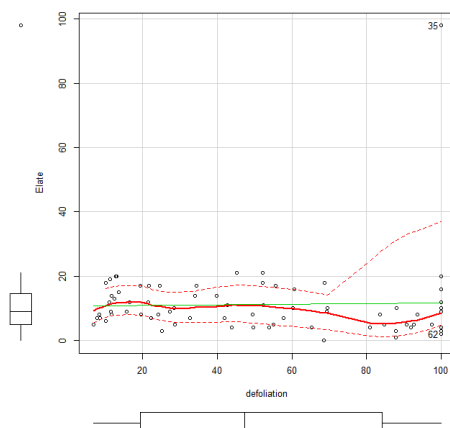
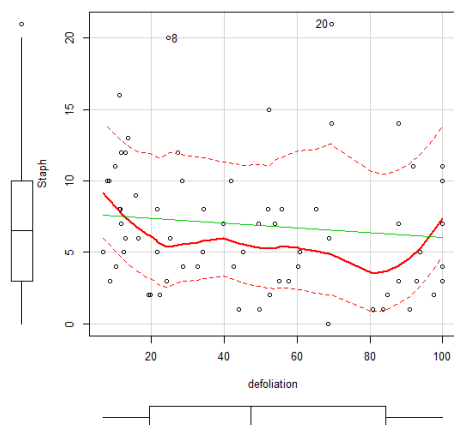
Annexe 5 : histogrammes loi normale des variables « familles »



Annexe 6 : box plots des variables « familles »



Annexe 7 : nuages de points des variables « familles » A



Annexe 8 : Planification de la méthodologie de travail

2012

Premier signe de l'épidémie de l'arpenteuse de la pruche dans la région de la Capitale Nationale

Évaluation du niveau de défoliation par le MNR par avion

2013 - 2014

Terrain
Dispositif expérimental

Sélection des zones d'étude
selon leur niveau de défoliation

12 sites

Installation des pièges et récolte

Évaluation du niveau de défoliation

Tri des coléoptères

2015

Avril

Bibliographie

- Rapport scientifique des épidémies de l'arpenteuse de la pruche
- Ecologie des familles de coléoptères

Avril - Juin

Tri et détermination des familles

7 familles de
coléoptères

Juillet

Détermination à l'espèce et mise en collection

Montomidae et Cantharidae

Juillet -
Août

Analyses statistiques

Rédaction du rapport

Annexe 9 : Répartition des tâches exécutées

	Regnier Maud	Hébert Christian Docteur scientifique	Yves Dubuc Technicien entomologiste	Bélard Jean-Michel Étudiant à la maîtrise	Jeffrey Olivier Biologiste	Anne Cotton-Gagnon Étudiante à la maîtrise	Georges Pelletier Taxonomiste
Année 2013-2014							
Installation du dispositif							
Recolte de 2014							
Trie des échantillons (coléoptères)							
Évaluation du niveau de défoliation							
Année 2015							
Recherche de bibliographies							
Tri et détermination à la famille							
Détermination à l'espèce							
Mise en collection							
Analyses statistiques: RDA et EspècesInd							
Coefficients de corrélation/ détermination							
Rédaction du rapport							