AgroParisTech ENGREF
INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FOR LIFE, FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

FORMATION DES INGÉNIEURS FORESTIERS

Ressources naturelles et Faune
Québec

COMPARAISON DES PEUPLEMENTS NATURELS ET AMÉNAGÉS EN CHAUDIÈRE-APPALACHES (QUÉBEC, CANADA) : CARACTÉRISTIQUES DE LA VÉGÉTATION ET VALEUR FAUNIQUE

-

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Gilles Sauvestre
18e promotion – 2007-2010

septembre 2010

Illustration de la couverture : le lièvre d'Amérique, une espèce sensible à certains effets de l'aménagement forestier en Chaudière-Appalaches. *Crédit photographique : MRNF.*

AgroParisTech-ENGREF
Formation des ingénieurs forestiers

Ministère des Ressources
naturelles et de la Faune du Québec

COMPARAISON DES PEUPLEMENTS NATURELS ET AMÉNAGÉS EN CHAUDIÈRE-APPALACHES (QUÉBEC, CANADA) : CARACTÉRISTIQUES DE LA VÉGÉTATION ET VALEUR FAUNIQUE

-

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Gilles Sauvestre
18e promotion – 2007-2010

septembre 2010

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE DE LA FIF

Formation des ingénieurs forestiers de l'ENGREF Agro Paris Tech	TRAVAUX D'ÉLÈVES
TITRE : Comparaison des peuplements naturels et aménagés en Chaudière-Appalaches (Québec, Canada) : caractéristiques de la végétation et valeur faunique	**Mots clés :** Québec, Canada relations forêt-faune
AUTEUR(S) : Gilles Sauvestre	**Promotion :** 18ème 2007-2010
Caractéristiques : 1 **volume**; 100 **pages** ; 5 **figures** ; 9 **annexes** ; 7 **cartes ; bibliographie.**	

CADRE DU TRAVAIL

ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT :
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

Nom du responsable : Pierre Blanchette
Fonction : Biologiste, Ph.D.

Nom du correspondant ENGREF (pour un stage long) : Gérard Falconnet

Tronc commun ☐ **Option** ☐ **D. d'approfondissement** ☑	**Stage en entreprise** ☐ **Stage à l'étranger** ☐ **Stage fin d'études** ☑ **Date de remise :** septembre 2010	**Autre** ☐

Contrat avec Gref Services Nancy ☐ **OUI** ☑ **NON**

SUITE À DONNER (réservé au service des études)

☐ **Consultable et diffusable**
☐ **Confidentiel de façon permanente**
☐ **Confidentiel jusqu'au / / , puis diffusable**

RÉSUMÉ

Les caractéristiques de la végétation et la fréquentation par certaines espèces fauniques ont été comparées entre peuplements forestiers naturels et aménagés en Chaudière-Appalaches (Québec, Canada), et entre deux stade des développement. Parmi les peuplements de 30 ans, il a été observé que les plantations diffèrent des peuplements naturels par un couvert latéral, une abondance en bois mort et une diversité en essences inférieurs. Ces plantations accueillent une faune globalement moins abondante que les peuplements naturels. Les peuplements éduqués présentent une position intermédiaire. Presque toutes les espèces fauniques semblent fréquenter préférentiellement les peuplements présentant un fort couvert latéral. Ces résultats suggèrent que les mesures d'atténuation de l'impact des travaux forestiers sur la faune devront notamment chercher à maintenir un couvert latéral, une diversité en essences et une abondance en bois mort suffisants pour la faune.

ABSTRACT

Vegetation characteristics and frequentation habits of certain fauna species were compared between managed and unmanaged forest stands at two stages of development in Chaudière-Appalaches (Quebec, Canada). Among the 30 year-old stands, it was observed that plantations differ from unmanaged stands in terms of their lower lateral cover, the amount of dead wood present and the diversity of tree species therein. These plantations welcome fewer fauna than unmanaged stands. Managed natural stands hold an intermediate position between plantations and unmanaged natural stands. Almost all studied fauna species demonstrated an affinity for stands with dense lateral cover. These results indicate that mitigating measures designed to reduce the effects of management on fauna should aim at maintaining a sufficient level of lateral cover, tree species diversity and dead wood for fauna.

Remerciements

Je tiens à remercier M. Pierre Blanchette pour son encadrement et ses conseils de très haute qualité, ainsi que pour sa grande gentillesse et sa disponibilité. Je remercie également M. Gérard Falconnet pour ses conseils et son aide tout au long de ce stage. Je tiens également à remercier tous ceux qui m'ont accompagné, aidé ou conseillé, en particulier toute l'équipe du service de la faune terrestre et de l'avifaune, ainsi que Coraline Descamps, Céline Macabiau et Peter Marisette. Je remercie enfin le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, service de la faune terrestre et de l'avifaune, pour m'avoir permis de réaliser ce stage en son sein, ainsi que l'AgroParisTech-ENGREF pour m'avoir donné la possibilité de réaliser un tel stage.

Table des matières

Liste des cartes **5**

Liste des figures **5**

Liste des tableaux **6**

Index des sigles, abréviations et symboles utilisés **7**

Avant-propos **8**

Introduction **9**

1. Présentation de l'étude **10**

1.1. Présentation de la zone d'étude *10*

1.1.1. Situation géographique *10*

1.1.2. Géomorphologie *11*

1.1.3. Caractéristiques écologiques principales *13*

1.1.4. Influence anthropique sur le territoire et contexte forestier *16*

1.2. Présentation du projet servant de cadre à la présente étude *19*

1.2.1. Problématique de la zone d'étude *19*

1.2.1.1. Intensification de l'aménagement forestier local 19

1.2.1.2. Enjeux forêt-faune en résultant 20

1.2.2. Mesures d'atténuation *20*

1.2.3. Projet d'évaluation de l'efficacité des mesures d'atténuation *21*

1.2.3.1. Raison d'être et acteurs de ce projet 21

1.2.3.2. Objectifs du projet 21

1.2.3.3. Réalisation du projet 22

1.3. Objectifs de l'étude *22*

1.3.1. Énoncé des objectifs de l'étude *22*

1.3.2. Travail réalisé dans le cadre du stage *23*

1.3.3. Déroulement et encadrement du stage *23*

2. Matériel et méthodes **24**

2.1. Échantillonnage des peuplements *24*

2.1.1. Zone géographique couverte par le plan d'échantillonnage *24*

2.1.2. Plan d'échantillonnage théorique *24*

2.1.3. Choix des sites étudiés *25*

2.1.4. Échantillonnage effectivement réalisé *26*

2.2. Espèces fauniques étudiées 26
2.3. Données collectées 28
2.3.1. Données de végétation 29
2.3.2. Données fauniques 30
2.3.3. Autres données collectées 33
2.4. Analyses statistiques 34
2.4.1. Comparaison des données relatives à la végétation et à la faune entre les différents types de peuplements 34
2.4.2. Identification des liens entre variables fauniques et variables de végétation et de paysage. 35

3. Résultats et interprétations 37

3.1. Comparaison des données relatives à la végétation et à la faune entre les différents types de peuplements 37
3.1.1. Données de végétation 37
3.1.1.1. Couvert de la végétation ligneuse 37
3.1.1.2. Couvert de la végétation herbacée 39
3.1.1.3. Éléments fauniques (débris ligneux et chicots) 40
3.1.1.4. Données dendrométriques 42
3.1.1.5. Résumé des points marquants 46
3.1.2. Données fauniques 47
3.1.2.1. Fèces de Lièvre d'Amérique 47
3.1.2.2. Présence d'amphibiens 47
3.1.2.3. Données ornithologiques 48
3.2. Résultats des sélections de modèles sur les espèces fauniques 50
3.2.1. Lièvre d'Amérique 50
3.2.2. Oiseaux des forêts fermées 52
3.2.3. Oiseaux des forêts ouvertes 55
3.2.4. Espèces liées au bois mort 57
3.2.5. Paruline du Canada 58

4. Discussion 61

4.1. Critique des résultats et propositions d'amélioration des techniques d'inventaires 61
4.1.1. Tétras du Canada 61
4.1.2. Amphibiens et reptiles 61
4.1.3. Données sur les oiseaux chanteurs issues des écoutes 62
4.1.4. Données d'appel et de houspillage 63
4.1.5. Utilisation du critère d'information d'Akaike pour les sélections de modèles 63

4.1.6. Analyses sur les caractéristiques des paysages.....63
4.1.7. Caractéristiques des chicots 64
4.1.8. Autres variables 65
4.2. Implications pour la sylviculture et l'aménagement.....65

Conclusion 68

Références bibliographiques 70

Logiciels utilisés.....75

Source des fonds de cartes vectorielles utilisés.....75

Coordonnées du maître de stage 76

Collaborateurs privilégiés 76

Partenaires du projet.....77

Lexique 78

Index des noms vernaculaires et scientifiques des espèces végétales et fauniques citées dans le texte 80

Annexes 85

Table des annexes 86

Annexe 1 : Relief du Québec. 87

Annexes 2 : Caractéristiques climatiques du Québec.....88

Annexe 3 : Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec.....89

Annexe 4 : Plan d'échantillonnage. 90

Annexe 5 : Liste des espèces d'oiseaux observées lors des points d'écoute et des houspillages. 91

Annexe 6 : Signification des codes et unité des variables utilisées. 93

Annexe 7 : Schéma d'une parcelle type pour la description des caractéristiques de la végétation des sites étudiés. 96

Annexe 8 : Table des codes des stades de dégradation des débris ligneux au sol et des arbres debout.....97

Annexe 9 : Traitements des données de l'inventaire écoforestier. 98

Liste des cartes

Carte 1 : Situation géographique du Québec sur le continent américain ..... p. 10

Carte 2 : Situation géographique du Québec au Canada ..... p. 10

Carte 3 : Régions administratives du Québec ..... p. 11

Carte 4 : Carte simplifiée des principales unités géomorphologiques du Québec ..... p. 12

Carte 5 : Grandes unités géomorphologiques et domaines bioclimatiques en Chaudière-Appalaches p. 13

Carte 6 : Grands types d'utilisation des sols en Chaudière-Appalaches ..... p. 18

Carte 7 : Localisation des sites étudiés ..... p. 26

Liste des figures

Figure 1 : Lièvre d'Amérique ..... p. 27

Figure 2 : Le Roitelet à couronne rubis, un oiseau de forêts fermées ..... p. 32

Figure 3 : Le Bruant à gorge blanche, un oiseau de forêts ouvertes ..... p. 33

Figure 4 : Jeune peuplement avant la réalisation d'une éclaircie précommerciale, en Abitibi (ouest-Québec) ..... p. 66

Figure 5 : Jeune peuplement après la réalisation d'une éclaircie précommerciale, en Abitibi (ouest-Québec) ..... p. 66

Liste des tableaux

Tableau 1 : Accroissement net en volume (accroissement brut - mortalité) des forêts publiques aménagées, par domaine bioclimatique ..... p. 16

Tableau 2 : Résultats des comparaisons statistiques sur les données de couvert de la végétation ligneuse .. .. p. 37

Tableau 3 : Résultats des comparaisons statistiques sur les données de couvert de la végétation herbacée ..... p. 39

Tableau 4 : Résultats des comparaisons statistiques sur les caractéristiques des éléments fauniques .. p. 40

Tableau 5 : Résultats des comparaisons statistiques sur les caractéristiques dendrométriques des peuplements ..... p. 42

Tableau 6 : Résultats des comparaisons statistiques sur l'abondance des fèces de Lièvre d'Amérique. p. 47

Tableau 7 : Résultats des comparaisons statistiques sur les données de présence/absence des amphibiens ..... p. 47

Tableau 8 : Résultats des comparaisons statistiques sur les données ornithologiques ..... p. 48

Tableau 9 : Résultats des sélections de modèles sur l'abondance des fèces de Lièvre d'Amérique ..... p. 51

Tableau 10 : Résultats des comparaisons statistiques sur l'abondance du Roitelet à couronne rubis .. p. 53

Tableau 11: Résultats des comparaisons statistiques sur l'abondance de la Grive à dos olive ..... p. 53

Tableau 12 : Résultats des comparaisons statistiques sur l'abondance du Bruant à gorge blanche .... p. 55

Tableau 13 : Résultats des comparaisons statistiques sur l'abondance de la Paruline à joues grises .. p. 56

Tableau 14 : Résultats des comparaisons statistiques sur l'abondance de la Paruline du Canada ..... p. 59

Index des sigles, abréviations et symboles utilisés

$: Dollars canadiens

√ : fonction racine carrée

asin : fonction arcsinus

log : fonction logarithme décimal

CAAF : Contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier

CPRS : Coupe avec protection de la régénération et des sols

DHP : Diamètre à hauteur de poitrine (à 1,3 m)

MRNF : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

PMVRMF–II : Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier – Volet II

Avant-propos

Le présent rapport est le résultat du travail effectué lors de mon stage de fin d'études à la Formation des ingénieurs forestiers (AgroParisTech-ENGREF), de janvier à juin 2010, au sein du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, service de la faune terrestre et de l'avifaune. Les résultats de cette étude devraient conduire à la publication d'un rapport pour le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, ainsi qu'à la rédaction et à la publication d'un article scientifique.

Ce rapport n'est malheureusement sans doute pas exempt d'erreurs, d'oublis ni de fautes, aussi je prie le lecteur de bien vouloir m'en excuser et, si cela est possible, de m'en faire part.

Introduction

Les forêts de la région de la Chaudière-Appalaches (Québec méridional, Canada) font partie des forêts québécoises les plus productives et sur lesquelles une forte pression sylvicole est exercée. Depuis plusieurs décennies, l'aménagement (voir définition au lexique en fin de mémoire) de ces forêts s'est intensifié, la plantation et la réalisation de travaux sylvicoles (tels que le dégagement ou les éclaircies précommerciales et commerciales) se généralisant. Or ce type d'aménagement est connu pour modifier parfois fortement les caractéristiques des peuplements traités par rapport à celles des peuplements naturels (altération de la composition, de la structure, etc.). De plus, de nombreuses études réalisées dans d'autres régions du Québec ont également mis en évidence de forts impacts, généralement négatifs, de cet aménagement sur la faune.

Le travail exposé dans le présent rapport a pour objectif d'étudier l'impact réel de l'aménagement forestier sur la végétation et la faune, ainsi que les relations entre végétation, paysage et faune dans le contexte forestier de la Chaudière-Appalaches. Il se base sur des comparaisons statistiques et des processus de sélection de modèles réalisés sur des données caractérisant la végétation et la fréquentation faunique des forêts étudiées. Les résultats de ce travail pourraient permettre d'adapter les mesures d'atténuation des effets de l'aménagement forestier sur la faune d'ores et déjà appliquées dans les forêts de la Chaudière-Appalaches, telles que les plantations et travaux avec rétention d'îlots intacts, les plantations à faible densité ou la préservation d'essences compagnes.

Après avoir situé la région de la Chaudière-Appalaches et ses forêts dans leurs contextes géographique, écologique et socio-économique, le présent rapport expose les motivations qui ont conduit à l'élaboration du projet auquel ce travail est intégré. Le choix des méthodes d'investigation, des espèces étudiées et des analyses statistiques à réaliser est ensuite expliqué. Les résultats de ces analyses sont exposés, puis leur pertinence et leurs implications pour la gestion sylvicole sont discutées. Enfin, les travaux réalisés lors de cette étude ont permis de porter un regard critique sur les méthodes utilisées, ce qui devrait permettre de les adapter et de les corriger pour les études semblables à venir.

1. Présentation de l'étude

N.B. : Afin de faciliter la compréhension du présent rapport, les noms vernaculaire et scientifique des espèces végétales et fauniques qui y sont citées sont présentés en index en p. 80. Certains termes spécialisés et québécois sont également définis dans le lexique en p. 78.

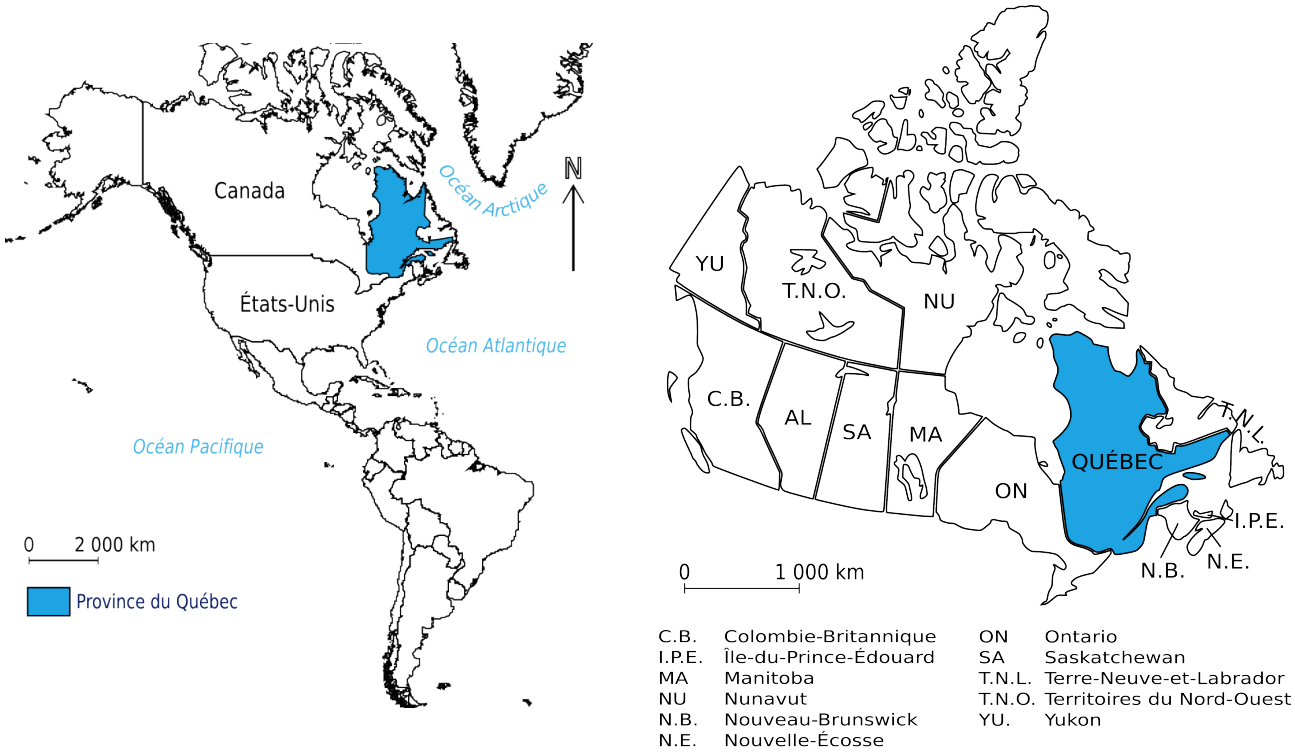
1.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude réalisée dans le cadre de ce stage porte sur la région administrative québécoise de la Chaudière-Appalaches. Une présentation de la géographie et des principaux traits écologiques de cette région est faite dans cette section. Une présentation générale de la province de Québec est menée en parallèle, afin de situer la zone d'étude dans un contexte provincial plus large.

1.1.1. Situation géographique

- Québec (cartes 1 et 2)

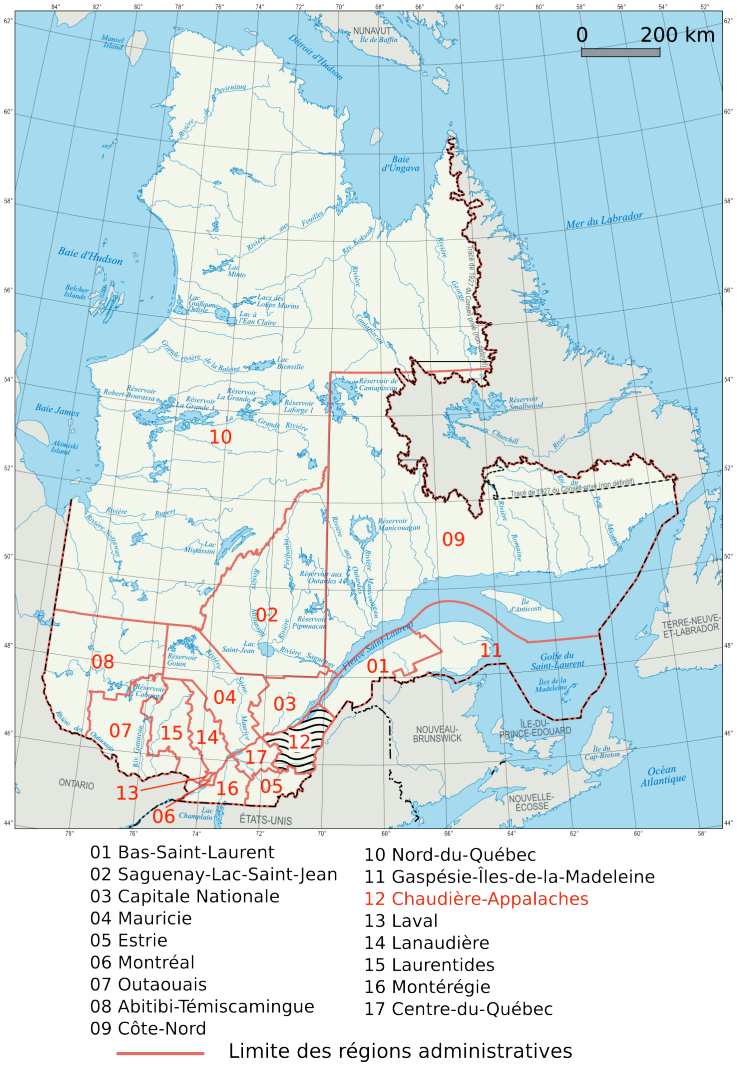
La province de Québec est l'une des 13 subdivisions (provinces et territoires) du Canada, parmi les plus orientales. Elle se situe au Nord-Est du continent américain, à proximité de l'océan Atlantique. La province s'étend sur plus de 17 degrés de latitude du nord au sud, et sur plus de 22 degrés de longitude de l'est à l'ouest, couvrant une superficie de plus de 1 600 000 km² soit près de trois fois la France (Wikipédia, l'encyclopédie libre, 2010).



Cartes 1 et 2 : Situation géographique du Québec sur le continent américain et au Canada.

- Chaudière-Appalaches (carte 3)

La Chaudière-Appalaches est l'une des dix-sept régions administratives du Québec. Couvrant 15 216 km^2, elle est d'une taille comparable aux autres régions du Sud de la province, mais sans commune mesure avec les régions nordiques. Elle est bordée au nord par le fleuve Saint-Laurent (en face de la ville de Québec et la région de la Capitale-Nationale), au nord-est par la région du Bas-Saint-Laurent, à l'est par les États-Unis, au sud par la région de l'Estrie et à l'ouest par la région du Centre-du-Québec (Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches, 2005).



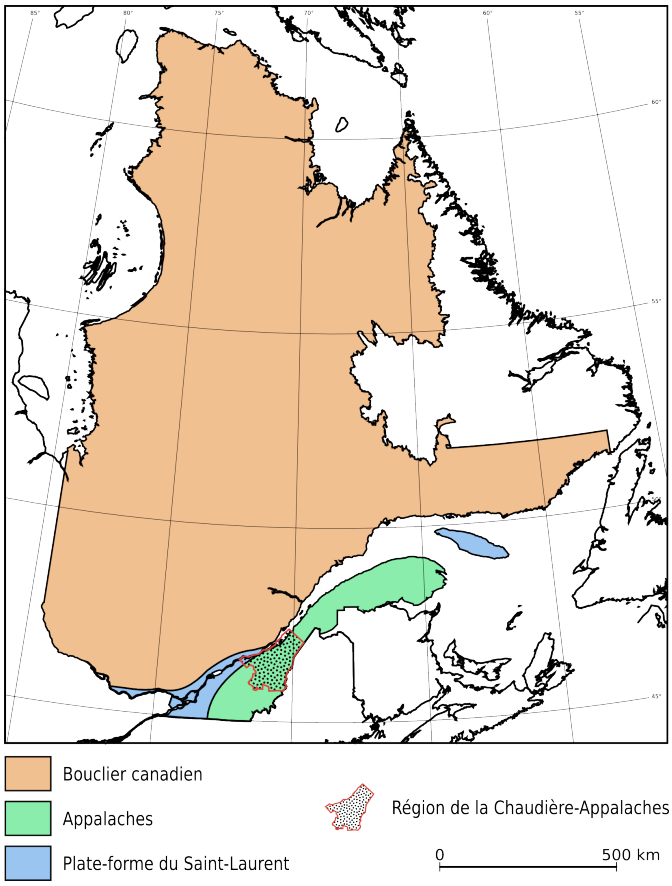
Carte 3 : Régions administratives du Québec.
Adapté de : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction générale de l'information géographique, 2006.

1.1.2. Géomorphologie

- Québec (carte 4 et annexe 1)

Le bouclier canadien, la plate-forme du Saint-Laurent et les Appalaches sont les 3 grandes unités géomorphologiques du Québec (Bourque et Université Laval, 1997-2004).

Le Québec géomorphologique est dominé par le bouclier canadien. Le bouclier est constitué d'un socle de roches précambriennes fortement érodées par la dernière glaciation. Il en résulte que la plus grande partie de la province arbore un relief relativement plat, d'altitude moyenne (le plus souvent comprise entre 300 et 600 mètres). Quelques chaînes de montagnes d'altitude relativement importante s'y élèvent cependant, comme les monts Torngat et les Laurentides, culminant respectivement à 1 652 et 1 181 mètres. Autre conséquence notable de la dernière glaciation, le bouclier canadien est parcouru par de très nombreux cours d'eau et couvert de plus d'un demi-million de lacs.
Fleuve emblématique du Québec, le Saint-Laurent déroule son imposante vallée au Sud de la province, s'élargissant à l'est pour devenir le plus grand estuaire au monde, puis le golfe du Saint-Laurent communiquant avec l'océan Atlantique. Le long du fleuve s'étendent les basses terres du Saint-Laurent. C'est sur cette plate-forme sédimentaire que se sont construites les principales villes de la province (Montréal : 1,9 million d'habitants, Québec : 500 000 habitants).
Au sud du Saint-Laurent, la chaîne sédimentaire et volcanique des Appalaches impose ses reliefs au paysage. Elle culmine à 1 268 mètres (Wikipédia, l'encyclopédie libre, 2010).



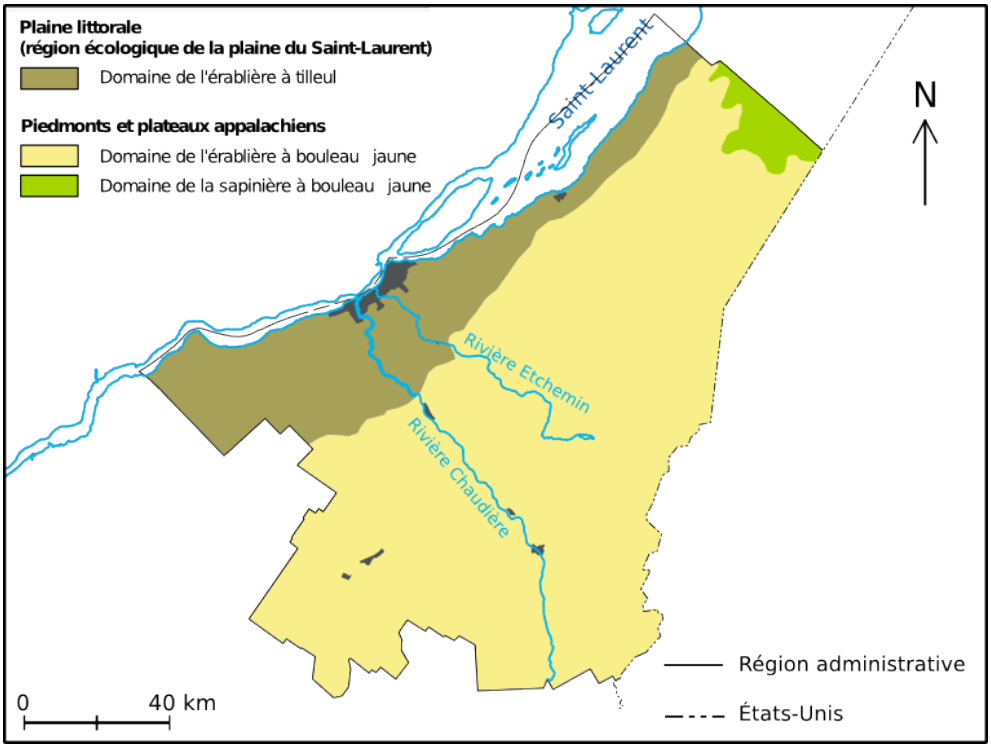
Carte 4 : Carte simplifiée des principales unités géomorphologiques du Québec.
D'après Bourque et Université Laval, 1997-2004.

- Chaudière-Appalaches (cartes 4 et 5)

La géomorphologie de la zone d'étude est marquée par :
– les basses terres du fleuve Saint-Laurent,
– les Appalaches, qui couvrent la plus grande partie de son territoire.

Le relief en résultant est caractérisé par la plaine littorale des basses terres du Saint-Laurent, de faible altitude (généralement inférieure à 150 mètres) et couvrant environ 20 % du territoire régional. La plaine littorale est bordée par les coteaux des piémonts appalachiens dont l'altitude générale oscille entre 150 et 400 mètres, et enfin par plusieurs massifs de collines et hautes collines culminant à plus de 500 mètres, voire 800 mètres (Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches, 2005).

Le territoire régional est sillonné par quelques rivières, dont l'importante vallée de la Chaudière. La région possède en revanche peu de grands lacs.



Carte 5 : Grandes unités géomorphologiques et domaines bioclimatiques en Chaudière-Appalaches.
Adapté de : Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches, 2005.

1.1.3. Caractéristiques écologiques principales

- Québec

  - climat (annexes 2) :

Par sa très grande extension en latitude, mais aussi par les variations de l'altitude et de l'influence océanique sur son territoire, le Québec présente un climat assez varié. Cette diversité se traduit par la présence de trois grandes zones climatiques sur le territoire québécois, soit du sud au nord : continental à été chaud, continental à été froid, polaire (nommés dans la suite tempéré nordique, boréal et arctique selon la nomenclature du cadre bioclimatique de référence du Québec, dans Saucier *et al.*, 2009).
Ces climats correspondent à trois gradients principaux (Saucier *et al.*, 2009) :

– le gradient thermique. Du sud au nord, les températures moyennes s'abaissent très fortement (voir annexe 2.1.). Le seuil de 1,5 °C de température moyenne annuelle marque la limite entre la zone tempérée nordique et la zone boréale, tandis que le seuil de –7,5 °C correspond à peu près à la limite des arbres qui marque le passage de la zone boréale à la zone arctique.

– le gradient pluviométrique. Les précipitations deviennent également de plus en plus rares du sud au nord du Québec, et tombent de plus en plus sous forme de neige (voir annexe 2.2.). Il existe par ailleurs un autre gradient concernant les précipitations, est-ouest cette fois-ci, et résultant en grande partie de l'influence de l'océan Atlantique. À l'est de la province, les précipitations sont beaucoup plus abondantes qu'à l'ouest (gradient de continentalité).

– le gradient altitudinal. La diminution de la température est de l'ordre de –0,6 °C par 100 m d'élévation. Les précipitations augmentent parfois également au niveau des chaînes de montagnes.

Les conditions de croissance pour les végétaux suivent ces gradients globaux. Par exemple, sous l'influence des températures et de la durée du jour, un fort gradient nord-sud de la durée de la saison de végétation est observé (voir annexe 2.3., la durée de végétation étant traduite en termes de degrés-jours). La zone tempérée nordique, caractérisée par des étés doux à frais et des hivers froids, mais aux précipitations importantes, est bien plus favorable à la croissance des végétaux que la zone boréale, aux étés courts et frais, aux hivers longs et froids, et aux faibles précipitations.

‣ sols :

Les dépôts de surface et les sols observés sur le territoire québécois répondent grossièrement à un gradient pédologique sud-ouest – nord-est. Au sud-ouest, dans la région de Montréal, les sols sont argileux, riches et développés. En allant vers le nord et l'est, les dépôts de surface deviennent plus grossiers, les sols sont de plus en plus acides, pauvres et peu développés (Saucier *et al.*, 2009).
Ces gradients pédologiques influencent fortement la végétation observée dans la province. On trouve ainsi de nombreuses espèces calcicoles et nitrophiles au Sud-Ouest de la province, qui sont progressivement remplacées par des espèces tolérant l'acidité (et les conditions climatiques boréales contraignantes) vers le Nord et l'Est.

‣ végétation (annexe 3) :

La forêt est encore la formation végétale dominante d'une très grande partie du territoire québécois. Elle couvre ainsi plus de 760 000 km^2, soit près de la moitié de la superficie provinciale.
La répartition et la composition actuelles de la végétation québécoise sont en grande partie le résultat de l'avancée vers le sud puis du retrait vers le nord des grands glaciers lors du dernier épisode glaciaire (qui a pris fin il y a environ 6 000 ans). Aujourd'hui, les différents facteurs écologiques vus précédemment dictent également la répartition et la composition de la végétation de la province. Ainsi, à l'échelle continentale, le Québec est caractérisé par trois grandes zones de végétation (Cadre bioclimatique de référence du Québec, dans Saucier *et al.*, 2009) :

– la zone tempérée nordique, qui s'étend au sud du 48^e degré de latitude nord,
– la zone boréale, qui s'étend entre le 48^e et le 58^e degré de latitude nord,
– la zone arctique, qui s'étend au nord du 56^e degré de latitude nord.

Les zones de végétation sont divisées en sous-zones correspondant à de grands types forestiers (forêt décidue, forêt mélangée, forêt boréale continue, etc.). Les sous-zones sont elles-mêmes divisées en domaines bioclimatiques englobant de grandes étendues de conditions bioclimatiques relativement homogènes, auxquelles sont associées des essences forestières caractéristiques (essences retrouvées dans les conditions écologiques mésiques).

On retiendra globalement qu'au sein de la sous-zone de la forêt décidue croissent principalement des essences nitrophiles et calcicoles, en majorité feuillues (notamment les différents érables, le Hêtre à grande feuilles et les caryers), mais aussi quelques conifères (pruche, thuya). En remontant vers le nord, les essences calcicoles et neutrophiles sont progressivement remplacées par des essences tolérantes à l'acidité et à des conditions climatiques plus contraignantes. Ces essences sont également adaptées à des perturbations naturelles différentes. Ainsi, les résineux tels que le Sapin baumier ou l'Épinette noire prennent progressivement la place des feuillus. On passe ainsi de la sous-zone de la forêt décidue à celle de la forêt mélangée (où feuillus et résineux sont présents en proportions comparables), puis à la sous-zone de la forêt boréale continue. Là, seules quelques essences feuillues subsistent (Bouleau blanc par exemple), avant de disparaître quasiment totalement, laissant la place à une forêt presque purement résineuse. Encore plus au nord, la forêt résineuse s'ouvre progressivement pour se transformer en taïga, puis en toundra forestière. Enfin, à la limite nordique des arbres commence la zone arctique, caractérisée par la toundra arbustive et la toundra arctique herbacée (Saucier *et al.*, 2009).

On observe également une influence parfois importante de l'altitude, faisant apparaître au niveau des chaînes de montagnes des enclaves de domaines bioclimatiques (et donc de végétation) s'étendant normalement sur des territoires plus septentrionaux (sur les hauteurs gaspésiennes et laurentiennes par

exemple). Au contraire, au niveau de certaines structures géomorphologiques (comme le graben du Saguenay et la région du lac Saint-Jean où la topographie crée des conditions climatiques particulières), des domaines bioclimatiques plus méridionaux sont observés au-delà de leur limite nordique normale (Saucier *et al.*, 2009).

- Chaudière-Appalaches

‣ climat (voir cartes annexe 2) :

Comme presque toutes les régions de la rive sud du Saint-Laurent, la zone d'étude présente des caractéristiques climatiques clémentes comparées à celles régnant sur la majeure partie du territoire québécois. À l'échelle du Québec méridional, ces conditions sont intermédiaires entre celles du Sud-Ouest (Montérégie) et celles du Nord-Est (Gaspésie). Les températures moyennes annuelles sont comprises entre 2,5 et 5°C (Robitaille et Saucier, 1998). Les hivers sont froids (températures moyennes de janvier comprises entre −11 et −14°C), mais les étés très doux avec des températures moyennes de juillet comprises entre 16 et 19°C (Départements de géographie et d'aménagement de l'Université Laval, 2010). Les précipitations y sont relativement abondantes (environ 1 000 mm/an) et la fraction nivale n'y dépasse pas 25 %. Tout cela confère à la région de bonnes conditions de croissance de la végétation : la saison de croissance dure généralement entre 180 et 190 jours, soit environ 2600 à 3200 degrés-jours de croissance (Robitaille et Saucier, 1998).

‣ sols :

Le gradient pédologique sud-ouest – nord-est existant à l'échelle du Québec est assez évident au nord du Saint-Laurent, mais il est également observable dans les Appalaches. Cependant, l'acidité y change moins radicalement, mais le climat devenant plus froid et les altitudes étant souvent plus élevées vers l'est, on observe des sols de moins en moins développés et riches de la Montérégie à la Gaspésie (Saucier *et al.*, 2009).
La zone d'étude possède une situation intermédiaire, plus proche de celle de la Montérégie que de la Gaspésie. Les sols (élaborés sur les tills – dépôts glaciaires) sont potentiellement développés et riches (Robitaille et Saucier, 1998). Cependant, les pentes appalachiennes, parfois fortes, limitent la présence de sols épais sur une partie du territoire d'étude (et par là même limitent, entre autres, les potentialités forestières). On retiendra toutefois que, globalement, les conditions pédologiques de la zone d'étude sont favorables comparées à celles de la majeure partie du territoire québécois.

‣ végétation (voir carte 5 annexe 2) :

La zone d'étude fait partie de la zone bioclimatique tempérée nordique. Conséquence des caractéristiques géographiques et écologiques, la zone d'étude est couverte par les trois domaines bioclimatiques suivants (Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches, 2005) :

– domaine de l'érablière à Bouleau jaune, couvrant la plus grande partie des reliefs appalachiens et dominant donc le territoire,

– domaine de l'érablière à tilleul, limitée à la bordure du Saint-Laurent et au piémont appalachien,

– domaine de la sapinière à Bouleau jaune, à la limite orientale de la région.

Le domaine de l'érablière à tilleul est le plus riche des trois du point de vue de la biodiversité, et présente la meilleure productivité globale. Il abrite des espèces rares qui se trouvent ici à leur limite nordique de répartition. Le domaine de la sapinière à Bouleau jaune est le moins riche des trois (Saucier *et al.*, 2009). Cependant, l'étude a porté principalement sur des forêts appartenant au domaine de l'érablière à Bouleau jaune, du sous-domaine de l'est, sur lesquelles plus de précisions sont données ci-après.

‣ caractéristiques de l'érablière à Bouleau jaune de l'est :

L'érablière à Bouleau jaune de l'est est caractérisée par une flore vasculaire assez riche, mais légèrement appauvrie par rapport au domaine de l'érablière à tilleul. Elle abrite environ 900 espèces vasculaires dont 23 espèces d'arbres. Les essences forestières principales dans les étages inférieurs (< 400 m d'altitude) sont l'Érable à sucre, le Bouleau jaune et le Tilleul d'Amérique. Le Tilleul disparaît progressivement à mesure que l'altitude augmente, suivi de l'Érable à sucre, tandis qu'aux étages supérieurs (> 600 m) apparaissent le Sapin baumier et le Bouleau blanc, essences plus septentrionales. D'autres essences sont communes dans ces forêts à dominance feuillue ou mixtes, comme divers érables et épinettes (Saucier *et al.*, 2009).
Les conditions climatiques et les sols sur lesquels elles s'installent confèrent à ces forêts une productivité supérieure à la moyenne québécoise (MRNF, 2009 ; voir tableau 1).

Tableau 1 : Accroissement net en volume (accroissement brut – mortalité) des forêts publiques aménagées, par domaine bioclimatique. *Source : MRNF, 2009.*

Domaine bioclimatique (sous domaine de l'est s'il existe)	*Accroissement annuel net (m3/ha/an)*
Érablières à Caryer cordiforme et à Tilleul	0,7
Érablière à Bouleau jaune	0,5
Sapinière à Bouleau jaune	0,0
Sapinière à Bouleau blanc	0,4
Pessière à mousses	0,0

Quelques sites étudiés dans le cadre du projet se situent en outre dans les domaines de l'érablière à Tilleul et de la sapinière à Bouleau jaune, mais dans des conditions écologiques (drainage, dépôts) proches de celles observées en érablière à Bouleau jaune.

‣ faune :

La faune observée en Chaudière-Appalaches est intéressante du fait qu'elle correspond à la transition entre la faune de la zone tempérée et celle de la zone boréale. Certaines espèces y sont donc à la limite de leur aire de répartition, comme par exemple le Cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), le Dindon sauvage (*Mileagris gallopavo)*, espèces de la zone tempérée, ou le Lynx du Canada (*Lynx canadensis*) et le Tétras du Canada (*Falcipennis canadensis)*, espèces de la zone boréale. De nombreuses espèces y sont chassées ou trappées, et constituent ainsi une ressource économique importante, comme l'Orignal (*Alces alces*), le Cerf de Virginie, l'Ours noir (*Ursus americanus*), le Lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*), la Gélinotte huppée (*Bonasa umbellus*) ou le Tétras du Canada. On retrouve également dans cette région des espèces aux statuts précaires, comme la Paruline du Canada (*Wilsonia canadensis*) ou la Grive de Bicknell (*Catharus bicknelli*).

1.1.4. Influence anthropique sur le territoire et contexte forestier

• Québec

Si les populations autochtones n'ont jamais eu que très peu d'influence sur la forêt québécoise, celle-ci a bien changé depuis la colonisation européenne au XVI^{e} siècle.
En effet, dans la vallée du Saint-Laurent et sur sa rive sud, les colons européens ont largement défriché les surfaces forestières. Permettant tout d'abord la construction des habitations, le chauffage et la libération

de surfaces pour l'agriculture, la déforestation a peu à peu été justifiée par des fins économiques et industrielles : construction navale, production de bois long, puis de papier. Ces forêts sont aujourd'hui à très forte dominante privée, et quelques utilisations principales en régissent la gestion :

— l'acériculture (récolte de la sève des érables afin de produire du sirop), très lucrative,

— la production ligneuse, aussi bien dans des peuplements issus de régénération naturelle que dans des plantations,

— la chasse et la récréation.

Au nord du Saint-Laurent, les forêts sont à forte dominante publique (forêts provinciales). La gestion en était jusqu'ici déléguée aux grandes entreprises forestières (majoritairement les entreprises papetières). Mais dans le contexte de la mise en place du nouveau régime forestier, le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (donc le pouvoir provincial) se chargera à l'avenir de cette gestion. Toutefois, ces forêts ont jusqu'ici servi de source d'approvisionnement pour les grandes industries, qui ont ainsi coupé une très grande partie des forêts primaires, avançant toujours plus au nord pour satisfaire les besoins d'une industrie aujourd'hui surdimensionnée et en grande difficulté. La limite nordique d'attribution commerciale des bois (au nord du 52e parallèle) et les relativement nombreuses aires protégées du Québec limitent cependant la perte des forêts naturelles. Les utilisations majeures de la forêt québécoise au nord du Saint-Laurent sont donc :

— la production ligneuse,

— la chasse et la récréation (notamment dans les réserves fauniques, les parcs nationaux, les zones d'exploitation contrôlée et les pourvoiries, structures proposant de nombreuses activités récréatives et de plein air).

- Chaudière-Appalaches (voir carte 6)

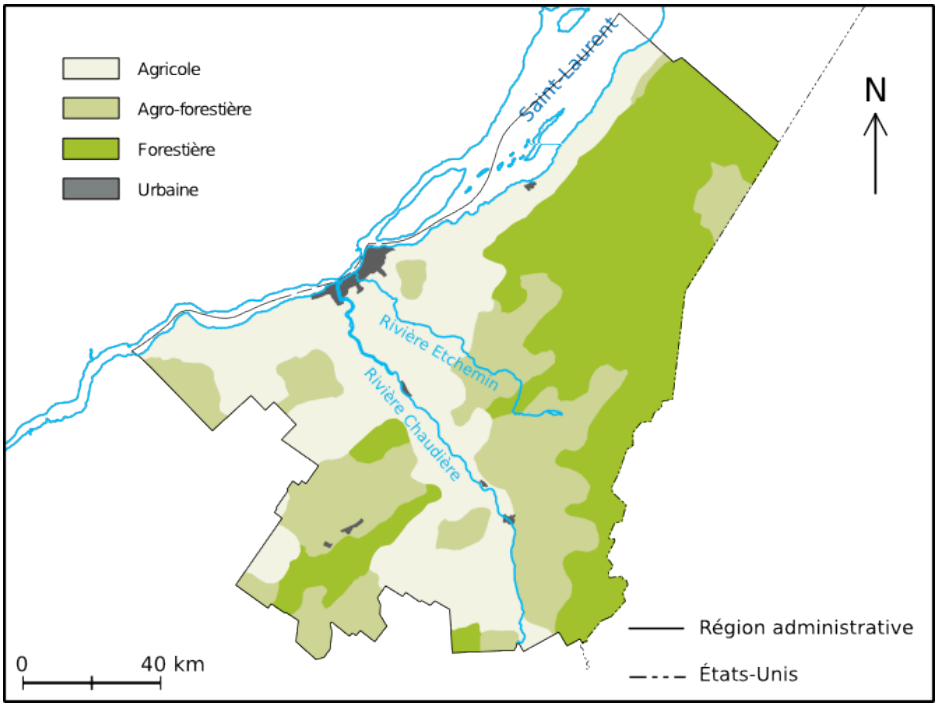
‣ usage des sols

Le territoire de la zone d'étude fut l'un des premiers à être colonisés lors de l'arrivée des européens au XVIe siècle. La proximité de la ville de Québec, grand centre de consommation, la fertilité de ses sols, la qualité, l'accessibilité et la quantité de sa ressource ligneuse ont conduit très tôt à une exploitation massive de ses forêts.

Aujourd'hui, la région de la Chaudière-Appalaches compte environ 400 000 habitants (soit 26,4 hab./km^2, la septième densité de population régionale du Québec), et sa forêt ne couvre plus qu'environ 74 % du territoire (environ 11 300 km^2). Les terres de la plaine du Saint-Laurent, de la vallée de la rivière Chaudière et ses rebords, mais aussi des piémonts appalachiens ont été déboisées pour laisser place à des terrains urbanisés comme dans l'agglomération de Lévis (135 000 habitants), et surtout à l'agriculture, faisant de la Chaudière-Appalaches la seconde région agricole québécoise. La forêt domine en revanche les plateaux appalachiens, soit la plus grande partie de la zone d'étude (Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches, 2005).

‣ altération des forêts naturelles

Les forêts de la zone d'étude ont été largement appauvries par plus de deux siècles d'exploitation. Les arbres de plus fortes dimensions ont été abattus, et la régénération de certaines essences a été compromise. Même si la composition de la forêt naturelle précoloniale est difficilement déterminable avec précision, on considère que plusieurs essences possèdent aujourd'hui une importance bien plus faible que dans la forêt avant colonisation (Saucier *et al.*, 2009). Comme on le verra plus loin, la conversion de peuplements naturels (à dominance feuillue ou mixtes) en plantations résineuses s'est également développée au cours des dernières décennies. Enfin, la grande importance économique de l'acériculture (la région représente environ 40 % de la production de sirop d'érable de la province – Arbour, 2003) a également conduit à adopter une gestion forestière particulière dans certaines forêts. Tous ces facteurs ont conduit à une modification parfois forte de la composition et à une simplification importante de la structure des forêts de la zone d'étude.



Carte 6 : Grands types d'utilisation des sols en Chaudière-Appalaches.
Adapté de : Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches, 2005.

- aspects socio-économiques

Les forêts en Chaudière-Appalaches sont, à environ 86 %, privées. Ces forêts privées représentent aux alentours de 9 700 km^2 (soit 16 % de la forêt privée québécoise), et appartiennent à environ 24 300 propriétaires (Arbour, 2003).
Ces forêts sont soumises à un régime de protection et de mise en valeur commun à toutes les forêts privées du Québec, visant à favoriser le développement durable de l'ensemble des ressources du milieu forestier privé des régions. Ce régime est administré par les agences régionales de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière et des Appalaches (organismes à but non lucratif). Ces deux agences ont pour mandat d'orienter et de développer la mise en valeur des forêts privées de leur territoire dans une perspective d'aménagement durable. Ainsi, elles ont entre autres pour missions :

– de participer à l'élaboration et à la mise en place d'un plan de protection et de mise en valeur des forêts privées en accord avec le régime du même nom,

– d'administrer un programme d'aide pour supporter financièrement des interventions en relation avec le milieu forestier (mise en valeur ou protection), comme on le verra plus loin dans le cas des travaux forêt-faune.

Ce sont notamment ces agences qui sont en contact direct avec les propriétaires privés.

Quant à la majeure partie des forêts publiques de la région (couvrant au total environ 1 700 km^2), leur gestion était jusqu'ici confiée aux industriels de transformation du bois, par attribution de contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF). Cependant, cette gestion est en passe d'être prise en charge par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec suite au changement de régime forestier. Cette gestion doit répondre aux mêmes objectifs qu'en forêt privée : favoriser le développement durable de l'ensemble des ressources du milieu forestier.

Le milieu forestier est une source importante d'emplois en Chaudière-Appalaches. En 2003, on comptait 262 entreprises de transformation du bois (80 en première transformation, et 185 en seconde et troisième transformation). Plus de 9 600 personnes travaillaient dans le secteur forestier et dans la transformation du bois, soit 17,4 % de la population active des secteurs primaire et manufacturier combinés. L'exportation régionale des produits forestiers manufacturés représentait plus d'un milliard de dollars canadiens (Arbour, 2003).

Cependant, la ressource ligneuse n'est pas la seule source de retombées économiques liées à la forêt dans la zone d'étude. En effet, la faune (chasse, observation) et la récréation (activités de plein air) sont des sources de revenus non négligeables (voir le 1.2.1.2.). Diverses organisations et entreprises exploitent cette manne (zones d'exploitation contrôlée de la faune, pourvoiries sans droit exclusif, entreprises assurant l'hébergement ou la restauration des récréationnistes, etc.).
Ainsi, les retombées économiques du milieu forestier sont très importantes pour la région, la forêt étant l'une des deux principales ressources naturelles de la Chaudière-Appalaches, avec les richesses de son sous-sol.

On constate donc que l'influence anthropique sur la forêt et l'importance économique de celle-ci sont deux éléments très importants au sein de la zone d'étude. Or, il apparaît que les modifications liées à certaines activités anthropiques en forêt pourraient porter préjudice à certaines ressources forestières (ressources fauniques, Harvey, 2009). Cela a conduit les acteurs forestiers locaux à mener le projet auquel cette étude est intégrée.

1.2. Présentation du projet servant de cadre à la présente étude

1.2.1. Problématique de la zone d'étude

1.2.1.1. Intensification de l'aménagement forestier local

On a vu que les forêts de la zone d'étude sont relativement productives, faciles d'accès et proches des zones de consommation. Les forêts de la Chaudière-Appalaches subissent par conséquent une pression sylvicole assez forte, d'autant plus que l'abaissement de 20 % des possibilités forestières dans les forêts du domaine de l'État (suite au dépôt du rapport de la Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise en 2004), a conduit à l'identification des forêts privées de la région comme une source d'approvisionnement incontournable pour pallier cette baisse (Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière, 2007). Or la majeure partie du potentiel forestier en Chaudière-Appalaches est contenue dans les forêts jeunes (< 50 ans) en reconstruction. Elles représentent ainsi 60 % de l'ensemble du volume marchand brut disponible dans la région (Arbour, 2003). Selon les acteurs forestiers régionaux, ce potentiel doit donc être mis en valeur par des travaux sylvicoles pour pouvoir augmenter la possibilité forestière régionale à moyen et à long terme.
Suivant la tendance générale, l'aménagement de ces forêts s'est donc intensifié au cours des dernières décennies. Plantations et travaux d'éducation des peuplements (notamment éclaircies précommerciales sur les jeunes peuplements et éclaircies commerciales sur les peuplements plus âgés) se sont multipliés et correspondent à présent à une proportion non négligeable du paysage forestier régional. Ainsi, en 2000, les plantations et les peuplements naturels ayant subi une éclaircie précommerciale datant tous deux de moins de 60 ans représentaient respectivement près de 900 et 200 km² en forêt privée, soit combinés plus de 10 % de la surface totale de la forêt privée en Chaudière-Appalaches (Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière, 2007).
Afin de poursuivre cet effort et d'optimiser les investissements mis en jeu, de nouvelles plantations, éclaircies précommerciales (sur les plantations et les peuplements naturels jeunes) et commerciales (sur les plantations et peuplements plus âgés ayant subi une éclaircie précommerciale) devront être appliquées. Ainsi, à l'échelle régionale, les éclaircies commerciales pourraient concerner près de 360 km² en forêts publiques (Harvey, 2009), et plus de 1 000 km² en forêt privée (Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière, 2007) d'ici une vingtaine d'années (soit respectivement plus de 20 % et 10 % de leurs surfaces respectives totales).
Ces plantations et travaux font l'objet de programmes de subventions publiques, car le gouvernement y voit un moyen d'augmenter la productivité de ces forêts, mais surtout de permettre l'entretien de l'économie forestière et de nombreux emplois régionaux. En 2001, les travaux sylvicoles (dont les plus communs étaient alors l'éclaircie précommerciale, le reboisement, le regarnissage et l'entretien des plantations) ont en effet représenté près de 1,8 M$ d'investissements en forêt publique et 6,5 M$ en forêt

privée, fournissant un emploi saisonnier à plus de 470 personnes (Arbour, 2003). De plus, depuis 2004, une enveloppe d'environ 1 M$ est versée annuellement par l'administration publique québécoise afin de financer ces travaux en Chaudière-Appalaches.

L'intensification de l'aménagement forestier est donc un enjeu essentiel du contexte forestier actuel en Chaudière-Appalaches.

1.2.1.2. Enjeux forêt-faune en résultant

Cependant, un premier constat doit être établi : on connaît assez mal l'effet sur la faune des différentes opérations sylvicoles présentées ci-dessus dans le contexte de la zone d'étude. L'impact des plantations, éclaircies précommerciales et commerciales sur les populations fauniques a en effet fait l'objet de peu de recherches dans le domaine de l'érablière à Bouleau jaune et les recherches réalisées dans les autres domaines bioclimatiques s'appliquent plus ou moins difficilement à la réalité des forêts de la zone d'étude.
Toutefois, selon la plupart des études réalisées au Québec, les peuplements éduqués et surtout les plantations sont considérés comme fauniquement pauvres, car les modifications qu'ils apportent à la composition, à la structure ou encore à la richesse en éléments fauniques (tels les débris ligneux et les chicots) des peuplements dits «naturels» seraient défavorables pour la faune. Ces résultats semblent toutefois devoir être modulés selon les espèces et groupes fauniques, et selon la période de l'année (Breton, 2000 ; Sansregret, 2000 ; Blanchette et al., 2003 ; Harvey, 2009).

Or la faune constitue un double enjeu important pour les forêts de la Chaudière-Appalaches :

– un enjeu économique, reconnu depuis longtemps, car la faune est une source de revenus non négligeable. De nombreuses espèces fauniques sont en effet chassées ou trappées, comme le Lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*) ou le Cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*). Les activités de prélèvement faunique (chasse, trappage) auraient représenté au moins 60 M$ de dépenses en 2001 (permis de chasse, hébergement, etc.), permettant de soutenir près de 520 emplois. Elles constituent en outre un élément culturel important (Arbour, 2003). Les activités cynégétiques et de trappage ne sont pas les seules à tirer parti de la ressource faunique, car les activités fauniques sans prélèvement (observation par exemple) sont également un secteur en plein développement. La Chaudière-Appalaches attire en outre des amateurs de la faune provenant d'autres régions, puisqu'elle accueille, par an, près de 100 000 visiteurs pratiquant des activités touristiques liées à la faune (pêche et chasse sportives, activités fauniques sans prélèvement), ce qui représente des dépenses de près de 20 M$, une valeur ajoutée de plus de 5 M$ et maintient plus de 160 emplois (MRNF, 2007).

– un enjeu écologique, dont la légitimité n'a été reconnue que plus récemment. Près de 500 espèces de vertébrés ont été recensées en Chaudière-Appalaches, soit 72 % de toutes les espèces vertébrées du Québec. Au moins 20 d'entre elles sont en situation précaire (Arbour, 2003). Certaines espèces sensibles aux modifications des caractéristiques forestières occupent une place essentielle dans les écosystèmes, tel le Lièvre d'Amérique (voir le 2.2.).

En modifiant potentiellement la qualité d'accueil des peuplements forestiers pour la faune, les travaux sylvicoles et les plantations pourraient donc avoir des conséquences négatives sur l'écologie et l'économie du milieu forestier régional.

1.2.2. Mesures d'atténuation

Pour pallier l'impact potentiel des travaux sylvicoles et des plantations sur la faune, diverses mesures d'atténuation ont été développées. Elles sont connues sous le nom de «travaux forêt-faune». Ces travaux visent à concilier aménagement forestier et besoins en terme d'habitat des espèces fauniques du milieu, permettant ainsi de mener une gestion intégrée (multifonctionnelle) des ressources forestières (cette gestion intégrée étant un principe directeur récent de la gestion des forêts québécoises).

Un *cahier d'instructions techniques Travaux forêt-faune* a été élaboré dans le cadre du projet *Gestion intégrée du milieu forestier de la Chaudière*, présenté par l'Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière, en collaboration avec plusieurs partenaires. Ce cahier présente les modalités d'application d'une vingtaine de types de travaux forêt-faune. Ces travaux ont pour but de maintenir des conditions favorables minimales au maintien des espèces fauniques en permettant, par exemple, de conserver des îlots non coupés lors de la régénération des peuplements, de préserver certaines espèces végétales importantes pour la faune tels les arbustes fruitiers, ou encore de maintenir une diversité suffisante d'essences arborées (Désy, 2008). Une période d'application de ces travaux est également parfois préconisée, afin de minimiser les impacts sur la faune.

Ces travaux font l'objet de subventions importantes, notamment depuis 2006 dans le cadre du *Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier – volet II* (PMVRMF–II), géré par la Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches. En 2007-2008, 60 % du budget de ce programme a été accordé à la réalisation des travaux forêt-faune, soit environ 600 000 $ (Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière, 2007). Outre le fait qu'ils sont susceptibles d'atténuer les impacts négatifs des travaux sylvicoles sur la faune et d'augmenter à terme la possibilité forestière régionale, ces travaux forêt-faune permettent d'employer une main-d'oeuvre importante, ce qui renforce leur importance économique (et justifient d'autant plus les subventions régionales).

1.2.3. Projet d'évaluation de l'efficacité des mesures d'atténuation

1.2.3.1. Raison d'être et acteurs de ce projet

Ces travaux forêt-faune sont issus des plus récentes connaissances liées aux relations forêt–faune. Cependant, leur efficacité dans le contexte forestier de la Chaudière-Appalaches n'a encore jamais été évaluée. Leurs effets sur les rendements forestiers ne sont pas non plus connus. Compte-tenu des investissements publics déjà réalisés dans de nombreux peuplements, des subventions allouées à la réalisation des travaux forêt-faune et de l'ampleur de ces travaux à l'échelle régionale, il est essentiel de s'assurer que ceux-ci ne vont pas à l'encontre des objectifs de rendement sylvicoles, ou au moins que les bénéfices fauniques qu'ils permettent compensent les pertes potentielles en rendement forestier.
Ce sont les raisons pour lesquelles un projet d'évaluation de l'efficacité des travaux forêt-faune a été mis en place.
Ce projet est coordonné par l'Agence de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière, tandis que le MRNF (Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats et Direction générale régionale Capitale-Nationale/Chaudière-Appalaches) fournit l'expertise nécessaire à l'élaboration du projet et à l'analyse des données recueillies. Le protocole expérimental (exposé dans la section 2.) a en particulier été confié au Service de la faune terrestre et de l'avifaune du MRNF. D'autres partenariats ont été établis, comme avec l'Agence de mise en valeur des forêts privées des Appalaches ou la Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches.

L'intitulé complet du projet est le suivant :
Plantations et peuplements éduqués : évaluation de leur valeur faunique et de mesures d'atténuation pour le maintien de la biodiversité régionale.

1.2.3.2. Objectifs du projet

Les objectifs du projet ne se limitent pas à l'évaluation de l'efficacité des travaux forêt-faune, mais visent à répondre aux interrogations exposées précédemment. En résumé, quatre objectifs principaux ont été déterminés :

– évaluer les effets sur la faune et la productivité forestière de certains travaux forêt-faune,

– identifier, au besoin, d'autres mesures d'atténuation appropriées qui pourraient s'appliquer au contexte des forêts privées ou publiques en Chaudière-Appalaches,

– évaluer l'impact sur la faune des éclaircies commerciales dans les peuplements traités en éclaircie précommerciale et les plantations, en regard de la vague de nouveaux travaux à venir,

– déterminer de façon générale la valeur faunique des plantations et des peuplements éduqués.

L'objectif global du projet est de s'intégrer à un processus d'aménagement adaptatif, conjuguant évaluation de l'efficacité des actions menées et amélioration de celles-ci en fonction des conclusions de l'évaluation, de façon à appliquer une gestion forêt-faune plus efficace.

1.2.3.3. Réalisation du projet

L'échéancier du projet, déposé en 2007, est présenté ci-dessous dans une version simplifiée :

– actions déjà réalisées :

• 2008–2009 : validation du dispositif expérimental (espèces cibles et méthodologie), sélection des sites en forêt privée et publique, ententes avec les propriétaires et mise en place du dispositif,
• 2009 : prise de données avant traitements sylvicoles et compilation des données,

– actions prévues ou en cours

• 2010–2011 : application des travaux sylvicoles,
• 2011–2012 : première année de prise de données après traitement et compilation des données,
• 2012–2013 : deuxième année de prise de données après traitement, compilation des données, analyse des résultats, recommandations, rédaction du rapport final, diffusion des résultats.

L'avenir à moyen terme du projet (10-15 ans) reste encore à définir.

L'étude réalisée dans le cadre du stage de fin d'études concerne le résultat des actions déjà menées en 2008 et 2009.

1.3. Objectifs de l'étude

1.3.1. Énoncé des objectifs de l'étude

Les actions menées dans le cadre du projet au cours des années 2008 et 2009 permettent d'ores et déjà d'apporter des réponses à certaines des interrogations qui ont justifié ce projet. L'objectif de cette étude est donc d'exploiter les informations relevées en 2009 pour répondre à un des objectifs du projet global :

– déterminer de façon générale la valeur faunique des plantations et des peuplements éduqués.

On peut reformuler cet objectif global en plusieurs interrogations, présentées ci-dessous. Le but concret de l'étude réalisée dans le cadre du stage sera donc d'apporter des réponses à ces questions.

– l'aménagement des peuplements forestiers (plantations, éducation) a-t-il un impact sur la faune ?
– quelles espèces fauniques sont éventuellement affectées ?
– de quelle façon (positive, négative) ces espèces sont-elles affectées ?
– pourquoi ces espèces sont-elles affectées ? (c'est à dire quelles particularités des plantations et de l'éducation des peuplements affectent éventuellement la faune ?).

Attention : On insistera sur le fait que cette étude ne concerne pas les effets sur la végétation et la faune des travaux forêt-faune (ces travaux n'ayant pas encore été réalisés), mais de l'aménagement forestier ayant été appliqué à ces peuplements il y a au moins une quinzaine d'années (plantation, travaux sylvicoles).

Ces interrogations sont, comme on l'a vu plus haut, à la base du projet global. En effet, la réponse à ces questions peut permettre, entre autres :

— de justifier ou non l'intérêt des travaux forêt-faune dans les forêts de Chaudière-Appalaches,

— d'en moduler la nature, les principes, et les modalités d'application, dans le cadre d'un aménagement adaptatif,

— d'optimiser l'importance et la répartition des aides financières et techniques selon les différents types de travaux et de peuplements.

1.3.2. Travail réalisé dans le cadre du stage

L'étude réalisée s'appuie sur les données relevées durant l'année 2009. Ces données sont présentées dans la section 2. Les travaux suivants ont ainsi été effectués dans le cadre du stage :

- prise de connaissance du protocole expérimental et du contenu de la base de données,
- vérification et correction de la base de données,
- transformation des données brutes afin d'en tirer des variables utilisables et pertinentes pour la suite du travail,
- recherche de données complémentaires pertinentes afin de compléter les informations de la base de données,
- recherche des analyses statistiques pertinentes à réaliser,
- réalisation des analyses statistiques sur le contenu de la base de données,
- exploitation, interprétation et discussion des résultats des diverses analyses.

Tous ces travaux ont été réalisés en s'appuyant sur la littérature disponible sur les différents sujets.

Du travail de terrain a également été réalisé lors de la période de stage, sur des projets proches du présent projet.

1.3.3. Déroulement et encadrement du stage

Ce stage a été effectué au ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, au sein du Service de la faune terrestre et de l'avifaune, à qui a été confiée l'expertise scientifique du projet. Le stage s'est déroulé du 5 janvier 2010 au 30 juin 2010.

L'encadrement en a été assuré par M. Pierre Blanchette, de la direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, Ph. D. en biologie. C'est à M. Blanchette qu'a été confié l'élaboration du protocole expérimental du projet.

2. Matériel et méthodes

La nature des données collectées et la répartition des sites de relevé ont été établies afin de répondre aux interrogations soulevées dans le cadre du projet :

— quelles sont les différences entre peuplements naturels, plantations et peuplements éduqués, en termes de caractéristiques de la végétation (composition, structure, etc.) ?

— quelles sont les différences entre ces différents types de peuplements quant à leur fréquentation par les espèces fauniques ?

— quels sont les effets des traitements sylvicoles (forêt-faune, classiques, pas de traitement) sur les caractéristiques des différents types de peuplements et sur leur fréquentation par la faune ?

Le plan d'échantillonnage et les différentes données relevées sont exposés dans la suite. Ces choix et l'élaboration du protocole expérimental sont le résultat du travail de M. Blanchette.

2.1. Échantillonnage des peuplements

2.1.1. Zone géographique couverte par le plan d'échantillonnage

Comme on l'a vu précédemment, la zone d'étude correspond au territoire du domaine bioclimatique de l'érablière à Bouleau jaune en Chaudière-Appalaches, même si quelques relevés ont également été réalisés dans les domaines de l'érablière à tilleul et de la sapinière à Bouleau jaune dans cette région (voir carte 7).

2.1.2. Plan d'échantillonnage théorique

Afin de comparer les caractéristiques forestières et fauniques des différents peuplements :

• trois *natures* de peuplements ont été inventoriées :

— des peuplements naturels, c'est-à-dire issus de régénération naturelle après une coupe à blanc, et n'ayant jamais subi de travaux sylvicoles (code : PN),

— des peuplements éduqués, c'est-à-dire issus de régénération naturelle mais ayant subi des travaux sylvicoles (éclaircie précommerciale, lorsque les tiges ont atteint 3 m de hauteur environ), il y a généralement une vingtaine d'années (code : PE),

— des plantations, c'est-à-dire des peuplements issus de régénération artificielle et ayant pour la plupart subi un dégagement 2 à 3 ans après la plantation et une éclaircie précommerciale lorsque les tiges ont atteint 3 m de hauteur environ (code : PL).

Les peuplements naturels servent de peuplements témoins dont les paramètres de végétation et les caractéristiques fauniques seront comparés à ceux des plantations et des peuplements éduqués.

• pour chaque nature de peuplement, deux *stades* de développement ont été inventoriés :

— des peuplements jeunes dont la hauteur de la strate dominante ou des arbres plantés est comprise entre 1,5 et 5 mètres (code : 3m),

— des peuplements plus développés, dont les arbres de la strate dominante ou plantés sont âgés de 20 à 40 ans (code : 30).

Ces deux stades ont été choisis en fonction des normes régissant les éclaircies commerciales et précommerciales, éclaircies étudiées dans ce projet. Les éclaircies commerciales doivent être réalisées sur des peuplements dont la surface terrière est comprise entre 23 et 33 m^2/ha et 15 ans au moins avant la coupe finale, soit idéalement entre 25 et 35 ans pour les plantations, et entre 40 et 70 ans pour les peuplements naturels, d'où le choix d'un intervalle d'âges assez large (20 à 40 ans). La norme régissant

les éclaircies précommerciales stipule que celles-ci doivent être réalisées lorsque la hauteur des tiges du peuplements est comprise entre 2 et 6 m, d'où l'utilisation d'un intervalle de hauteurs.
N.B. : Un peuplement ne pouvant faire l'objet d'une éclaircie précommerciale que passé un certain âge, les peuplements éduqués n'ont été échantillonnés que dans le stade 30.
Comparer ces deux stades de développement doit permettre d'obtenir un indice de l'évolution des paramètres de la végétation et des caractéristiques fauniques des peuplements au cours du temps.

• un troisième niveau d'échantillonnage a été mis en place, mais il ne concerne pas l'étude réalisée dans le cadre du stage. Il s'agit de la nature des *traitements* qui seront appliqués aux peuplements (en 2010-2011 si l'échéancier est respecté), afin de pouvoir en étudier les impacts sur la faune et les paramètres de la végétation :

— peuplements traités de façon conventionnelle, c'est-à-dire par des travaux ne présentant aucune mesure d'atténuation particulière des effets potentiels sur la faune (code : REG),

— peuplements traités par des travaux forêt-faune, c'est-à-dire avec des mesures d'atténuation des effets potentiels sur la faune (code : FF),

— peuplements témoins, c'est-à-dire non traités (code : TEM).

Les traitements forêt-faune étudiés dans le cadre du projet (les plus communément appliqués sur le terrain) s'appliquant uniquement aux peuplements jeunes, on n'obtiendra la modalité «FF» que pour les peuplements de stade «3m». De plus, par manque de sites potentiels de peuplements naturels âgés de 20 à 40 ans, seuls 10 sites PN30 ont été retenus et ont tous été attribués au traitement témoin, afin de permettre la comparaison avec les autres traitements. On obtient donc uniquement des relevés «PN30TEM».

Pour chaque combinaison nature × stade × traitement, dix relevés (réplications) devaient être réalisés afin de permettre une validité satisfaisante des résultats. On obtenait donc la répartition des relevés présentée dans l'annexe 4. Dans la suite, les peuplements étudiés sont désignés sous le terme de «sites de relevé».

L'approche expérimentale est de type BACI (before-after control-impact). Cette approche permet d'isoler l'effet des traitements sur la faune, en comparant les caractéristiques des peuplements avant et après l'application de ces traitements et en contrôlant un maximum de facteurs.

2.1.3. Choix des sites étudiés

Afin de répartir les relevés sur le territoire, une première sélection des peuplements présents dans la zone d'étude a été réalisée. Les sites correspondant aux exigences du plan d'échantillonnage ont été identifiés grâce aux connaissances des agents forestiers des agences de mise en valeur des forêts privées, et grâce aux informations fournies par les bases de données forestières pour la forêt publique. Afin de limiter les facteurs de variation qui pourraient biaiser les résultats, les peuplements étudiés devaient en outre, dans la mesure du possible :

— présenter une forte dominance résineuse (notamment épinettes et Sapin baumier),

— présenter des dépôts de surface homogènes (tills indifférenciés),

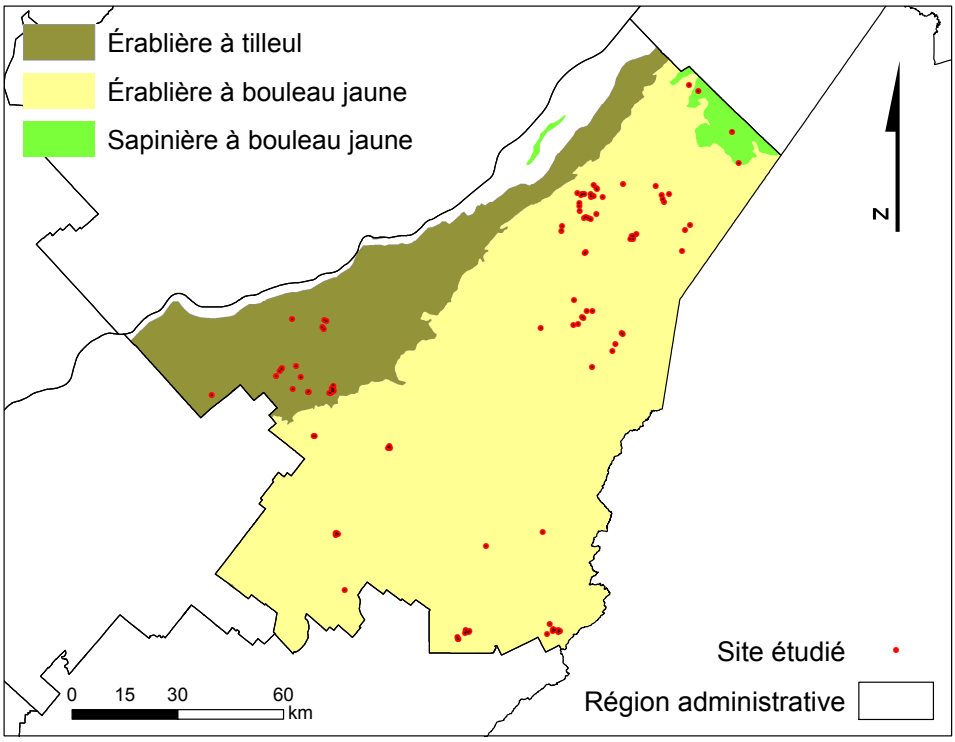
— être caractérisées par des classes de drainage homogènes (drainage modéré à mauvais).

Cela correspond globalement aux conditions écologiques classiques occupées par les peuplements forestiers à objectif de production ligneuse dans la zone d'étude, les zones agricoles et l'acériculture occupant généralement les terrains plus riches à drainage bon à mésique où on trouve habituellement les peuplements feuillus. L'accessibilité des sites a également été prise en compte. En revanche, la rareté des sites potentiels n'a pas permis de se montrer plus exigeant quant aux caractéristiques des sites : la profondeur de sol et l'exposition n'ont par exemple pas été pris en compte.
Une visite des sites sélectionnés a permis de vérifier s'ils remplissaient bien toutes les exigences du plan d'échantillonnage. Les sites non satisfaisants ont été remplacés.
Une dispersion des sites était souhaitée afin que l'étude couvre la plus grande surface possible, et donc une variété de contextes paysagers relativement importante (proportions surfaciques des différentes utilisations du sol, types de peuplements, etc. à l'échelle du paysage). Cependant le manque global de

peuplements remplissant certaines des conditions exigées a conduit au regroupement de plusieurs sites d'étude.
C'est le plan d'échantillonnage résultant de ce processus qui a été inventorié sur le terrain.

2.1.4. Échantillonnage effectivement réalisé

Cependant, diverses modifications ont été apportées à ce plan d'échantillonnage théorique au cours du projet. Trois propriétaires possédant des plantations jeunes (PL3m) ont finalement refusé de signer l'entente stipulant qu'ils n'appliqueraient pas de traitement à ces peuplements (TEM), pour des raisons financières. Une erreur de terrain a conduit à la transformation d'un relevé PE30-TEM en PN30-TEM. Les relevés de végétation d'un des sites PL3m-FF n'ont visiblement pas été réalisés (les relevés fauniques l'ont en revanche été).
On obtient finalement l'échantillonnage effectivement réalisé présenté dans l'annexe 4. La répartition géographique des relevés est représentée sur la carte 7. Au total, 107 sites ont été échantillonnés, dont 80 en forêt privée et 27 en forêt publique.



Carte 7 : Localisation des sites étudiés.
D'après les données et la base cartographique du MRNF.

Les données relevées dans les sites étudiés sont précisées dans la section 2.3.

2.2. Espèces fauniques étudiées

Afin d'évaluer les différences éventuelles de fréquentation des peuplements par la faune selon leur nature et leur stade, ainsi que les effets des traitements sylvicoles qui sont appliqués à ces peuplements, quatre espèces ou groupes fauniques ont été retenus pour servir de base à l'étude : le Lièvre d'Amérique, le Tétras du Canada, les oiseaux et les amphibiens et reptiles. Cette sélection s'est faite selon l'importance des espèces et des groupes fauniques dans l'écosystème, leur qualité en tant

qu'indicateur des caractéristiques du milieu, leur éventuelle importance économique, et la facilité à en identifier la présence, voire l'abondance.

– le Lièvre d'Amérique :

Ce léporidé a été choisi pour servir de support à l'étude pour plusieurs raisons :

• c'est une espèce de forte importante économique. En effet, le Lièvre d'Amérique est un gibier très apprécié des chasseurs et des trappeurs : il arriverait à la première place des gibiers les plus exploités au Québec (Gauthier *et al.*, 2008), avec toutes les implications économiques que cela sous-entend (dépenses courantes et durables liées à la chasse ou au colletage du lièvre),

• le Lièvre d'Amérique possède une importance essentielle dans les écosystèmes boréaux. C'est une source de nourriture importante pour de nombreux prédateurs, comme le Renard roux, le Vison d'Amérique, le Harfang des neiges, le Hibou grand-duc, et plusieurs autres rapaces et mammifères. Son plus grand prédateur est cependant le Lynx du Canada, dont les fluctuations des populations sont intimement liées aux cycles démographiques du lièvre (cycles de 10 ans environ – Prescott et Richard, 2004). Cette importance est probablement un peu plus faible dans le sud du Québec (et donc en Chaudière-Appalaches), mais le lièvre reste une proie importante pour plusieurs espèces méridionales comme le Lynx roux, le Coyote, plusieurs rapaces (Gauthier *et al.*, 2008). On peut donc considérer le Lièvre d'Amérique comme une espèce clé de nombreux écosystèmes québécois.

Il faut par conséquent veiller à ce que les populations du Lièvre d'Amérique se maintiennent à un niveau suffisant, afin de préserver l'équilibre des écosystèmes et la qualité de la chasse en Chaudière-Appalaches.

• le Lièvre d'Amérique fréquente les habitats lui offrant un couvert de protection efficace et, secondairement, une nourriture abondante (Blanchette *et al.*, 2003 ; Gauthier *et al.*, 2008). Il affectionnerait ainsi les zones de transition entre peuplements d'âges, de hauteur, de densité, de composition différents fournissant un couvert continu (Ferron *et al.*, 1996), notamment les peuplements de jeunes conifères, au couvert arbustif dense et au couvert arboré modéré (Gauthier *et al.*, 2008). Cette espèce est potentiellement sensible aux altérations de son milieu d'accueil, comme celles induites par les travaux sylvicoles, ou aux éventuelles différences entre peuplements naturels et plantations. C'est donc une espèce particulièrement intéressante dans le cadre de notre étude,

• c'est une espèce globalement abondante (en faisant abstraction des fluctuations cycliques de ses populations). En hiver, la taille de son domaine vital est de 2 à 4 ha, et celle de son noyau («*core area*», aire où l'on retrouve 50 % des localisations télémétriques) de 0,2 à 0,3 ha seulement (Beaudoin *et al.*, 2004). Sa présence est facilement repérable et quantifiable grâce au décompte de ses fèces (Krebs *et al.*, 2001 ; Murray *et al.*, 2002).

Figure 1 : Lièvre d'Amérique. *Photographie : Susan Teel.*

– le Tétras du Canada :

Ce phasianidé a lui aussi été choisi pour plusieurs raisons :

• c'est également un gibier apprécié des chasseurs, il possède donc une importance économique certaine (le tétras serait en effet à la quatrième place des petits gibiers les plus prélevés au Québec ; Gauthier *et al.*, 2008),

• le Tétras du Canada est un oiseau des forêts résineuses pures ou à forte dominance résineuse (Ferron *et al.*, 1996 ; Paquin et Caron, 1998 ; Gauthier *et al.*, 2008), qui affectionnerait les peuplements relativement ouverts développant un couvert arbustif dense (Ferron *et al.*, 1996 ; Gauthier *et al.*, 2008). Le Tétras du Canada est à la limite méridionale de son aire de répartition en Chaudière-Appalaches, cette espèce se rencontrant habituellement en forêt boréale. Le tétras y est donc probablement plus sensible aux modifications des caractéristiques de son milieu d'accueil que dans les régions plus septentrionales, les habitats lui étant favorables se raréfiant au sud. Cette sensibilité aux effets potentiels de l'altération des forêts par l'homme (diminution du couvert arbustif ou modification de la composition en essences par les travaux forestiers par exemple) en fait une espèce indicatrice intéressante,

• bien que moins abondant que le Lièvre d'Amérique, le Tétras du Canada est facilement repérable, par exemple en le stimulant par émission d'un chant de femelle enregistré au printemps.

– les oiseaux :

Ce groupe faunique a été choisi pour deux raisons principales :

• les oiseaux sont connus pour avoir des exigences souvent fortes quant aux caractéristiques de leur milieu d'accueil. Ils constituent donc de bons indicateurs des caractéristiques du milieu, mais aussi un pan de la biodiversité potentiellement sensible aux répercussions des activités humaines en forêt (Villard et Guénette, 2005). On citera par exemple l'impact de l'appauvrissement en bois mort sur pied des forêts aménagées sur les oiseaux cavicoles (Darveau et Desrochers, 2001 ; Crête *et al.*, 2004). Ce groupe faunique est donc particulièrement intéressant pour notre étude,

• les oiseaux sont en outre un groupe faunique abondant et diversifié, dont l'observation et l'identification sont généralement aisées pour peu que l'on dispose d'une main d'oeuvre compétente et de techniques appropriées. Les oiseaux chanteurs sont par exemple facilement repérables et identifiables par inventaire auditif (points d'écoute par exemple). D'autres techniques permettent d'inventorier activement d'autres oiseaux d'ordinaire plus discrets ou rares, comme l'appel ou le houspillage (voir 2.3.2.).

– les amphibiens et reptiles :

Les membres de cet autre groupe faunique sont également sensibles à certaines caractéristiques des peuplements forestiers. Ils seraient par exemple sensibles à l'humidité du sol, souvent liée à l'ouverture du couvert végétal, et aux débris ligneux au sol. Relativement nombreux et diversifiés dans le milieu forestier, ils sont facilement repérables grâce à des méthodes appropriées (voir 2.2.2.), et leur présence peut être exploitée pour évaluer les caractéristiques écologiques d'un milieu et leurs évolutions.

2.3. Données collectées

Afin de pouvoir répondre aux objectifs du projet, diverses données ont été collectées sur le terrain, sur chaque site de relevé prévu par le plan d'échantillonnage. Elles concernent principalement les caractéristiques de la végétation et les caractéristiques fauniques des sites. Une description en est donnée ci-dessous. La liste exhaustive de toutes les variables (de végétation, fauniques et de paysage) citées dans le rapport est présentée en annexe 6.

2.3.1. Données de végétation

Diverses données caractérisant la végétation ont été relevées dans chacun des sites. Dans le cadre de l'étude, ces données doivent permettre de répondre à deux objectifs principaux :

– comparer la structure et la composition végétales des différents types de peuplements,

– sachant que certains paramètres de végétation sont importants pour la faune, évaluer ces paramètres pour les peuplements à l'étude et ainsi chercher à expliquer les différences de fréquentation de ces peuplements par les espèces fauniques étudiées.

Comme la forme des peuplements échantillonnés est variable, les données ont été relevées le long d'une ou plusieurs virées d'une longueur totale de 200 m, réparties uniformément dans le peuplement, à au moins 50 m de toute bordure (route forestière, autre peuplement, etc.), et à au moins 30 m l'une de l'autre pour éviter la pseudoréplication. Le schéma d'une parcelle type pour la description des caractéristiques de la végétation des sites étudiés est présenté en annexe 7.

Les données brutes ont ensuite été transformées en variables exploitables dans les analyses statistiques (par exemple : transformation des indices de recouvrement herbacé en pourcentages de recouvrement, transformation de la longueur de bois mort au sol interceptée en un volume de bois mort au sol). La liste des données de végétation utilisées dans le cadre de l'étude est donnée ci-dessous.

– couvert forestier vertical :

évalué à l'aide de la méthode de l'intersection sur la ligne (Bertrand et Potvin, 2003). La présence ou l'absence d'un couvert ligneux (total, feuillu, résineux) au dessus de la corde marquant la virée est notée tous les 10 m (soit 22 mesures) pour trois classes de hauteur (0,5 à 1 m = arbustif bas, 1 à 4 m = arbustif haut, et > 4 m = arborescent). Ces mesures de présence/absence ont été transformées en pourcentage de couvert moyen pour le site de relevé pour chaque groupe (total, feuillu, résineux) et pour chaque classe de hauteur.

– couvert latéral :

évalué à l'aide de la planche à profil de 2 m de hauteur et 30 cm de largeur positionnée à 15 m de l'observateur, perpendiculairement à la virée (Nudds, 1977). Le pourcentage visible de la surface de la planche est évalué par un observateur situé sur la ligne de virée, par classe de 0,5 m de hauteur. Six mesures ont ainsi été effectuées le long de la virée (tous les 50 m). Les pourcentages de visibilité ont été transformés en pourcentage d'obstruction moyen pour le site de relevé pour chaque classe de hauteur. La moyenne sur les 4 classes de hauteur a également été calculée.

– recouvrement de la végétation :

concerne la végétation herbacée et la végétation ligneuse basse (< 0,6 m). Le recouvrement a été estimé visuellement par indices relatifs de recouvrement (type +, 1, 2, ..., 5) dans 6 microparcelles circulaires de 4 m^2 (rayon = 1,13 m) réparties tous les 50 m le long de la virée. Les estimations ont été faites pour les types de végétation suivants : toutes herbacées confondues, herbacées latifoliées (*i.e.* avec de vraies feuilles), graminoïdes, fougères, groupe framboisiers–mûres–gadeliers, groupe prêles–lycopodes, mousses, lichens, végétation ligneuse basse totale, résineuse, feuillue et du genre *Vaccinium*.
Les indices relatifs de recouvrement ont été transformés en pourcentage de recouvrement moyen par site de relevé et par type de végétation, en remplaçant chaque indice par le pourcentage médian de la classe lui correspondant (ex. : l'indice 3 correspondant à une classe de recouvrement de 26 à 50 % a été remplacé par la valeur de 38 %).

Des données concernant les arbres (diamètre à hauteur de poitrine : dhp > 9 cm), les gaules (dhp < 9 cm et hauteur > 0,60 m) et les chicots (arbres morts de dhp > 9 cm et de hauteur > 1,3 m) ont été relevées le

long de la virée à 0, 100 et 150 m, dans des parcelles de 400 m² (rayon = 11,28 m) pour les arbres et les chicots, et de 40 m² (rayon = 3,57 m) pour les gaules.

— données concernant les arbres :

Le dhp de tous les arbres a été mesuré à l'aide d'un ruban circonférenciel (au mm près) à l'intérieur de la parcelle de 400 m². L'essence de ces arbres a également été relevée.
Ces données ont été rassemblées par groupes d'espèces : feuillus tolérants (essence feuillues dont la croissance et la reproduction peuvent se faire sous un couvert raisonnable), feuillus intolérants (essences feuillues dont la croissance et la reproduction sont compromises sous couvert), feuillus arbustifs, Sapin baumier, épinettes, autres résineux (inspiré de Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et Forêt Québec, 2008). La composition précise de ces groupes est indiquée à l'index 1. Pour chacun de ces groupes et pour chaque site de relevé ont été calculés le diamètre quadratique moyen et le pourcentage de la surface terrière totale. Pour chacun des regroupements suivants : feuillus, résineux, toutes essences confondues ; la densité de tiges à l'hectare et la surface terrière ont également été calculées pour chaque site.

— données concernant les gaules :

Toutes les gaules ont été dénombrées à l'intérieur de la parcelle de 40 m². Les densités moyennes de gaules résineuses, feuillues et toutes essences confondues, ont été calculées pour chaque site de relevé.

— données concernant les chicots :

Tous les chicots ont été dénombrés à l'intérieur de la parcelle de 400 m². Leur diamètre a été mesuré (avec la même méthode que pour celui des arbres), ainsi que leur hauteur (aux 10 cm près à l'aide d'un dendromètre électronique) et leur classe de dégradation. L'essence des chicots a été relevée lorsque cela était possible. Le diamètre moyen, la hauteur moyenne, la classe moyenne de dégradation, le volume total à l'hectare (à l'aide de la formule du cylindre) et la densité totale des chicots ont été calculés pour chaque site. Aucune distinction d'essences n'a cette fois été appliquée.
Les stades de dégradation des chicots sont explicités en annexe 8 (arbres debout).

— données concernant les débris ligneux au sol :

Le recouvrement des débris ligneux au sol (de diamètre > 9,0 cm et de longueur > 1,5 m) a été évalué par la méthode d'intersection (Bertrand et Potvin, 2003) sur des lignes de 15 m de longueur, débutant à tous les 50 m le long de la virée. Afin de tenir compte de l'effet des vents dominants sur la répartition des débris ligneux, les mesures ont été prises alternativement dans le sens de la virée et perpendiculairement à cette dernière.
Le diamètre des débris au point d'intersection avec la ligne de virée a été mesuré perpendiculairement à leur axe longitudinal. Cette mesure a permis d'estimer le volume de débris ligneux au sol à l'hectare, grâce à la formule de Van Wagner (1968). Le stade de dégradation des débris a également été relevé et sa moyenne calculée pour chaque site de relevé. Les stades de dégradation des débris ligneux au sol sont explicités en annexe 8.

D'autres données ont également été relevées, mais elles n'ont pas servi dans cette étude. Certaines seront en revanche utiles pour comparer l'effet des différents types de traitement sylvicoles dans la suite du projet (mesures sur certaines gaules et certains arbres objectif par exemple).

2.3.2. Données fauniques

Des données ont été également relevées sur le terrain pour caractériser la présence ou l'abondance des différentes espèces et groupes fauniques présentés plus haut. Ceci doit permettre de comparer la valeur faunique des différents types de peuplements, et mener à établir les éventuels liens entre ces présences et abondances fauniques et :
— les caractéristiques de la végétation de ces peuplements,

– la composition du paysage entourant ces peuplements (voir section suivante).
Ces données sont présentées ci-dessous.

– densité de fèces de lièvre :

L'indice d'abondance du lièvre utilisé est le nombre moyen de fèces (déjections) par unité de surface par site de relevé. Comme il existe une forte corrélation entre la densité de fèces déposées pendant une période donnée et la densité de la population pour le Lièvre d'Amérique (Krebs *et al.*, 2001, Murray *et al.*, 2002), on estime que plus le nombre moyen de fèces par unité de surface est élevé dans un site de relevé, plus le nombre de lièvres utilisant ce site est élevé. Un nettoyage préalable des sites de relevé est nécessaire afin d'éliminer toutes les fèces déposées au préalable. Ces données servent à une comparaison (relative) de l'abondance de lièvre entre les sites, et non à une estimation du nombre de lièvre fréquentant ces sites.
Cet indice de présence a été obtenu en comptant les fèces de lièvre déposées sur 30 stations par site de relevé (2 lignes de 15 parcelles équidistantes de 20 m). Les fèces ont été comptées dans un rayon de 1 m autour d'un poteau placé au centre de chacune des stations d'échantillonnage, soit sur une surface de 3,14 m^2 (McKelvey *et al.*, 2002). Le comptage a été effectué aux mois de mai et juin 2009. Un nettoyage préalable de ces placettes (toutes les fèces présentes ont été enlevées) avait été réalisé à l'automne 2008. Seules les fèces déposées entre ce nettoyage et le comptage ont donc été comptées.

– données concernant le Tétras du Canada :

La présence et l'abondance du Tétras du Canada ont été inventoriées par points d'appel d'un rayon de 100 m (Schroeder et Boag, 1989) au printemps 2009 (mai et juin). Une à trois visites par site de relevé ont été assurées, un seul point d'écoute étant réalisé par visite.
Un enregistrement d'un cri de femelle a été joué pendant 15 minutes. Durant cette période, le nombre et le sexe des individus entendus ou vus lors d'une recherche active dans un rayon de 100 m autour du centre du point d'appel ont été rélevés.

– données concernant la présence et l'abondance des différentes espèces d'oiseaux :

Ces données ont été inventoriées selon trois techniques : les points d'écoute, l'appel et le houspillage.
• *Points d'écoute :* la réalisation des points d'écoute cherche à traduire l'abondance des individus des différentes espèces d'oiseaux chanteurs pour chaque site, notamment celle des mâles chanteurs.
Les oiseaux vus et entendus pendant les 10 minutes d'écoute (après une minute d'attente suivant l'arrivée des observateurs sur le site) ont été dénombrés par espèces. Les points d'écoute ont été réalisés dans un rayon limité de 50 mètres, les oiseaux entendus à plus de 50 mètres étant cependant inventoriés mais de façon distincte et n'ont pas été pris en compte dans cette étude. Le dénombrement a été réalisé selon deux sous-intervalles de temps distincts de 5 minutes chacun. Trois visites par site étaient prévues (le nombre de visites effectivement réalisées s'échelonne entre 1 et 4), entre 5 h et 10 h du matin, lors de la période de nidification des oiseaux (de mi-mai à début juillet). Un seul point d'écoute était réalisé par visite et par site.
Certaines restrictions étaient imposées : le centre du point d'écoute devait être localisé à au moins 75 m de tout autre habitat (route forestière ou autres peuplements forestiers), les centres des différents points d'écoute devaient être distants d'au moins 250 m, et aucun relevé ornithologique ne devait être réalisé lors de vents élevés (plus de 15 km/h) et lors de pluies.
• *Appel :* en complément du point d'écoute, un appel était effectué pour inventorier la présence de six espèces particulières. Ces espèces étaient des espèces liées aux chicots et au bois mort (grimpereau brun, sittelle à poitrine rousse, pic maculé, pic à dos noir, grand pic), généralement trop discrètes pour être inventoriées par la technique du point d'écoute ; ainsi qu'une espèce rare et potentiellement en péril : la Paruline du Canada.
Un enregistrement du chant de chacune de ces espèces était lu pendant 30 secondes – appel, puis l'observation visuelle ou auditive d'éventuels oiseaux de cette espèce était ensuite inventoriée pendant les 30 secondes suivant l'appel.
L'utilisation des points d'écoute et des appels est basée sur les observations de Buskirk et McDonald (1995) et de Dunn *et al.* (2006).

• *Houspillage :* réalisé pendant la saison de nidification (où les oiseaux ne chantent presque plus), le houspillage a pour but de faciliter l'observation des oiseaux à cette période, et d'obtenir un indice de l'abondance d'oiseaux en nidification dans un peuplement.
Le houspillage a été réalisé lors de la dernière visite des points d'écoute, et consistait en 5 minutes de *mobbing playback* de la mésange à tête noire (lecture durant 5 minutes d'un enregistrement du houspillage de cet oiseau), puis en l'observation des activités des oiseaux de différentes espèces sur le site d'étude. Les activités telles que le transport de nourriture ou de matériel pour le nid, l'alimentation des jeunes ou la présence de couples permettrait d'avoir un indice fidèle sur la nidification des espèces, ce qui n'est pas forcément le cas avec les données issues des écoutes. Ceci a pour but d'évaluer la capacité des peuplements à permettre aux oiseaux d'assurer leur reproduction.
L'utilisation du houspillage est basée sur les observations de Gunn *et al.* (2001) et de Doran *et al.* (2005).

Au total, près de 90 espèces d'oiseaux ont été observées (voir annexe 6). Pour les activités d'écoute et de houspillage, les données concernant l'ensemble des espèces d'oiseaux sont difficilement interprétables. En effet, de nombreuses espèces ont des exigences assez importantes pour certaines caractéristiques de la végétation et du paysage (densité, ouverture du couvert, obstruction latérale, etc.), et ces exigences diffèrent entre les espèces. Certaines de ces caractéristiques peuvent favoriser certaines espèces et en défavoriser d'autres, mais ces effets peuvent ne pas être identifiables si on travaille sur l'ensemble des espèces sans distinction.
Il a tout d'abord été tenté de travailler par regroupement d'espèces connues pour avoir des exigences proches quant à leur habitat : les guildes d'habitat. Cependant, il a été constaté que la formation des guildes conduit parfois à regrouper des espèces aux exigences relativement différentes, ce qui risque là encore de «lisser» les résultats. L'option retenue a finalement été la suivante :
– deux types de forêts nous intéressant dans le cadre de l'étude et correspondant à des exigences d'habitat très différentes pour les oiseaux ont été choisis :
– les forêts fermées, c'est-à-dire à canopée dense, au couvert arbustif assez faible, souvent matures,
– les forêts ouvertes ou semi-ouvertes, c'est-à-dire à canopée faiblement fermée, riches en ouvertures, aux couverts arbustif et latéral très denses, en général en régénération ou sur des terrains ne permettant pas la fermeture du couvert.
– pour chacun de ces types de forêt, les deux espèces caractéristiques de ces types les plus fréquemment observées ont été sélectionnées, afin que les analyses puissent reposer sur des données suffisamment abondantes. Le choix des espèces s'est basé sur les indications de fréquentation d'habitat apportées par les références suivantes : Gauthier et Aubry, 1996 ; Paquin et Caron, 1998 ; Darveau et al., 2001.
Ainsi, le Roitelet à couronne rubis et la Grive à dos olive ont été choisis pour étudier les oiseaux de forêts fermées ; le Bruant à gorge blanche et la Paruline à joues grises pour les oiseaux de forêts ouvertes (voir figures 2 et 3).

Figure 2 : Le Roitelet à couronne rubis, un oiseau de forêts fermées. *Photographie : Richard Prévost.*

Figure 3 : Le Bruant à gorge blanche, un oiseau de forêts ouvertes. *Photographie : Richard Prévost.*

Des données météorologiques (température, vent, précipitations) ont en outre été relevées lors des inventaires ornithologiques (oiseaux chanteurs et tétras) afin notamment d'en étudier l'influence sur la probabilité de détection des oiseaux.

– données concernant la présence et l'abondance des amphibiens et reptiles :

La présence et l'abondance des amphibiens et reptiles ont été inventoriées par le comptage des individus observés sous des planchettes en bois (Heyer *et al.*, 1994), visitées deux fois entre les mois de juin et septembre 2009. Chaque site de relevé comptait 30 planchettes de 30 × 30 cm (2 lignes de 15 planchettes équidistantes de 20 m).
Le nombre et l'espèce des individus ont été indiqués pour chaque observation. La distance museau–cloaque des individus a en outre été mesurée quand cela était possible, afin d'évaluer la condition physique de ces individus (Heyer *et al.*, 1994).

– observations préliminaires sur les résultats :

On notera d'ores et déjà que les appels de tétras ont commencé trop tard et n'ont pas été concluants : seulement trois tétras ont été vus ou entendus. Ces données n'ont donc pas été exploitées.
L'observation des amphibiens et reptiles a également été décevante : seulement 52 amphibiens ont été observés pour les 107 sites, et aucun reptile ne l'a été. On suppose que la raison principale de ce manque de résultats (au moins pour les amphibiens) est liée au mode opératoire : la présence d'amphibiens et reptiles est inventoriée sous des planchettes disposées à cet effet dans les différents sites, or ces planchettes étaient neuves lors du premier inventaire. Cela constituait probablement un abri peu attirant pour les amphibiens, car trop artificiel et pas assez humide. Les données de présence obtenues ont cependant été analysées, tandis que les résultats des mesures museau–cloaque n'ont pas été exploités (car encore moins nombreux que les observations d'individus, ces mesures n'ayant pas toujours été prises).
Les données concernant le Lièvre d'Amérique et les oiseaux chanteurs sont, en général, assez nombreuses pour être exploitées (voir la section 3. : résultats et interprétations).

2.3.3. Autres données collectées

Enfin, diverses données ont été collectées afin d'étudier l'influence sur la faune de la composition du paysage (et non plus seulement du peuplement). Les études de la réponse des espèces aux caractéristiques du paysage sont encore rares. Or ces réponses semblent souvent importantes, impliquant

la nécessité de prendre en compte aussi bien l'échelle locale que celle du paysage lors de l'aménagement des forêts (Villard et Guénette, 2005).
Ces données sont issues des résultats du quatrième inventaire écoforestier du Québec (MRNF, 2003–), dans des aires circulaires de rayons de 50, 100, 250, 500, 1 000 et 2 000 mètres centrées sur les sites de relevé. Les données de l'inventaire écoforestier sont obtenues par photo-interprétation couplée à des relevés de terrain.

Les données suivantes ont été extraites : proportions de la surface de ces aires occupées par les différentes classes :

- de couvert forestier,
- de densité, de hauteur et d'âge des peuplements,
- de perturbations partielles ayant affecté les peuplements,
- d'occupation des sols (agricole, forestier, anthropique, etc.).

Afin de simplifier ces données et de réaliser les analyses statistiques sur celles-ci, des classes ont été regroupées. Ces regroupements sont présentés dans l'annexe 9. Pour de plus amples précisions sur ces données, on consultera la Norme de stratification écoforestière du Quatrième inventaire écoforestier (MRNF et Forêt Québec, 2008).

Toutes ces données ont servi de support à des analyses statistiques, réalisées afin de répondre aux objectifs de l'étude vus plus haut. Ces analyses sont présentées dans la section suivante.

2.4. Analyses statistiques

. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel libre R 2.10.1. Les dénominations des fonctions statistiques utilisées correspondent donc à celles de ce logiciel.
. Pour toutes les analyses, le seuil de significativité retenu est de 0,05 (5 %).
. Dans la suite, on nommera «types» de peuplement les cinq combinaisons de «natures» et de «stades» des peuplements étudiés : PL3m, PN3m, PE30, PL30, PN30.

2.4.1. Comparaison des données relatives à la végétation et à la faune entre les différents types de peuplements

But : comparer certaines caractéristiques relatives à la végétation et à la faune parmi les différents types de peuplements.
Exemple : le couvert arborescent des PL30 est-il significativement différent de celui des PE30 et des PN30 ? Ou encore : la densité de fèces de lièvres est-elle significativement plus importante dans les peuplements jeunes – 3m – que dans les peuplements plus âgés – 30 ?).

Type d'analyse :
. <u>pour les variables continues (type abondances ou proportions)</u> : le plan d'échantillonnage effectivement réalisé sur le terrain est déséquilibré (voir 2.1.4.). Or les analyses de la variance classiques (ANOVA) se basent sur l'hypothèse que cet échantillonnage est équilibré. Il est donc préférable de ne pas les utiliser dans notre cas (Zar, 1984). Nous avons utilisé une formulation plus générale de modèle linéaire, à l'aide de la fonction lm() du logiciel R (Fox, 2002 ; Venables et Ripley, 2002 ; Crawley, 2005). Cette fonction permet, comme l'ANOVA, de déterminer la présence ou l'absence de différences significatives entre les différents types de peuplements quant à la variable étudiée. Si la présence de différences significatives est détectée, des comparaisons multiples (test post-hoc de Tukey) sont réalisées afin de déterminer quels types de peuplements diffèrent significativement entre eux (Fox, 2002 ; Ramsey et Schafer, 2002 ; Venables et Ripley, 2002 ; Gotelli et Ellison, 2004 ; Heiberger et Holland, 2004 ; Crawley, 2005).
Les variables étudiées ont été transformées *a posteriori* (lorsque nécessaire) pour atteindre une homoscédasticité et une normalité des résidus satisfaisantes. Les transformations utilisées sont des

transformations usuelles (√(x), log(x+0,15), ou encore asin(√(x)). Les valeurs extrêmes risquant de fausser les résultats des analyses ont été supprimées, en se basant sur la distance de Cook (Kleinbaum *et al.*, 1998 ; Fox, 2002).
On notera que certaines variables n'ont pas pu être analysées car elles ne répondaient pas aux hypothèses sous-jacentes aux analyses statistiques et ce, même après transformation. Les informations au cas par cas sont données dans la section 3 : résultats et interprétations.

. pour les variables binaires (type présence/absence) : La fonction utilisée pour les comparaisons est la fonction glm() s'appuyant sur la régression logistique (Fox, 2002 ; Venables et Ripley, 2002 ; Crawley, 2005). Des analyses de contrastes ont ensuite été utilisées pour détecter d'éventuelles différences significatives entre types de peuplements quant à la variable étudiée (Fox, 2002 ; Ramsey et Schafer, 2002 ; Venables et Ripley, 2002 ; Gotelli et Ellison, 2004 ; Heiberger et Holland, 2004 ; Crawley, 2005).

2.4.2. Identification des liens entre variables fauniques et variables de végétation et de paysage.

Cette partie constitue un aspect beaucoup plus «expérimental» de l'étude. En effet, les méthodes utilisées (utilisation des critères d'information d'Akaike, inférence multimodèles), les variables étudiées (par exemple celles caractérisant le paysage) n'ont encore été que peu appliquées dans le domaine des études sur la faune.

But : analyser les liens entre les variables fauniques relevées sur le terrain (variables à «expliquer») et les variables de végétation et de paysage également relevées sur le terrain ou extraites des systèmes d'information géographique (variables explicatives).
Exemple : quelles sont les variables de végétation ou de paysage importantes pour expliquer l'abondance du Lièvre d'Amérique dans un peuplement ? Ou encore quelles sont les variables de végétation ou de paysage qui expliquent le mieux la présence de la Paruline du Canada dans un site ?

Type d'analyse :
. pour les variables continues : un processus de sélection de modèles linéaires basé sur l'utilisation du critère d'information d'Akaike (*Akaike's Information Criterion – AIC*) a permis d'identifier les variables expliquant de manière importante les variables à expliquer (Burnham et Anderson, 2002 ; Mazerolle, 2006).
On notera que cette approche ne fait jamais référence au concept de significativité. Elle permet uniquement de comparer des modèles candidats entre eux, sans apporter en elle-même d'information sur la puissance explicative de ces modèles. L'intérêt de ce processus est qu'il permet de pallier les problèmes inhérents aux autres méthodes de sélection de modèles fréquemment utilisées, notamment l'utilisation de tests d'hypothèses afin d'inclure ou d'exclure des variables explicatives d'un modèle, et dont les résultats dépendent souvent fortement de la méthode employée (Mazerolle, 2006).

Pour une variable à expliquer donnée, le processus se décompose grossièrement comme suit (pour de plus amples informations sur les différentes étapes, voir Burnham et Anderson, 2002 ; Mazerolle, 2006) :

- sélection *a priori* de variables explicatives. La sélection de ces variables doit être basée uniquement sur des hypothèses tirées des connaissances préalables et de postulats sur les liens entre l'espèce faunique étudiée et les variables de peuplement et de paysage (et non sur des analyses testant les relations individuelles entre la variable à expliquer et les variables explicatives réalisées au préalable),
  Ces variables ne doivent pas être fortement corrélées entre elles. Dans un souci de parcimonie recherché dans ce type d'analyse et de facilité d'application de la méthode, les variables explicatives candidates doivent être en nombre limité (trois variables explicatives au maximum ont été utilisées dans cette étude),

– vérification du respect des hypothèses inhérentes aux modèles linéaires (homoscédasticité, normalité des résidus), de l'ajustement et de la puissance explicative (R^2) du modèle global, c'est à dire du modèle contenant toutes les variables candidates. Cette étape est importante, car si on conserve un modèle très peu explicatif (faible R^2), alors le processus de sélection de modèles utilisé permettra seulement d'identifier les meilleurs des «mauvais» modèles (tous très peu explicatifs),

– transformation des variables à expliquer et explicatives si nécessaire afin de rencontrer les hypothèses sous-jacentes à l'analyse. Remplacement des variables explicatives si le modèle global n'explique pas la variable à expliquer de façon satisfaisante (toujours en se basant sur des hypothèses *a priori*). Vérification de la non colinéarité des variables explicatives,

– création des modèles candidats à étudier en réalisant toutes les combinaisons possibles entre les variables explicatives sélectionnées,

– calcul pour chaque modèle candidat de la valeur de son critère d'information d'Akaike (AIC, basé entre autres sur la probabilité – *likelihood* – de chaque modèle et sur le nombre de variables explicatives intégrées au modèle), de son poids d'Akaike (traduisant le rapport entre l'AIC du modèle et celui de l'ensemble des modèles candidats, et de la différence entre l'AIC du meilleur modèle et l'AIC du modèle étudié (ΔAIC). Les AIC (et donc les ΔAIC et les poids d'Akaike qui en sont issus) reflètent la perte d'information d'un modèle à l'autre, mais aussi leur parcimonie, c'est à dire le fait qu'ils utilisent plus ou moins de variables explicatives. Un bon modèle sera un modèle minimisant la perte d'information tout en intégrant un nombre réduit de variables explicatives : il aura alors un faible AIC, un fort poids d'Akaike et, s'il n'est pas le meilleur modèle, un ΔAIC faible,

– si le modèle le plus parcimonieux est largement meilleur que les autres (poids d'Akaike > 0,90), alors l'inférence est basée sur ce modèle uniquement (on conserve ce modèle à l'issue du processus de sélection),

– si plusieurs modèles entrent en compétition (poids d'Akaike du meilleur modèle < 0,90 et ΔAIC d'au moins un autre modèle < 2), alors on base les conclusions du processus de sélection sur l'ensemble des modèles grâce à un processus d'inférence multi-modèles (*multimodel inference* ou *model averaging*). Ce processus permet de déterminer si les variables intégrées aux modèles en compétition sont réellement importantes (apportent une contribution importante au modèle) ou non. L'interprétation de l'influence des différentes variables explicatives sur la variable à expliquer est basée à la fois sur les AIC et sur les résultats de l'inférence multi-modèles.

. <u>pour les variables binaires (type présence/absence)</u> : la sélection de modèles suit le même principe que pour les variables continues. L'ajustement du modèle global a été vérifié à l'aide du test de Le Cessie et Van Howelingen, et un pseudo-R^2 de Cox & Snell a été utilisé pour en estimer la puissance explicative. Le reste du processus, basé sur les AIC et l'inférence multimodèles, est similaire à celui employé pour les variables continues.

Ce processus de sélection de modèles a été appliqué grâce aux différentes fonctions du package «AICcmodavg» du logiciel R (développeur : M. J. Mazerolle).

Pour la sélection des variables caractérisant la composition du paysage, un processus mixte a été développé et utilisé. Afin de préserver l'aspect «*a priori*» de la sélection de modèles, les variables utilisées ont été déterminées sans aucune analyse préalable, généralement par hypothèses car la littérature apporte peu d'informations sur ces aspects. Quant à l'échelle utilisée pour cette variable (i.e. jusqu'à un rayon de *x* mètres autour du site d'étude), elle a été déterminée en effectuant des régressions linéaires ou logistiques simples entre la variable à expliquer et la variable de paysage, pour chaque échelle disponible (50, 100, 250, 500, 1 000 et 2 000 m autour du site d'étude). L'échelle dont l'influence sur la variable à expliquer est la plus significative a été utilisée pour la sélection de modèles. Cette méthode a été utilisée car aucune indication qui aurait pu permettre de privilégier une échelle n'était en général disponible. Nous verrons les résultats et les défauts de cette approche dans la discussion.

3. Résultats et interprétations

3.1. Comparaison des données relatives à la végétation et à la faune entre les différents types de peuplements

3.1.1. Données de végétation

Les analyses statistiques ont permis de mettre en évidence plusieurs différences significatives entre les types de peuplements quant aux données de végétation. Les résultats de ces comparaisons sont présentés dans les sections suivantes.
Les variables de végétation sur lesquelles aucune analyse n'a été tentée ne sont pas présentées dans cette section.

3.1.1.1. Couvert de la végétation ligneuse

Tableau 2 : Résultats des comparaisons statistiques sur les données de couvert de la végétation ligneuse.

	F	P	d.l.	PE30	PL30	PN30	PL3m	PN3m
C_ARBOT (%)	34,35	< 0,0001	97	80,7 ± 4,2 ^{A}	89,0 ± 3,5 ^{A}	81,8 ± 7,2 ^{A}	25,4 ± 4,7 ^{B}	33,0 ± 5,2 ^{B}
C_ARBOR (%)	49,62	< 0,0001	101	67,4 ± 4,0 ^{A}	64,0 ± 4,9 ^{A}	54,5 ± 6,9 ^{A}	12,3 ± 3,2 ^{B}	11,7 ± 2,6 ^{B}
C_ARBOF (%)	5,917	0,0003	101	21,6 ± 4,9 ^{A,B}	36,5 ± 5,7 ^{B,C}	46,4 ± 4,7 ^{C}	13,5 ± 2,9 ^{A}	23,0 ± 4,8 ^{A}
C_ARBUHT (%)	1,319	0,2685	97	58,7 ± 4,0	51,5 ± 5,3	63,6 ± 5,8	63,8 ± 4,9	62,3 ± 3,5
C_ARBUHR (%)	1,639	0,1702	101	51,1 ± 4,3	46,5 ± 5,1	55,5 ± 5,3	39,2 ± 4,9	40,0 ± 4,9
C_ARBUHF (%)	14,02	< 0,0001	101	9,5 ± 2,7 ^{A}	5,0 ± 2,2 ^{A}	19,1 ± 5,1 ^{A,B}	40,4 ± 3,9 ^{C}	31,3 ± 4,7 ^{B,C}
C_ARBUBT (%)	41,80	< 0,0001	99	17,1 ± 3,6 ^{A}	3,0 ± 1,3 ^{B}	23,6 ± 6,9 ^{A}	41,5 ± 3,0 ^{C}	45,7 ± 2,7 ^{C}
C_ARBUBR (%)	24,45	< 0,0001	98	13,2 ± 3,1 ^{A}	3,0 ± 1,3 ^{B}	16,4 ± 5,8 ^{A}	22,3 ± 3,2 ^{A}	35,3 ± 3,4 ^{C}
C_ARBUBF (%)	*	*	*	6,7 ± 2,5 *	0,7 ± 0,3 *	7,0 ± 3,5 *	21,5 ± 3,3 *	15,2 ± 2,0 *
C_LAT05 (%)	64,11	< 0,0001	101	73,7 ± 3,2 ^{A}	50,0 ± 3,3 ^{B}	83,6 ± 4,3 ^{A}	98,8 ± 0,8 ^{C}	94,7 ± 1,7 ^{C}
C_LAT10 (%)	46,40	< 0,0001	101	63,7 ± 3,4 ^{A}	44,5 ± 3,6 ^{B}	72,7 ± 5,7 ^{A}	92,7 ± 1,7 ^{C}	91,7 ± 2,1 ^{C}
C_LAT15 (%)	37,27	< 0,0001	101	62,6 ± 4,1 ^{A}	43,0 ± 3,7 ^{B}	72,7 ± 5,7 ^{A}	88,8 ± 2,2 ^{C}	86,0 ± 2,2 ^{C}
C_LAT20 (%)	22,89	< 0,0001	101	65,8 ± 4,6 ^{A}	44,5 ± 4,1 ^{B}	77,3 ± 5,2 $^{A, C}$	86,5 ± 2,0 ^{C}	85,3 ± 2,4 ^{C}
C_LATMOY (%)	45,25	< 0,0001	101	65,8 ± 3,7 ^{A}	45,0 ± 3,7 ^{B}	76,4 ± 4,7 ^{A}	91,9 ± 1,5 ^{C}	89,3 ± 2,2 ^{C}

Deux moyennes portant des lettres différentes en indice sont significativement différentes.
* = l'analyse n'a pu être menée sur la variable car celle-ci ne vérifie pas les hypothèses sous-jacentes.
C_ARBO = couvert arborescent (> 4 m) total (T), résineux (R) et feuillu (F)
C_ARBUH = couvert arbustif haut (1 à 4 m) total (T), résineux (R) et feuillu (F)
C_ARBUB = couvert arbustif bas (0,5 à 1 m) total (T), résineux (R) et feuillu (F)
C_LAT = couvert latéral entre 0 et 0,5 m (05), entre 0,5 et 1 m (10), entre 1 et 1,5 m (15), entre 1,5 et 2 m (20), moyenne entre 0 et 2 m (MOY)

Couverts arborescents (h > 4 m) :
Logiquement, on observe que les couverts arborescents total et résineux des peuplements de 30 ans sont significativement supérieurs à ceux des peuplements de 3 m. Ces couverts ne diffèrent en revanche pas significativement parmi les peuplements de 3 m, ni parmi les peuplements de 30 ans (même si les plantations de 30 ans semblent légèrement plus fermées que les peuplements éduqués et naturels du même stade).
En revanche, parmi les peuplements de 30 ans, le couvert arborescent feuillu des peuplements naturels est supérieur à celui des peuplements éduqués (différence significative) et des plantations (tendance non significative). Le couvert arborescent feuillu des peuplements naturels de 3 m est également supérieur à celui des plantations de 3 m (tendance non significative).

Couverts arbustifs hauts (1 < h < 4 m) :
Les couverts arbustifs hauts total et résineux ne diffèrent pas significativement entre les différents types de peuplements (tous stades confondus). On remarque cependant que les couverts arbustifs hauts total et résineux des peuplements naturels de 30 ans sont supérieurs ou égaux à ceux de tous les autres types de peuplements.
Le couvert arbustif haut feuillu présente en revanche de fortes variations entre les différents types de peuplements. Ceux des peuplements de 3m sont fortement supérieurs à ceux des peuplements de 30 ans (cette différence est en général significative). De plus, le couvert arbustif haut feuillu des peuplements naturels de 30 ans est fortement supérieur à ceux des peuplements éduqués et des plantations de 30 ans, mais cette tendance n'est pas significative à cause de la relativement forte variabilité de ces données.

Couverts arbustifs bas (0,5 < h < 1 m) et couverts latéraux (de 0 à 2 m) :
Un même patron est observé pour tous les couverts arbustifs bas (total, résineux et feuillus) et les couverts latéraux (à toutes les hauteurs et leur moyenne) :
– ces couverts sont quasi-systématiquement significativement supérieurs dans les peuplements de 3m par rapport aux peuplements de 30 ans,
– ces couverts sont toujours statistiquement supérieurs dans les peuplements naturels et éduqués de 30 ans par rapport aux plantations de 30 ans,
– ces couverts sont toujours supérieurs dans les peuplements naturels de 30 ans par rapport aux peuplements éduqués de 30 ans, mais cette tendance n'est jamais significative,
– ces couverts ne diffèrent presque jamais significativement entre peuplements de 3 m (hormis le couvert arbustif bas résineux des plantations, significativement inférieur à celui des peuplements naturels).

Interprétation :
Les jeunes arbres des peuplements de 3 m n'ont, pour la plupart, pas encore dépassé quatre mètres de hauteur, et leurs houppiers sont peu développés. Le couvert arborescent de ces peuplements est donc largement inférieur à celui des peuplements de 30 ans. En revanche, ils présentent des couverts arborescents bas et des couverts latéraux importants du fait de la faible hauteur de leurs houppiers et de leur densité. Le recouvrement de la partie basse des houppiers des arbres des peuplements de 30 ans et celui de la partie haute des houppiers des arbres des peuplements de 3 m conduisent probablement à une obstruction verticale proche, d'où l'équilibre des couverts arbustifs hauts.

Les peuplements naturels, passé un certain âge, présentent généralement un sous-étage (et donc des couverts arbustifs et latéraux) plus développé que dans les peuplements éduqués et les plantations de même âge. Ces peuplements sont en effet plus hétérogènes, et ceci peut être dû, entre autres, à trois facteurs :
– le principe même de la plantation et la sélection d'arbres objectif dans les peuplements éduqués conduisent à une forte homogénéité spatiale (notamment verticale), que l'on n'observe pas dans les peuplements régénérés naturellement, en général de façon hétérogène,
– les peuplements éduqués et les plantations ont subi des éclaircies précommerciales et parfois des dégagements, diminuant drastiquement les couverts arbustifs et latéraux (Breton, 2000 ; Sansregret, 2000 ; Blanchette *et al.*, 2003),
– la fermeture de la canopée semblant légèrement plus importante dans les plantations, elle peut y compromettre le maintien du sous-étage.
On remarquera cependant que, les éclaircies précommerciales ayant été réalisées il y a environ vingt ans dans les peuplements éduqués, la strate arbustive de ces peuplements a pu se reconstituer partiellement, notamment grâce à l'apport de lumière induit par l'éclaircie. Cependant, ce développement n'a été que limité, probablement à cause de la fermeture progressive du couvert.

Le déficit en feuillus des peuplements éduqués est sans doute le résultat direct des éclaircies précommerciales. Dans les types de peuplements étudiés, où les résineux sont les essences commerciales cibles, les tiges non intéressantes commercialement et pouvant compromettre la croissance des arbres objectif sont éliminés lors de ces éclaircies. Les feuillus paient donc un lourd tribut lors des éclaircies

précommerciales (Breton, 2000 ; Sansregret, 2000), et ce aussi bien dans les strates arbustives qu'arborescente (les premières permettant d'ailleurs la constitution de la seconde au fil du temps).
Dans les plantations, ce déficit peut être, de la même façon, dû aux dégagements ou aux éclaircies précommerciales, mais aussi au fait que ces plantations occupent souvent les terrains mal drainés où la régénération, notamment des feuillus, est difficile.

Les forts couverts arbustifs feuillus des peuplements de 3 m par rapport aux peuplements naturels de 30 ans sont probablement le fait des feuillus intolérants et arbustifs qui, au cours du développement et de la fermeture du peuplement, dépérissent et disparaissent. Cette différence s'accentue avec les peuplement éduqués et les plantations pour les raisons vues plus haut.

Points marquants : les peuplements jeunes (3 m) se distinguent des peuplements plus âgés (30 ans) par une canopée plus ouverte et une strate arbustive basse plus développée. Les peuplements naturels de 30 ans semblent présenter une strate arbustive basse plus fermée et semblent être plus riches en feuillus que les peuplements aménagés de même stade. Les tendances concernant les autres variables ne semblent pas suivre de patrons globaux nets.

3.1.1.2. Couvert de la végétation herbacée

Tableau 3 : Résultats des comparaisons statistiques sur les données de couvert de la végétation herbacée.

	F	P	d.l.	PE30	PL30	PN30	PL3m	PN3m
CH_ARBUT (%)	8,342	< 0,0001	101	8,6 ± 1,2 ^{A,B}	2,5 ± 0,6 ^{C}	9,3 ± 1,5 ^{A,B}	6,0 ± 1,8 ^{A,C}	12,1 ± 1,8 ^{B}
CH_ARBUR (%)	20,67	< 0,0001	101	4,1 ± 0,6 ^{A}	0,4 ± 0,1 ^{B}	4,3 ± 1,1 ^{A}	0,9 ± 0,4 ^{B}	2,9 ± 0,4 ^{A}
CH_ARBUF (%)	5,817	0,0003	101	4,6 ± 0,9 ^{A,B}	1,9 ± 0,6 ^{C}	5,7 ± 1,5 ^{A,B}	2,9 ± 0,7 ^{B,C}	6,4 ± 0,9 ^{A}
CH_VACC (%)	*	*	*	1,5 ± 0,6 *	0,4 ± 0,3 *	0,4 ± 0,3 *	2,2 ± 1,0 *	3,6 ± 1,1 *
CH_TOT (%)	9,342	< 0,0001	101	59,1 ± 2,5 ^{A}	32,6 ± 4,4 ^{B}	49,3 ± 7,1 ^{A,B}	61,7 ± 3,3 ^{A}	52,5 ± 2,9 ^{A}
CH_LAT (%)	3,928	0,0052	101	20,6 ± 2,4 ^{A}	10,1 ± 2,1 ^{B}	12,4 ± 3,4 ^{A,B}	14,8 ± 1,8 ^{A,B}	13,5 ± 1,6 ^{A,B}
CH_GRA (%)	**	**	**	1,6 ± 0,4 ^{A}	0,8 ± 0,2 ^{A}	4,9 ± 2,3 ^{A}	18,4 ± 4,1 ^{B}	5,4 ± 2,0 ^{C}
CH_FOU (%)	0,1382	0,97	99	6,6 ± 1,0	6,9 ± 1,3	8,8 ± 2,6	11,1 ± 2,8	7,0 ± 1,2
CH_FRA (%)	8,505	< 0,0001	99	1,1 ± 0,6 ^{A}	1,5 ± 0,5 ^{A}	4,0 ± 1,7 ^{A}	14,0 ± 2,9 ^{B}	4,3 ± 1,3 ^{A}
CH_PRE (%)	*	*	*	2,0 ± 0,8	0,4 ± 0,1	2,4 ± 1,3	0,7 ± 0,3	1,1 ± 0,4
CH_LIC (%)	13,85	< 0,0001	101	2,8 ± 0,6 ^{A}	0,3 ± 0,1 ^{B}	3,7 ± 0,9 ^{A}	0,8 ± 0,2 ^{B}	4,3 ± 1,0 ^{A}
CH_MOU (%)	9,373	< 0,0001	98	48,3 ± 3,3 ^{A}	23,1 ± 4,6 ^{B}	32,8 ± 4,4 ^{A}	23,1 ± 4,3 ^{B}	29,5 ± 3,7 ^{A}

Deux moyennes portant des lettres différentes en indice sont significativement différentes.
* = l'analyse n'a pu être menée sur la variable car celle-ci ne vérifie pas les hypothèses sous-jacentes.
** = les peuplements ont été comparés au sein de chaque stade (3 m, 30 ans), mais pas entre stades (entre 3 m et 30 ans, sinon les hypothèses sous-jacentes aux analyses n'étaient pas respectées).
CH_ARBU = couvert arbustif < 0,5 m total (T), résineux (R) et feuillu (F)
CH_VACC = couvert arbustif < 0,5 m des vaccinium
CH_ = couvert herbacé total (TOT), des latifoliées (LAT), des graminoïdes (GRA), des fougères (FOU), des framboisiers, gadeliers et mûres (FRA), des prêles et lycopodes (PRE), des lichens (LIC) et des mousses (MOU)

On observe que le couvert herbacé total des peuplements éduqués de 30 ans est supérieur à celui des peuplements naturels et des plantations de même stade. Au sein des peuplements de 3 m, le couvert herbacé des plantations est légèrement supérieur à celui des peuplements naturels, mais cette tendance n'est pas significative.
La répartition de certains groupes d'espèces est intéressante, comme le fort couvert de graminoïdes et de framboisiers-mûres-gadeliers dans les jeunes plantations (ceci étant probablement dû à l'ouverture du couvert), le fort couvert de latifoliées dans les peuplements éduqués, et le comparativement faible couvert

de lichens dans les plantations des deux stades. Mais les variations de ces couverts herbacés sont probablement en grande partie dues aux travaux de préparation du sol et à d'autres facteurs qui nous étaient inconnus à la rédaction de ce rapport, elles ne seront donc pas interprétées. Ces couverts n'ont, en outre, pas été utilisés pour la suite des analyses.

Par manque d'information, les données concernant le couvert de la végétation herbacée ne seront pas interprétées.

3.1.1.3. Éléments fauniques (débris ligneux et chicots)

Tableau 4 : Résultats des comparaisons statistiques sur les caractéristiques des éléments fauniques.

	F	P	d.l.	PE30	PL30	PN30	PL3m	PN3m
DEBR_VVW (m^3/ha)	4,907	0,0012	101	8,4 ± 2,5 ^{A,B}	2,0 ± 0,9 ^{A}	21,0 ± 5,5 ^{B}	8,3 ± 3,0 ^{A,B}	12,8 ± 3,3 ^{B}
DEBR_DM (cm)	1,399	0,2447	63	14,5 ± 1,1	20,3 ± 3,8	15,6 ± 0,7	18,0 ± 3,0	13,9 ± 0,7
DEBR_DEC (code)	0,5202	0,7212	64	6,6 ± 0,3	6,0 ± 0,6	6,8 ± 0,2	6,6 ± 0,3	6,6 ± 0,2
CHIC_VOL (m^3/ha)	0,6339	0,5353	44	1,8 ± 0,7	1,0 ± 0,3	6,2 ± 3,2	0,2 ± 0,1 ***	2,5 ± 0,7 ***
CHIC_DENS (t/ha)	1,688	0,1959	47	18,4 ± 5,0	15,4 ± 5,3	40,9 ± 13,7	0,9 ± 0,5 ***	26,1 ± 6,1 ***
CHIC_PA (%)	-	-	-	68,4 ± 11,0 ^{A}	45,0 ± 11,4 ^{A}	63,6 ± 15,2 ^{A}	11,5 ± 6,4 ^{B}	60,0 ± 9,1 ^{A}
CHIC_HT (m)	0,8556	0,4371	25	4,9 ± 0,6	5,7 ± 0,5	5,8 ± 1,2	5,5 ± 2,2 ***	4,4 ± 0,4 ***
CHIC_DM (cm)	12,71	0,0002	25	13,7 ± 0,9 ^{A}	11,6 ± 0,4 ^{A}	16,3 ± 0,9 ^{B}	19,3 ± 5,1 ***	15,2 ± 1,0 ***
CHIC_DEC (code)	3,579	0,0430	25	6,0 ± 0,3 ^{A,B}	5,2 ± 0,2 ^{A}	6,2 ± 0,3 ^{B}	6,3 ± 0,9 ***	6,1 ± 0,3 ***

Deux moyennes portant deux lettres différentes en indice sont significativement différentes.
*** = seuls les types de peuplements d'un des deux stades de développement (3 m ou 30 ans) ont été comparés entre eux (sinon, les hypothèses sous-jacentes aux analyses n'étaient pas respectées). Les stades de peuplement dont la moyenne ± erreur standard est marquée des *** n'ont pas été comparés aux autres types de peuplements. En général, les données pour ce stade sont trop hétérogènes, et souvent non pertinentes.
– = la variable a été analysée grâce aux comparaisons basées sur la régression logistique. Les valeurs indiquées pour chaque type de peuplement correspondent aux pourcentages de sites avec présence de chicots par type de peuplement.
DEBR_VVW = volume de débris ligneux au sol de Van Wagner
DEBR_DM = diamètre moyen des débris ligneux au sol
DEBR_DEC = code de décomposition moyen des débris ligneux au sol
CHIC_VOL = volume total de chicots
CHIC_DENS = densité totale de chicots
CHIC_PA = proportion de sites avec présence de chicots
CHIC_HT = hauteur moyenne des chicots
CHIC_DM = diamètre moyen des chicots
CHIC_DEC = code de décomposition moyen des chicots

Débris ligneux :

Le volume de débris ligneux au sol dans les peuplements naturels de 30 ans est fortement supérieur à celui observé dans tous les autres types de peuplements. Cependant, la forte variabilité de cette donnée conduit à l'absence de différence significative avec les autres peuplements, sauf avec les plantations de 30 ans qui présentent un volume de débris ligneux au sol très faible.

Les diamètres et les stades de décomposition moyens des débris ligneux au sol ne diffèrent pas significativement entre les différents types de peuplements. On observe cependant que le diamètre moyen des débris ligneux au sol des plantations tend à être plus important que celui des autres types de peuplements au sein du même stade (3 m et 30 ans), et leur code de décomposition moyen très légèrement inférieur (pour les peuplements de 30 ans uniquement).

Chicots :

Le volume et la densité de chicots des peuplements naturels de 30 ans sont en moyenne très supérieurs à ceux observés dans les autres types de peuplements. Cependant, la très forte variabilité de ces données conduit là encore à l'absence de différence significative entre les différents types de peuplements.

De plus, même si ces peuplements n'ont pu être comparés statistiquement, le volume et la densité de chicots dans les peuplements naturels de 3m s'avèrent supérieurs à ceux des plantations de 3m.

La comparaison des présences et absences de chicots sur les placettes d'inventaire montre qu'une proportion plus forte de plantations de 3m (différence significative) et de 30 ans (tendance non significative) ne présente aucun chicot dans les placettes d'inventaire contrairement aux autres types de peuplements.

La hauteur moyenne de ces chicots ne diffère pas significativement entre les différents types de peuplements. Ces chicots sont en revanche significativement plus gros dans les peuplements naturels de 30 ans que dans les peuplements éduqués et les plantations du même stade. On notera qu'en termes de densité, les chicots de dhp > 20 cm représentent environ 31 % pour les peuplements naturels de 30 ans, 12 % des chicots pour les peuplements éduqués de 30 ans, et 0 % pour les plantations de 30 ans. Les chicots des peuplements naturels de 30 ans sont en outre à un stade de décomposition moyen significativement plus avancé que ceux des plantations de 30 ans, mais aucune différence significative n'est observée avec les peuplements éduqués de 30 ans.

Compte-tenu de la forte variabilité des caractéristiques des chicots rémanents dans les plantations de 3 m, aucune comparaison n'a été effectuée pour les peuplements de ce stade.

Interprétation :

Le déficit en débris ligneux au sol et en chicots est caractéristique des forêts aménagées, dans notre cas des peuplements éduqués et des plantations de 30 ans (Goodburn et Lorimer, 1998 ; Crête *et al.*, 2004 ; Desrochers, 2009). En effet, les chicots et les arbres dépérissants y sont généralement prélevés lors des différents travaux et éclaircies, ce qui compromet le renouvellement de ces chicots et des débris ligneux au sol. Ceci est motivé par plusieurs facteurs (Crête *et al.*, 2004 ; Desrochers, 2009) :

– la recherche de la minimisation des pertes de matière ligneuse (par exemple, dans les peuplements naturels, les gaulis s'éclaircissent naturellement, renouvelant continuellement le stock de débris ligneux, mais constituant une perte économique de matière ligneuse),
– la sélection d'arbres vigoureux au détriment des arbres morts et dépérissants,
– la sécurité des travailleurs,
– la diminution des risques d'infection par certains insectes nuisibles à la santé des peuplements (par exemple, la Tordeuse des bourgeons de l'épinette).

Il est difficile de comparer les peuplements étudiés dans ce projet à d'autres peuplements équivalents quant à l'abondance des éléments fauniques. En effet, aucune étude n'a, à notre connaissance, été menée sur ce sujet dans les types de peuplements étudiés. De plus, les peuplements étudiés sont au plus âgés d'environ 40 ans, ce qui est loin de leur maturité et rend toute comparaison difficile. Enfin, la rareté, voire l'inexistence de peuplements «vierges» équivalents à ceux étudiés rend presque impossible la comparaison de ces données avec une référence non perturbée par l'homme (il serait par exemple intéressant de comparer les peuplements naturels de seconde venue – exploités, régénérés naturellement et non aménagés – et les peuplements «vierges»). Il est cependant fort probable que les volumes de débris ligneux et de chicots des peuplements sont largement inférieurs à ceux des peuplements «vierges». Par exemple, Desponts *et al.* (2004) ont évalué les volumes de débris ligneux (chicots et au sol) dans de vieilles sapinières à Bouleau blanc de Gaspésie «vierges» à 40 à 63 m^3/ha (contre moins de 30 m^3/ha pour les peuplements naturels de la présente étude) et 14 m^3/ha dans des peuplements aménagés de 50 ans (contre respectivement 10 et 3 m^3/ha environ dans nos peuplements éduqués et nos plantations de 30 ans). Là encore, il faut relativiser ces résultats, les méthodes d'estimation des volumes, les types de forêts et leurs âges étant différents.

La rareté des chicots et débris ligneux de gros diamètres dans les peuplements aménagés par rapport aux peuplements naturels est également un constat connu (Crête *et al.*, 2004). Ce constat pourrait être expliqué par, entre autres, quatre facteurs :
– dans notre étude, les peuplements étudiés sont relativement jeunes, donc présentent peu d'arbres dépérissant ou morts de forts diamètres,
– l'élimination des feuillus, notamment intolérants, lors des dégagements et des éclaircies précommerciales. Dans les peuplements naturels, ces feuillus dépérissent, généralement, passé un certain stade de développement du peuplement, et présentent parfois des diamètres relativement forts,
– le fait que tous ces peuplements sont de seconde venue (même les peuplements naturels), et la récolte qui les a initiés a diminué drastiquement la quantité d'arbres sur pied, et donc compromis le renouvellement des chicots, particulièrement de gros diamètres (par rapport à des peuplements «vierges»),
– la tendance à récolter les arbres avant leur sénescence (dépérissement), ce qui correspond souvent aux arbres de diamètres importants. Cependant, les peuplements étudiés n'ayant pas encore subi d'éclaircies commerciales ni de quelconque récolte, ce facteur est ici contestable.

La différence entre le stade de décomposition des débris ligneux et des chicots des plantations de 30 ans et des autres peuplements est faible (une unité environ), et difficilement interprétable. Les conditions du sous-bois des plantations sont peut-être moins favorables à la décomposition de la matière ligneuse les constituant (couvert plus fermé). Les arbres des plantations, théoriquement plus vigoureux, ont peut-être également commencé leur dépérissement plus tard que les arbres de peuplements éduqués et naturels.

Pour les peuplements de 3 m, les chicots présents sont tous hérités du peuplement précédent, et dépendent plus des consignes de coupe que des dynamiques de peuplement. C'est probablement aussi pourquoi la variabilité des caractéristiques de ces chicots est importante.

Points marquants : les peuplements naturels de 30 ans semblent présenter de plus fortes quantités de débris ligneux au sol que les peuplements aménagés de même stade. Cependant, la forte variabilité des données limite l'identification de différences significatives entre les différents types de peuplements quant aux éléments fauniques.

3.1.1.4. Données dendrométriques

Tableau 5 : Résultats des comparaisons statistiques sur les caractéristiques dendrométriques des peuplements.

	F	P	d.l.	PE30	PL30	PN30	PL3m	PN3m
NT_TOT (t/ha)	55,03	< 0,0001	101	8702 ± 1407 ^{A}	5005 ± 466 ^{B}	20594 ± 3316 ^{C}	19453 ± 2053 ^{C}	38216 ± 3855 ^{D}
NR_TOT (t/ha)	43,47	< 0,0001	101	5553 ± 1356 ^{A}	2834 ± 381 ^{A}	12888 ± 2635 ^{B}	3639 ± 531 ^{A}	21518 ± 3097 ^{B}
NF_TOT (t/ha)	27,13	< 0,0001	99	3149 ± 529 ^{A,B}	2171 ± 341 ^{A}	7706 ± 1897 ^{B,C}	15814 ± 2201 ^{C}	16699 ± 2740 ^{C}
GAUL_NT (t/ha)	66,22	< 0,0001	99	7206 ± 1430 ^{A}	3250 ± 472 ^{B}	18311 ± 3455 ^{C,D}	19083 ± 2102 ^{D}	37931 ± 3863 ^{C}
GAUL_NR (t/ha)	49,10	< 0,0001	101	4127 ± 1362 ^{A}	1362 ± 343 ^{B}	11818 ± 2687 ^{C}	3382 ± 538 ^{A}	21308 ± 3094 ^{C}
GAUL_NF (t/ha)	31,61	< 0,0001	98	3079 ± 517 ^{A}	1887 ± 331 ^{B}	7492 ± 1898 ^{A,C}	15801 ± 2203 ^{C}	16622 ± 2742 ^{C}
ARB_NT (t/ha)	74,29	< 0,0001	101	1496 ± 72 ^{A,B}	1755 ± 69 ^{A}	1283 ± 188 ^{B}	369 ± 86 ^{C}	285 ± 46 ^{C}
ARB_NR (t/ha)	46,2	< 0,0001	101	1426 ± 86 ^{A}	1471 ± 106 ^{A}	1070 ± 200 ^{A}	357 ± 84 ^{B}	209 ± 42 ^{B}
ARB_NF (t/ha)	5,053	0,0107	43	70 ± 22 ^{A}	284 ± 73 ^{B}	214 ± 57 ^{A,B}	12 ± 4 ***	76 ± 16 ***
DQ_TOT (cm)	12,48	< 0,0001	97	14,0 ± 0,3 ^{A}	13,8 ± 0,2 ^{A}	13,1 ± 0,6 ^{A,B}	11,5 ± 0,4 ^{C}	12,2 ± 0,3 ^{B,C}
DQ_RES (cm)	13,06	< 0,0001	92	13,9 ± 0,4 ^{A}	14,3 ± 0,2 ^{A}	13,0 ± 0,5 ^{A,B}	11,6 ± 0,5 ^{B}	12,2 ± 0,4 ^{B}
DQ_FEU (cm)	6,067	0,0003	75	16,5 ± 1,3 ^{A}	13,1 ± 0,8 ^{B}	13,2 ± 1,0 ^{A,B}	11,2 ± 0,5 ^{B}	12,3 ± 0,5 ^{B}
G_TOT (m^2/ha)	**	**	**	22,7 ± 1,1 ^{A}	26,6 ± 1,3 ^{A}	17,8 ± 3,1 ^{B}	3,9 ± 0,9 ^{C}	3,7 ± 0,8 ^{C}

G_RES (m^2/ha)	**	**	**	21,4 ± 1,2 ^{A}	23,3 ± 1,6 ^{A}	14,2 ± 2,7 ^{B}	3,8 ± 0,9 ^{C}	2,7 ± 0,8 ^{C}
G_FEU (m^2/ha)	**	**	**	1,3 ± 0,4 ^{A}	3,3 ± 0,8 ^{A}	3,5 ± 1,3 ^{A}	0,12 ± 0,04 ^{B}	1,0 ± 0,2 ^{C}
PG_RES (%)	3,509	0,038	47	93,5 ± 2,3 ^{A}	86,9 ± 3,5 ^{A,B}	79,5 ± 6,0 ^{B}	84,9 ± 6,6 ***	65,1 ± 5,9 ***
PG_FEU (%)	3,509	0,038	47	6,5 ± 2,3 ^{A}	13,2 ± 3,5 ^{A,B}	20,5 ± 6,0 ^{B}	15,1 ± 6,6 ***	34,9 ± 5,9 ***
PG_EP (%)	10,28	< 0,0001	101	28,2 ± 4,3 ^{A}	61,4 ± 5,5 ^{B}	15,5 ± 4,6 ^{A,C}	47,5 ± 7,4 ^{A,B,C}	17,4 ± 4,8 ^{A}
PG_SAB (%)	8,162	< 0,0001	98	64,2 ± 4,0 ^{A}	25,5 ± 4,1 ^{B}	56,3 ± 7,2 ^{A,C}	29,2 ± 6,7 ^{B}	38,3 ± 5,0 ^{B,C}
PG_RDIV (%)	*	*	*	1,2 ± 0,6	0,1 ± 0,1	7,7 ± 3,9	8,3 ± 4,9	9,3 ± 3,1
PG_FTOL (%)	4,112	0,0040	98	2,4 ± 1,2 ^{A}	8,8 ± 2,9 ^{A,B}	9,1 ± 4,4 ^{A,B}	8,2 ± 5,5 ^{A}	18,6 ± 4,6 ^{B}
PG_FINT (%)	3,904	0,0055	98	3,5 ± 1,1 ^{A,B}	3,7 ± 1,2 ^{A,B}	8,5 ± 2,5 ^{B}	6,5 ± 4,3 ^{A}	13,3 ± 3,0 ^{B}
PG_FARB (%)	*	*	*	0,5 ± 0,4	0,5 ± 0,3	2,8 ± 2,1	0,3 ± 0,3	3,0 ± 1,2

Deux moyennes portant deux lettres différentes en indice sont significativement différentes.
* = l'analyse n'a pu être menée sur la variable car celle-ci ne vérifie pas les hypothèses sous-jacentes.
** = les peuplements ont été comparés au sein de chaque stade (3 m, 30 ans), mais pas entre stades (entre 3 m et 30 ans, sinon les hypothèses sous-jacentes aux analyses n'étaient pas respectées).
*** = seuls les types de peuplements d'un des deux stades de développement (3 m ou 30 ans) ont été comparés entre eux (sinon, les hypothèses sous-jacentes aux analyses n'étaient pas respectées). Les stades de peuplement dont la moyenne ± erreur standard est marquée des *** n'ont pas été comparés aux autres types de peuplements. En général, les données pour ce stade sont trop hétérogènes, et souvent non pertinentes.
N*_TOT = densité de tiges totale (NT), résineuses (NR) et feuillues (NF)
GAUL_N = densité de gaules (dhp < 9 cm) totale (T), résineuses (R) et feuillues (F)
ARB_N = densité d'arbres (dhp > 9 cm) totale (T), résineux (R) et feuillus (F)
DQ_ = diamètre quadratique moyen des arbres total (TOT), résineux (RES) et feuillus (FEU)
G_ = surface terrière totale (TOT), résineuse (RES) et feuillue (FEU)
PG_ = proportion de la surface terrière totale en résineux (RES), feuillus (FEU), épinettes (EP), Sapin baumier (SAB), résineux divers (RDIV), feuillus tolérants (FTOL), feuillus intolérants (FINT) et feuillus arbustifs (FARB)

Nombre de tiges total (gaules et arbres) :

En moyenne, tous les peuplements seraient éligibles aux financements proposés pour la réalisation des travaux forestiers (N > 2 500 t/ha, mais cela doit être vérifié peuplement par peuplement). Les comparaisons des densités de tiges sont faites dans la suite en distinguant les gaules (dhp < 9 cm) et les arbres (dhp > 9 cm).

Densités de gaules (dhp < 9 cm) :

Peuplements de 30 ans : les peuplements naturels présentent des densités de gaules (résineuses, feuillues et toutes essences confondues) significativement supérieures à celles des plantations. Les densités de gaules des peuplements éduqués sont intermédiaires entre celles des peuplements naturels et celles des plantations. Les différences avec ces deux types de peuplements sont généralement significatives.
Peuplements de 3 m : Là encore, les peuplements naturels présentent des densités de gaules résineuses et toutes essences confondues significativement supérieures à celles des plantations. Aucune différence significative de densité de gaules feuillues n'est en revanche observable entre ces peuplements.
Comparaison des stades : Les peuplements de 3 m présentent de très fortes densités de gaules feuillues et toutes essences confondues, significativement plus fortes que celles des peuplements éduqués et des plantations de 30 ans. Ce constat n'est pas applicable aux gaules résineuses.

Densités d'arbres (dhp > 9 cm) et surfaces terrières totales :

Peuplements de 30 ans : la densité totale des arbres des plantations est significativement supérieure à celle des peuplements naturels, celle des peuplements éduqués étant intermédiaire et non significativement différente des deux autres. La densité d'arbres résineux est équivalente entre les peuplements éduqués et les plantations, les peuplements naturels présentant une densité en moyenne plus faible, mais non significativement. Les plantations et les peuplements naturels présentent une densité d'arbres feuillus comparable, supérieure à celle des peuplements éduqués.
Les observations effectuées sur la densité des arbres s'appliquent également aux surfaces terrières des peuplements (cependant, cette fois, les différences entre peuplements éduqués et naturels de 30 ans sont significatives, sauf pour les feuillus).

Peuplements de 3 m : les plantations semblent présenter une densité d'arbres résineux et toutes essences confondues supérieure à celles des peuplements naturels. Ces différences ne sont cependant pas significatives, et les surfaces terrières résineuses et toutes essences confondues de ces peuplements sont très comparables. En revanche, on observe que les densités et les surfaces terrière feuillues des peuplements naturels sont très supérieures à celles des plantations (mais restent faibles dans l'absolu).
Comparaison entre stades : logiquement, les peuplements de 30 ans présentent des densités d'arbres et des surfaces terrières significativement supérieures à celles des peuplements de 3 m.

Diamètres quadratiques moyens :
Peuplements de 30 ans : on remarque que les diamètres quadratiques moyens total et résineux des peuplements éduqués et des plantations sont légèrement supérieurs à ceux des peuplements naturels, mais ces différences ne sont pas significatives. Le diamètre quadratique moyen feuillu est supérieur dans les peuplements éduqués par rapport aux plantations (différence significative), et par rapport aux peuplements naturels (tendance non significative).
Peuplements de 3 m : les arbres des peuplements naturels semblent en moyenne légèrement plus gros que ceux des plantations, mais cette différence n'est pas significative.

Composition en essences :
Peuplements de 30 ans : la proportion résineuse de la surface terrière totale des peuplements éduqués est significativement supérieure à celle des peuplements naturels de 30 ans, mais non à celle des plantations de 30 ans. Le constat opposé est bien entendu à établir pour la proportion feuillue de la surface terrière totale.
On observe également que les plantations présentent une proportion de surface terrière constituée d'épinettes significativement supérieure à celles des peuplements naturels et éduqués, tandis que ceux-ci présentent une proportion de surface terrière constituée de Sapin baumier significativement supérieure à celle des plantations.
Même si ces différences ne sont pas toujours significatives, que les analyses n'ont pas toujours été menées car les variables ne respectent pas les hypothèses statistiques de base et que ces proportions restent faibles dans l'absolu, on constate que la diversité en essences semble plus importante dans les peuplements naturels que dans les peuplements éduqués et les plantations (tout du moins en terme de surface terrière). En effet, les proportions de surface terrière en résineux divers (Thuya, Mélèze, Pruche, Pin blanc), en feuillus intolérants et en feuillus arbustifs sont supérieures dans les peuplements naturels par rapport aux autres types de peuplements. Enfin, les proportions de surface terrière en feuillus tolérants sont comparables dans les plantations et les peuplements naturels sont comparables, mais celles-ci sont significativement supérieures à celle des peuplements éduqués.
Peuplements de 3 m : les mêmes constats que pour les peuplements de 30 ans peuvent être établis.

Interprétation :
Peuplements de 30 ans :
Comparativement, les faibles densités d'arbres résineux et les fortes densités de gaules résineuses des peuplements naturels par rapport aux plantations s'expliquent par plusieurs facteurs :
– l'hétérogénéité de développement des peuplements naturels. En effet, contrairement aux plantations, les arbres y croissent de façon hétérogène, la compétition entre tiges n'y étant pas gérée comme dans les plantations. Les tiges passent donc en moyenne moins rapidement du stade de gaule au stade d'arbre,
– l'hétérogénéité du couvert des peuplements naturels permet probablement la germination et le développement de semences, permettant le renouvellement des gaules en sous-étage, ce qui n'est pas le cas dans les plantations (ou dans une bien moindre mesure),
– les mauvaises conditions de renouvellement naturel des peuplements sur les terrains mal drainés souvent occupés par les plantations y conduisent probablement à un déficit de gaules par rapport aux autres types de peuplements.

Ces observations expliquent sans doute également les différences de surface terrière entre les différents types de peuplements, puisque les diamètres quadratiques moyens des résineux varient assez peu entre ces peuplements et n'expliquent probablement pas ces différences. Il semblerait donc, en résumé, que

l'intensification de la sylviculture soit relativement efficace pour augmenter la surface terrière des peuplements, donc probablement leur volume commercial, au moins au stade étudié (puisque la hauteur dominante moyenne des plantations est significativement supérieure à celle des peuplements naturels, les peuplements éduqués étant en position intermédiaire et ne différant significativement d'aucun des deux autres types de peuplements, résultat non reproduit).

L'absence de différence significative entre les diamètres quadratiques moyens des différents types de peuplements peut être expliquée par plusieurs facteurs :
- l'intensification de la sylviculture (éclaircies précommerciales, dégagements, plantations) menée dans les peuplements étudiés est jusqu'ici peu efficace pour accroître le diamètre moyen des arbres. Il est possible que les fortes densités d'arbres limitent la croissance en diamètre,
- les peuplements étudiés sont relativement jeunes, il est probable que cette différence s'accroisse au cours du temps, pour peut-être devenir significative à mesure que les peuplements se développent (et dès les premières éclaircies commerciales),
- les mauvaises conditions de croissance, sur les terrains mal drainés où sont souvent installées les plantations, affectent sans doute également la croissance diamétrale des arbres des plantations.

Les faibles densités et surfaces terrières feuillues des peuplements éduqués sont probablement, comme on l'a vu plus haut, la conséquence directe des éclaircies précommerciales. On retrouve l'effet de ces éclaircies dans la composition en essences des peuplements éduqués. En effet, le Sapin baumier et les épinettes, essences objectif régénérées naturellement, sont largement dominantes dans ces peuplements, plus que dans les peuplements naturels. La plupart des autres essences, feuillues comme résineuses, ont été éliminées lors des éclaircies, diminuant ainsi la diversité de ces peuplements.
Le même constat peut être réalisé dans les plantations. L'essence majoritairement plantée, l'épinette (ou plutôt les différentes espèces d'épinettes) domine largement le peuplement. Le Sapin baumier, moins intéressant commercialement et non planté, voit sa part largement diminuer par rapport aux peuplements régénérés naturellement (naturels et éduqués). La plupart des autres essences sont également sous-représentées par rapport aux peuplements naturels, conséquence probable des dégagements, des éclaircies précommerciales et des conditions de croissance défavorables sur les terrains mal drainés généralement plantés.

Peuplements de 3 m :
On notera que les jeunes peuplements étudiés ne sont pas totalement homogènes, contrairement à ce qui est souvent reproché aux peuplements issus de coupes, notamment les plantations. En effet, une densité non négligeable d'arbres rémanents est présente dans ces peuplements (plus de 10 % de la densité et de la surface terrière des peuplements à 30 ans), et offre donc une certaine diversité de structure à ces jeunes peuplements.
Il est difficile de comparer les données relatives aux arbres au sein des peuplements de 3 m, car ces arbres sont des arbres hérités du peuplement précédent, et leurs caractéristiques sont probablement plus liées à la technique et aux règles de récolte qu'à des caractéristiques intrinsèques des peuplements étudiés.
Enfin, la forte densité de gaules résineuses observées dans les peuplements naturels est essentiellement due à la régénération du Sapin baumier, essence se régénérant beaucoup moins aisément dans les plantations souvent établies sur terrains mal drainés. La similarité des densités de gaules feuillues montre que les plantations présentent également une forte densité de feuillus dans leurs premières années. Leur diminution au fil du temps peut être due aux difficultés de survie dans des milieux mal drainés, ou aux effets des dégagements et des éclaircies précommerciales.

Points marquants : les peuplements naturels de 30 ans se distingueraient des peuplements aménagés de même stade par de plus fortes densités de gaules, de plus faibles densités d'arbres et une diversité en essences supérieure. L'aménagement permettrait un gain significatif en surface terrière par rapport aux peuplements naturels, mais la tendance est moins nette pour le gain en diamètre des arbres. Les données concernant les peuplements de 3 m sont plus difficilement interprétables, la plupart des arbres répertoriés y étant des arbres hérités du peuplement précédent.

3.1.1.5. Résumé des points marquants

Peuplements de 3 m :
La canopée (h > 4 m) des peuplements de 3 m est globalement très ouverte (autour de 30 % de couvert arborescent), mais la strate arbustive est très développée (autour de 60 % entre 1 et 4 m, et de 40 % entre 0,5 et 1 m) et les gaules sont abondantes. Le couvert latéral y est donc très important (autour de 90 % en moyenne).
Contrairement à l'idée que l'on peut s'en faire, ces peuplements ne semblent pas totalement homogènes. Une quantité non négligeable d'arbres laissés sur pied lors des coupes permet de maintenir une certaine diversité de structure horizontale et verticale. Ils présentent un volume de débris ligneux au sol et sur pied parfois assez important, mais très hétérogène.
Les peuplements naturels se démarquent assez peu des plantations. Il semblerait cependant que les plantations se distinguent par les points suivants :

- une plus faible diversité en essences des arbres rémanents,
- une quantité relativement faible de gaules résineuses,
- un très faible volume de chicots,
- une composition du couvert herbacé parfois original.

Peuplements de 30 ans :
La canopée (h > 4 m) des peuplements de 30 ans est globalement bien plus fermée que celles des peuplements de 3 m (entre 80 et 90 %). La densité et la surface terrière des arbres y sont fortes. Cependant, leur sous-étage (strates arbustives) est en moyenne bien moins développé, leurs couverts latéraux plus faibles. Cependant, il est difficile de décrire ensemble les peuplements de 30 ans, tant ils sont hétérogènes.
En effet, les peuplements naturels présentent des caractéristiques souvent assez proches des peuplements de 3 m : d'importants couverts arbustifs (près de 25 % entre 0,5 et 1 m) et latéraux (environ 75 % en moyenne), des densités de gaules fortes, et une quantité d'arbres plus faible. Tout ceci leur confère une hétérogénéité structurelle assez importante. Ils sont comparativement riches en éléments fauniques (chicots, débris ligneux), et leur diversité en essences est importante.
Les plantations, elles, présentent une canopée très fermée (89 % environ), des densités d'arbres et une surface terrière fortes (environ 1,4 fois plus importantes que celles des peuplements naturels). Cependant, leur strate arbustive est peu développée (moins de 5 % de couvert entre 0,5 et 1 m), l'obstruction latérale faible (autour de 45 % en moyenne). Elles sont pauvres en éléments fauniques (volume de débris ligneux au sol en moyenne dix fois moins important que dans les peuplements naturels, volume de chicots en moyenne six fois moins important), et leur diversité en essences est faible. Les résineux, et notamment les épinettes, dominent en effet largement les peuplements.
La plupart des caractéristiques des peuplements éduqués sont intermédiaires entre celles des peuplements naturels et celles des plantations (couverts arbustifs et latéraux, densités de gaules et d'arbres, etc.). Ils se distinguent cependant par leur appauvrissement en feuillus par rapport aux peuplements naturels, éliminés de toutes les strates lors des éclaircies précommerciales, une assez faible diversité en essences globale et une faible abondance d'éléments fauniques.

3.1.2. Données fauniques

3.1.2.1. Fèces de Lièvre d'Amérique

Tableau 6 : Résultats des comparaisons statistiques sur l'abondance des fèces de Lièvre d'Amérique.

	F	P	d.l.	PE30	PL30	PN30	PL3m	PN3m
FECES (nb/m^2)	4,664	0,0017	100	7,0 ± 0,9 ^{A,B}	6,0 ± 1,1 ^{A}	7,8 ± 1,6 ^{A,B}	16,0 ± 2,6 ^{B}	13,4 ± 1,7 ^{B}

Deux moyennes portant deux lettres différentes en indice sont significativement différentes.
FECES = densité de fèces de Lièvre d'Amérique

On constate que les peuplements de 3 m présentent des densités de fèces bien supérieures aux peuplements de 30 ans. Cependant, cette différence n'est statistiquement significative qu'entre les peuplements de 3m et les plantations de 30 ans. On n'observe en outre aucune différence significative ni parmi les peuplements de 3m, ni parmi les peuplements de 30 ans.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de la littérature traitant de la sélection des habitats par le Lièvre d'Amérique. Plusieurs travaux ont mis en évidence le fort lien entre couvert de protection et densités de lièvres. En effet, les couverts latéraux et arbustifs sont d'efficaces couverts de protection pour cette espèce, et peuvent également caractériser l'abondance des sources d'alimentation pour le lièvre – notamment en hiver (par exemple : Carreker, 1985 ; Ferron et Ouellet, 1992 ; Blanchette et al., 2003 ; Brugerolle, 2003). Or on a constaté plus haut (3.1.1.1) que les peuplements de 3 m présentent des couverts latéraux et arbustifs bas généralement significativement supérieurs à ceux des peuplements de 30 ans. L'étude de ces relations sera approfondie dans le 3.2.1.

N.B. : l'indépendance entre la densité de fèces relevée sur chaque site et le nombre de jours séparant le nettoyage des placettes (à l'automne) du le comptage des fèces (au printemps suivant) pour ces sites a été démontrée (F = 0,004795, P = 0,945, 103 d.l.).

Points marquants : les peuplements jeunes semblent accueillir une densité de lièvres plus importante que les peuplements plus âgés. Ceci s'explique probablement par leur strate arbustive plus développée qui constitue un meilleur couvert de protection pour le lièvre.

3.1.2.2. Présence d'amphibiens

Tableau 7 : Résultats des comparaisons statistiques sur les données de présence/absence des amphibiens.

	F	P	d.l.	PE30	PL30	PN30	PL3m	PN3m
AMPHIB_PA (%)	-	-	-	15,8 ± 8,6	25,0 ± 9,9	27,3 ± 14,1	7,4 ± 5,1	16,7 ± 6,9

Deux moyennes portant deux lettres différentes en indice sont significativement différentes.
– = la variable a été analysée grâce aux comparaisons basées sur la régression logistique. Les valeurs indiquées pour chaque type de peuplement correspondent aux pourcentages de sites avec présence d'amphibiens par type de peuplement.
AMPHIB_PA = proportion de sites avec présence d'amphibiens

On n'observe aucune différence significative de fréquentation par les amphibiens entre les différents types de peuplements. Cette absence de différence est probablement due à la très faible quantité d'observations de ces espèces, conséquence potentielle d'un protocole peu adapté (comme on l'a vu plus haut). Ce point est discuté dans la section 4.1.

Il est donc délicat et risqué d'interpréter les tendances qui ressortent de ces observations. Il est probable qu'un couvert dense (notamment arboré) permette de maintenir des conditions d'humidité au niveau du sol favorables pour les amphibiens. Les peuplements de 30 ans seraient donc plus favorables aux

amphibiens que les peuplements de 3 m, mais il est impossible d'émettre des hypothèses sur une quelconque sélection des peuplements selon leur nature (plantation, naturel ou éduqué). Il est également possible que les conditions de drainage des sites, le volume et la décomposition des débris ligneux au sol aient une influence importante sur la densité d'amphibiens dans ces sites. Ces hypothèses pourront être testées si les relevés des années à venir sont exploitables, mais on ne peut tirer aucune conclusion en se basant seulement sur les résultats exposés ci-dessus.

Aucune conclusion ne peut être tirée sur la fréquentation des différents types de peuplements par les amphibiens à cause du manque d'individus observés.

3.1.2.3. Données ornithologiques

Tableau 8 : Résultats des comparaisons statistiques sur les données ornithologiques.

	F	P	d.l.	PE30	PL30	PN30	PL3m	PN3m
BRGB *	22,22	< 0,0001	102	1,68 ± 0,28 ^{A}	0,30 ± 0,13 ^{B}	2,64 ± 0,64 ^{A,C}	4,44 ± 0,58 ^{C}	3,07 ± 0,34 ^{A,C}
PAJG *	1,172	0,3278	102	2,47 ± 0,47	1,40 ± 0,36	2,45 ± 0,43	2,41 ± 0,44	2,50 ± 0,37
ROCR *	4,890	0,0012	102	4,42 ± 0,42 ^{A}	2,70 ± 0,28 ^{B}	3,91 ± 0,59 ^{A,B}	2,26 ± 0,33 ^{B}	2,50 ± 0,44 ^{B}
GRDO *	2,094	0,0871	102	2,05 ± 0,44	1,10 ± 0,25	2,09 ± 0,49	1,19 ± 0,27	1,10 ± 0,27
APP_BM (%)	-	-	-	26,3 ± 10,4	30,0 ± 10,5	45,5 ± 15,7	25,9 ± 8,6	43,3 ± 9,2
APP_PACA (%)	-	-	-	26,3 ± 10,4 ^{A,B}	35,0 ± 10,9 ^{A,B}	27,3 ± 14,1 ^{A,B}	14,8 ± 7,0 ^{A}	50,0 ± 9,3 ^{B}

* : les valeurs présentées sont les moyennes du nombre d'observations de chaque espèce par site pour chaque type de peuplements.
Deux moyennes portant deux lettres différentes en indice sont significativement différentes.
– = la variable a été analysée grâce aux comparaisons basées sur la régression logistique. Les valeurs indiquées pour chaque type de peuplement correspondent aux pourcentages de sites avec présence de l'espèce par type de peuplement.
BRGB = abondance d'observations du Bruant à gorge blanche (écoutes)
PAJG = abondance d'observations de la Paruline à joues grises (écoutes)
ROCR = abondance d'observations du Roitelet à couronne rubis (écoutes)
GRDO = abondance d'observations de la Grive à dos olive (écoutes)
APP_BM = proportion des appels réalisés où des espèces liées au bois mort ont été observées
APP_PACA = proportion des appels réalisés où la Paruline du Canada a été observée

Seules les analyses menées sur l'espèce caractéristique d'un type de peuplement la plus fréquemment observée ont mis en évidence des différences significatives de fréquentation entre types de peuplements (celles menées sur la deuxième espèce la plus fréquemment observée n'ont pas mis en évidence de différence significative).

Le Bruant à gorge blanche, caractéristique des forêts relativement ouvertes et à fort couvert arbustif, a été observé significativement plus fréquemment dans les peuplements jeunes (particulièrement les jeunes plantations) et les peuplements naturels de 30 ans que dans les plantations et les peuplements éduqués de 30 ans. Ce patron semble facile à expliquer, notamment par la fermeture du couvert arboré et la densité du couvert arbustif (d'après le 3.1.1.1., les peuplements de 30 ans présentent une canopée relativement fermée et un couvert arbustif faible, ce que le Bruant à gorge blanche aurait tendance à ne pas sélectionner). La forte densité de cette espèce dans les peuplements naturels de 30 ans est en revanche plus difficilement explicable, mais pourrait être la conséquence d'un fort couvert arbustif dans ces peuplements comparativement aux plantations et aux peuplements éduqués de 30 ans.

La fréquentation de l'autre espèce caractéristique des forêts ouvertes à forte densité d'arbustes, la Paruline à joues grises, ne présente pas de différence significative entre les différents types de peuplements. Seules les plantations de 30 ans semblent présenter une densité d'observations plus faible que les autres peuplements, ce qui, là encore, est cohérent avec la non-sélection par cette espèce des

peuplements trop fermés à faible couvert arbustif. L'absence d'autres différences significatives pourrait être expliquée par une plus faible exigence de la Paruline à joues grises quant aux caractéristiques de peuplement que le Bruant à gorge blanche (au moins dans l'éventail de variabilité des peuplements étudiés dans ce travail), ou par un trop faible nombre d'observations.

Le Roitelet à couronne rubis, espèce liée aux forêts matures et relativement fermées dans cette partie du Québec, a été plus fréquemment observé dans les peuplements éduqués et naturels de 30 ans que dans les peuplements de 3 m et les plantations de 30 ans. Cette différence n'est cependant significative qu'entre les peuplements éduqués de 30 ans et les autres types de peuplements (hormis les peuplements naturels de 30 ans). Selon les exigences de cette espèce, il paraît logique que les peuplements de 30 ans présentent une densité d'observations supérieure aux peuplements de 3 m. La faible densité d'observations dans les plantations de 30 ans est cependant moins facilement explicable, puisque ces peuplements présentent un fort couvert arboré et une forte surface terrière, ce que cette espèce semble rechercher.

Un même patron est observable pour la Grive à dos olive, elle aussi liée aux forêts fermées et matures. Cependant, aucune différence significative de densité d'observation n'a été démontrée. Là encore, de plus faibles exigences ou un trop faible nombre d'observations pourraient expliquer cette absence de différence significative.

Les densités d'observations des espèces liées au bois mort (issue des données d'appel) ne présentent aucune différence significative selon les différents types de peuplements. Seule une légère différence semble apparaître entre les peuplements naturels de 30 ans et les autres types de peuplements, ces derniers semblent être légèrement moins fréquentés par les pics et les espèces liées au bois mort. Cette absence de différence significative pourrait là encore être expliquée par, entre autres, deux facteurs :
– la densité de ces espèces serait plus liée à un facteur ne variant pas de façon homogène selon les types de peuplements (par exemple, des facteurs liés aux chicots, comme on l'a vu plus haut au 3.1.1.3),
– la quantité d'observations de ces espèces est trop faible pour mettre en évidence des différences significatives de fréquentation (ce qui est très probable pour ces espèces).

La Paruline du Canada, espèce sensible liée aux forêts ouvertes à fort couvert arbustif, a été observée significativement plus fréquemment dans les peuplements naturels de 3 m que dans les plantations de 3 m. Aucune autre différence significative n'est à relever, même si la densité d'observations de cette espèce est globalement plus forte dans les peuplements naturels de 3 m que dans tous les autres types de peuplements. Il semble difficile d'expliquer ce patron de densités d'observations avec les variables dont on dispose (ce patron ne répond en effet pas directement à des exigences connues de cette espèce). Ces résultats peuvent donc être expliqués par une variable ne variant pas de façon homogène selon les différents types de peuplements, ou encore par un artefact dû à la faible quantité d'observations de cette espèce.

Les résultats des houspillages n'ont pas pu être exploités. En effet, les observations d'activités liées à la nidification (transport de nourriture, de matériel pour la construction du nid, etc.) ont été peu nombreuses (158 observations seulement pour les 107 sites), et les espèces caractéristiques des différents types forestiers (forêts fermées et ouvertes) ont été très rarement observées dans de telles activités (par exemple, Bruant à gorge blanche : 4 observations, Roitelet à couronne rubis : 6 observations). Aucune analyse n'a donc été menée. Ce point est discuté dans la section 4.

De façon générale, on observe donc que les peuplements de 30 ans sont plus susceptibles d'accueillir les espèces d'oiseaux connues pour être liées aux forêts matures et fermées, et les peuplements de 3 m semblent abriter plus d'individus des espèces liées aux forêts à la canopée ouverte et au fort couvert arbustif. Cependant, ce patron n'est pas toujours évident, probablement parce que les exigences des espèces ne se résument pas aux facteurs différant entre les divers types de peuplements, mais aussi à cause du manque certain d'observations pour toutes les espèces (voir 4.).

On remarque en outre que, quasi systématiquement, les plantations de 30 ans présentent une densité d'oiseaux observés plus faible que les peuplements éduqués et naturels de 30 ans (même si ces différences ne sont pas toujours significatives). Il n'existe pas de telle tendance générale entre les peuplements naturels et éduqués de 30 ans, ni entre peuplements naturels et plantations de 3 m.

3.2. *Résultats des sélections de modèles sur les espèces fauniques*

On rappelle que les sélections de modèles sur les espèces fauniques ont pour but d'identifier les variables de végétation et de paysage qui influent de façon importante sur la présence ou l'abondance de ces espèces. La sélection des variables candidates pour les modèles concernant les différentes espèces d'oiseaux s'est basée sur les informations de fréquentation d'habitat apportées par les références suivantes : Gauthier et Aubry, 1996 ; Paquin et Caron, 1998 ; Darveau et al., 2001.

3.2.1. *Lièvre d'Amérique*

Variables utilisées :
D'après la littérature, les principales caractéristiques de la végétation favorisant la fréquentation hivernale d'un peuplement par le Lièvre d'Amérique (celle qu'on étudie ici grâce à l'abondance des fèces déposées pendant l'hiver) peuvent être rassemblées en deux grands facteurs (Wolfe *et al.*, 1982 ; Blanchette *et al.*, 2003 ; Brugerolle, 2003) :
– le couvert de protection, qui permet au lièvre de se nourrir, se reposer et se déplacer à l'abri de ses prédateurs. D'après la littérature, les couverts arbustif et arborescent résineux rempliraient ce rôle en hiver (couvert dense et pérenne en hiver), en permettant un bon couvert latéral et vertical.
– les sources d'alimentation, en l'occurrence les jeunes tiges et rameaux feuillus en hiver,

Ces deux facteurs ont été traduits en trois variables relevées sur le terrain, afin de mener la sélection de modèles sur ces variables :
– le couvert latéral moyen, qui résume les couverts latéraux de 0 à 2 m des sites étudiés (mais aussi le couvert vertical à l'échelle du lièvre). Il englobe les couverts résineux et feuillus, mais est susceptible d'être un bon indice du couvert de protection pour le lièvre (Wolfe *et al.* , 1982. ; Brugerolle, 2003),
– le couvert arbustif haut feuillu (entre 1 et 4 m) qui traduit la nourriture disponible pour le lièvre en hiver (compte-tenu de l'épaisseur de la couche de neige qui empêche généralement le lièvre de s'alimenter à des hauteurs inférieures),
– le couvert arborescent résineux qui traduit le couvert de protection vertical *a priori* efficace en hiver , notamment contre les prédateurs aériens (Blanchette *et al.*, 2003).

À l'échelle du paysage, les trois variables utilisées sont :
– la proportion du territoire occupé par de la forêt dans un rayon de 2 000 m autour du site, le lièvre étant une espèce forestière,

– le pourcentage de perturbations humaines en forêt (c'est à dire en général des coupes partielles) dans un rayon de 2 000 m. En effet, d'après la littérature, le lièvre semble rechercher les peuplements à fort couvert de protection, couvert souvent amoindri par les coupes partielles,
– le pourcentage de peuplements forestiers dont la hauteur est comprise entre 2 et 7 m dans un rayon de 1000 m autour du site, le lièvre semblant fréquenter préférentiellement ce type de peuplements d'après les résultats de nos comparaisons vues plus haut.
On remarquera que les deux dernières variables ont été choisies pour étudier les effets, à l'échelle du paysage, de variables de végétation susceptibles d'expliquer, selon nos résultats, la fréquentation du lièvre à l'échelle du peuplement. Autrement dit, sachant que le lièvre fréquenterait de façon importante les peuplements jeunes et à fort couvert de protection (à l'échelle locale), la proportion de peuplements jeunes et à fort couvert de protection à l'échelle du paysage influence-t-elle également l'abondance de lièvre à l'échelle locale ?

Informations sur les modèles globaux :
– échelle du peuplement : P = 0,0001 ; R^2 = 0,19 ; 100 d.l.
– échelle du paysage : P = 0,0101 ; R^2 = 0,11 ; 101 d.l.

Résultats de la sélection de modèles et de l'inférence multimodèles :
Les principaux résultats du processus de sélection de modèles sur l'abondance du lièvre sont présentés dans le tableau ci-dessous. La variable à expliquer était la densité de fèces par site (transformée par la racine carrée), les variables explicatives étant transformées par la fonction asin($\sqrt{}$(x)).

Tableau 9 : Résultats des sélections de modèles sur l'abondance des fèces de Lièvre d'Amérique.

Variable	*Influence présumée*	*Importance*	*Influence réelle*
C_LATMOY	+	**oui**	+
C_ARBUHF	+	non	
C_ARBOR	+	non	
FOR_2000	+	non*	
PERHUM_2000	-	**oui**	-
H_2_7_1000	+	non*	

La variable est dite importante si le meilleur modèle selon le critère d'Akaike contient cette variable, ou si au moins un des modèles concurrençant le meilleur modèle (ΔAIC < 2) contient cette variable, et si l'intervalle de confiance à 95 % de l'estimé correspondant à cette variable (résultat de l'inférence multimodèles) exclut 0. Les variables contenues dans le meilleur modèle ou au moins un modèle concurrent, mais non importantes selon l'inférence multimodèles, sont marquées d'une astérisque.
Un signe positif traduit une influence positive de la variable (si les valeurs de la variable explicative augmentent, alors les valeurs de la variable à expliquer augmentent également). Un signe négatif traduit une influence négative de la variable.
C_LATMOY = couvert latéral moyen entre 0 et 2 m
C_ARBUHF = couvert arbustif haut (de 1 à 4 m) feuillu
C_ARBOR = couvert arborescent (> 4 m) résineux
FOR_2000 = proportion du paysage couvert par la forêt dans un rayon de 2 000 m autour du site
PERHUM_2000 = proportion des peuplements ayant subi une perturbation humaine dans un rayon de 2000 m autour du site
H_2_7_1000 = proportion des peuplements dont la hauteur est comprise entre 2 et 7 m dans un rayon de 1 000 m autour du site

Interprétation : le Lièvre d'Amérique fréquenterait préférentiellement les peuplements à fort couvert latéral moyen. Le couvert arborescent haut feuillu et le couvert arborescent résineux n'auraient en

revanche qu'une influence mineure voire pas d'influence sur la fréquentation des sites par cette espèce. Cela confirme le fait que le facteur principal déterminant l'abondance de lièvre dans un peuplement serait le couvert de protection, fait déjà mis en évidence dans la littérature. L'abondance de nourriture serait un facteur de sélection secondaire dans les peuplements étudiés, peut-être parce que cette abondance ne varie pas assez entre les différents peuplements pour mettre en évidence une relation entre l'abondance de lièvre et celle de la nourriture. De plus, peut-être la nourriture ne constituait-elle jamais un facteur limitant pour le lièvre dans les peuplements étudiés. Enfin, le couvert de déplacement serait également un facteur secondaire pour l'abondance du lièvre dans un peuplement, peut-être car cette variable n'agit pas à l'échelle du peuplement mais dans les peuplements l'entourant, ou encore car la variable utilisée ne traduit pas correctement ce couvert de déplacement.
À l'échelle du paysage, seul le pourcentage de peuplements partiellement perturbés par l'homme aurait une influence sur l'abondance de lièvre à l'échelle locale. Cela confirmerait l'importance des peuplements apportant un bon couvert de protection au lièvre à l'échelle du paysage. Les autres facteurs ne seraient pas des facteurs limitant dans les conditions étudiées, ou n'auraient aucune influence sur le lièvre.
Les résultats des sélections de modèles à l'échelle du paysage ne seront pas interprétés plus profondément, car ces résultats semblent discutables (voir 4.1.).

En résumé, le Lièvre d'Amérique semble sélectionner les peuplements présentant un couvert de protection important (couvert latéral moyen élevé). Aucun des autres facteurs de végétation étudiés ne semble influencer fortement la fréquentation des peuplements par le lièvre.

3.2.2. Oiseaux des forêts fermées

Variables utilisées :
Les variables utilisées lors de la sélection de modèles sur l'abondance des deux espèces d'oiseaux des forêts fermées sont :
– le couvert arborescent total, traduisant la fermeture de la canopée à laquelle ces espèces réagissent *a priori* positivement,
– le couvert latéral moyen, traduisant la densité du sous-étage à laquelle ces espèces réagissent *a priori* négativement,
– la surface terrière totale, variable qui traduit le stade de développement des peuplements. En considérant des conditions de développement comparables entre les différents peuplements (ce qui est discutable mais non aberrant), les peuplements les plus matures présentent des surfaces terrières élevées, et seraient fréquentés par ces espèces. Les peuplements les plus jeunes, ouverts, et immatures présentent des surfaces terrières faibles et seraient moins fréquentés par ces espèces.

À l'échelle du paysage, les variables utilisées sont :
– la proportion du territoire occupé par de la forêt dans un rayon de 50 m autour du site, ces espèces étant forestières, et ayant *a priori* besoin d'un couvert forestier continu relativement étendu,
– la proportion des forêts perturbées partiellement par l'homme et par des événements naturels (par exemple : châblis partiels) dans un rayon de 2 000 m. En effet ces espèces, affectionnant *a priori* les forêts matures et fermées, seraient supposées ne fréquenter que peu les peuplements perturbés,
– la proportion de forêts de plus de 40 ans, susceptibles de présenter au moins certains attributs des forêts matures (couvert fermé, sous étage dégagé, etc.), dans un rayon de 100 m.

Les variables à expliquer sont les abondances des deux espèces étudiées (Roitelet à couronne rubis et Grive à dos olive), relevées lors des écoutes, et transformées par la racine carrée. Toutes les variables explicatives ont été transformées par la fonction asin($\sqrt{}$(x)), sauf la surface terrière totale qui n'a pas été transformée.

Information sur les modèles globaux :

- Roitelet à couronne rubis :
  - échelle du peuplement : $P < 0,0001$; $R^2 = 0,23$; 98 d.l.
  - échelle du paysage : $P < 0,0001$; $R^2 = 0,27$; 103 d.l.
- Grive à dos olive :
  - échelle du peuplement : $P < 0,0001$; $R^2 = 0,27$; 98 d.l.
  - échelle du paysage : $P < 0,0001$; $R^2 = 0,22$; 103 d.l.

Résultats :

- Roitelet à couronne rubis :

Tableau 10 : Résultats des sélections de modèles sur l'abondance du Roitelet à couronne rubis.

Variable	*Influence présumée*	*Importance*	*Influence réelle*
C_ARBOT	+	non*	
C_LATMOY	-	**oui**	+
G_TOT	+	**oui**	+
FOR_50	+	**oui**	-
PERTOT_2000	-	non*	
AGE_40P_100	+	**oui**	-

La variable est dite importante si le meilleur modèle selon le critère d'Akaike contient cette variable, ou si au moins un des modèles concurrençant le meilleur modèle ($\Delta AIC < 2$) contient cette variable, et si l'intervalle de confiance à 95 % de l'estimé correspondant à cette variable (résultat de l'inférence multimodèles) exclut 0. Les variables contenues dans le meilleur modèle ou au moins un modèle concurrent, mais non importantes selon l'inférence multimodèles, sont marquées d'une astérisque.
Un signe positif traduit une influence positive de la variable (si les valeurs de la variable explicative augmentent, alors les valeurs de la variable à expliquer augmentent également). Un signe négatif traduit une influence négative de la variable.
C_ARBOT = couvert arborescent (> 4 m) total
C_LATMOY = couvert latéral moyen entre 0 et 2 m
G_TOT = surface terrière totale
FOR_50 = proportion du paysage couvert par la forêt dans un rayon de 50 m autour du site
PERTOT_2000 = proportion des peuplements ayant subi une perturbation humaine ou naturelle dans un rayon de 2000 m autour du site
AGE_40P_100 = proportion des peuplements de plus de 40 ans dans un rayon de 100 m autour du site

- Grive à dos olive :

Tableau 11 : Résultats des sélections de modèles sur l'abondance de la Grive à dos olive.

Variable	*Influence présumée*	*Importance*	*Influence réelle*
C_ARBOT	+	non*	
C_LATMOY	-	**oui**	+
G_TOT	+	**oui**	+
FOR_50	+	non*	

Variable	*Influence présumée*	*Importance*	*Influence réelle*
PERTOT_2000	-	non*	
AGE_40P_100	**+**	**oui**	**-**

La variable est dite importante si le meilleur modèle selon le critère d'Akaike contient cette variable, ou si au moins un des modèles concurrençant le meilleur modèle (ΔAIC < 2) contient cette variable, et si l'intervalle de confiance à 95 % de l'estimé correspondant à cette variable (résultat de l'inférence multimodèles) exclut 0. Les variables contenues dans le meilleur modèle ou au moins un modèle concurrent, mais non importantes selon l'inférence multimodèles, sont marquées d'une astérisque.
Un signe positif traduit une influence positive de la variable (si les valeurs de la variable explicative augmentent, alors les valeurs de la variable à expliquer augmentent également). Un signe négatif traduit une influence négative de la variable.
C_ARBOT = couvert arborescent (> 4 m) total
C_LATMOY = couvert latéral moyen entre 0 et 2 m
G_TOT = surface terrière totale
FOR_50 = proportion du paysage couvert par la forêt dans un rayon de 50 m autour du site
PERTOT_2000 = proportion des peuplements ayant subi une perturbation humaine ou naturelle dans un rayon de 2000 m autour du site
AGE_40P_100 = proportion des peuplements de plus de 40 ans dans un rayon de 100 m autour du site
Interprétation : l'importance de la surface terrière totale est confirmée pour les deux espèces. Celles-ci fréquentent bien préférentiellement les peuplements à forte surface terrière.
Le couvert latéral moyen est également un facteur important pour la fréquentation des peuplements par ces espèces. Cependant, son influence est opposée à l'influence supposée : le Roitelet à couronne rubis et la Grive à dos olive favoriseraient les peuplements à fort couvert latéral, donc à la strate arbustive développée, alors qu'on attendait plutôt une sélection des peuplements à faible couvert latéral et à strate arbustive peu développée par ces espèces.
En revanche, le couvert arborescent total semble un facteur secondaire pour ces oiseaux, car il ne semble pas important selon les résultats de l'inférence multimodèles.

Il apparaît donc que ces deux espèces fréquentent préférentiellement des peuplements à relativement fort capital sur pied, donc théoriquement relativement fermés (même si le couvert arborescent total n'est pas fortement corrélé à la surface terrière et ne semble pas influencer les espèces de manière importante). Ceci est en accord avec les habitudes connues de ces espèces. Cependant, celles-ci affectionnent les peuplements présentant un couvert latéral important (donc une strate arbustive développée), ce qui ne correspond pas aux habitudes connues de ces espèces, qu'on retrouve donc dans des peuplements aux attributs différents des habitats optimaux. Différentes raisons peuvent être envisagées :

- leurs territoires recouvrent ces peuplements, car un territoire contient une certaine variété de peuplements qui permet à l'oiseau de mener ses différentes activités (alimentation, repos, nidification),
- les peuplements optimaux sont trop rares dans ces paysages,
- la dispersion des jeunes dans un contexte de fortes densités de ces espèces amène à la colonisation de peuplements *a priori* moins favorables.

Il est également possible que les exigences réelles des espèces étudiées ne correspondent pas exactement à celles posées en hypothèses, ou encore que ces exigences soient peu strictes.
Si cette étude se focalisait sur ces espèces, il serait intéressant d'en comparer les densités dans des peuplements plus matures et plus ouverts.

À l'échelle du paysage, les résultats sont difficilement explicables. Pour le roitelet, le pourcentage du territoire couvert de forêts à 50 m et le pourcentage de forêts de plus de 40 ans à 100 m semblent importants. Mais leur influence est opposée à l'hypothèse de départ. Pour la grive, seule la proportion de forêts de plus de 40 ans serait importante, et son influence est également opposée à l'hypothèse *a priori*. La proportion de perturbations partielles totale ne serait importante pour aucune des deux espèces.
Ces résultats ne seront pas interprétés mais sont discutés dans la section 4.1.

En résumé, le Roitelet à couronne rubis et la Grive à dos olive sélectionneraient les peuplements à fort capital sur pied et au couvert de protection important (couvert latéral moyen élevé). La fermeture du couvert arborescent ne semble en revanche pas influencer de façon importante la fréquentation des peuplements par ces deux espèces.

3.2.3. Oiseaux des forêts ouvertes

Variables utilisées :
Les variables utilisées lors de la sélection de modèles sur l'abondance des deux espèces d'oiseaux des forêts ouvertes sont :
– le couvert arborescent total, traduisant la fermeture de la canopée à laquelle ces espèces réagissent *a priori* négativement,
– le couvert latéral moyen, traduisant la densité du sous-étage à laquelle ces espèces réagissent *a priori* positivement,
– le couvert arbustif haut total, traduisant le couvert vertical entre 1 et 4 m, auquel ces espèces sont supposées réagir positivement.

À l'échelle du paysage, les variables utilisées sont :
– la proportion de la surface forestière occupée des peuplements de 2 à 7 m de hauteur dans un rayon de 2 000 m. Ces espèces appréciant *a priori* les milieux ouverts au couvert arbustif dense, elles sont susceptibles de privilégier les paysages où de tels peuplements, en général jeunes ou peu développés, abondent,
– la proportion des forêts perturbées partiellement par l'homme et par des événements naturels dans un rayon de 1 000 m. En effet ces espèces, fréquentant *a priori* les forêts ouvertes, seraient supposées fréquenter ces peuplements perturbés.

Les variables à expliquer sont les abondances des deux espèces étudiées (Bruant à gorge blanche et Paruline à joues grises), relevées lors des écoutes, et transformées par la racine carrée. Toutes les variables explicatives ont été transformées par la fonction asin($\sqrt{}$(x)).

Information sur les modèles globaux :
• Bruant à gorge blanche :
– échelle du peuplement : $P < 0{,}0001$; $R^2 = 0{,}46$; 98 d.l.
– échelle du paysage : $P = 0{,}0012$; $R^2 = 0{,}12$; 104 d.l.
• Paruline à joues grises
– échelle du peuplement : $P < 0{,}0043$; $R^2 = 0{,}12$; 98 d.l.
– échelle du paysage : non réalisé car ne respecte pas les hypothèses de l'analyse

• Bruant à gorge blanche :

Tableau 12 : Résultats des sélections de modèles sur l'abondance du Bruant à gorge blanche.

Variable	*Influence présumée*	*Importance*	*Influence réelle*
C_ARBOT	**-**	**oui**	**-**
C_LATMOY	**+**	**oui**	**+**
C_ARBUHT	+	non	
H2_7_2000	**+**	**oui**	**-**

Variable	Influence présumée	Importance	Influence réelle
PERTOT_2000	+	**oui**	-

La variable est dite importante si le meilleur modèle selon le critère d'Akaike contient cette variable, ou si au moins un des modèles concurrençant le meilleur modèle (ΔAIC < 2) contient cette variable, et si l'intervalle de confiance à 95 % de l'estimé correspondant à cette variable (résultat de l'inférence multimodèles) exclut 0. Les variables contenues dans le meilleur modèle ou au moins un modèle concurrent, mais non importantes selon l'inférence multimodèles, sont marquées d'une astérisque.
Un signe positif traduit une influence positive de la variable (si les valeurs de la variable explicative augmentent, alors les valeurs de la variable à expliquer augmentent également). Un signe négatif traduit une influence négative de la variable.
C_ARBOT = couvert arborescent (> 4 m) total
C_LATMOY = couvert latéral moyen entre 0 et 2 m
C_ARBUHT = couvert arbustif haut (de 1 à 4 m) total
H2_7_2000 = proportion des peuplements dont la hauteur est comprise entre 2 et 7 m dans un rayon de 2 000 m autour du site
PERTOT_2000 = proportion des peuplements ayant subi une perturbation humaine ou naturelle dans un rayon de 2000 m autour du site

- Paruline à joues grises

Tableau 13 : Résultats des sélections de modèles sur l'abondance de la Paruline à joues grises.

Variable	Influence présumée	Importance	Influence réelle
C_ARBOT	-	**oui**	-
C_LATMOY	+	non*	
C_ARBUHT	+	non*	
H2_7_2000	.	.	
PERTOT_2000	.	.	

La variable est dite importante si le meilleur modèle selon le critère d'Akaike contient cette variable, ou si au moins un des modèles concurrençant le meilleur modèle (ΔAIC < 2) contient cette variable, et si l'intervalle de confiance à 95 % de l'estimé correspondant à cette variable (résultat de l'inférence multimodèles) exclut 0. Les variables contenues dans le meilleur modèle ou au moins un modèle concurrent, mais non importantes selon l'inférence multimodèles, sont marquées d'une astérisque.
Un signe positif traduit une influence positive de la variable (si les valeurs de la variable explicative augmentent, alors les valeurs de la variable à expliquer augmentent également). Un signe négatif traduit une influence négative de la variable.
C_ARBOT = couvert arborescent (> 4 m) total
C_LATMOY = couvert latéral moyen entre 0 et 2 m
C_ARBUHT = couvert arbustif haut (de 1 à 4 m) total
H2_7_2000 = proportion des peuplements dont la hauteur est comprise entre 2 et 7 m dans un rayon de 2 000 m autour du site
PERTOT_2000 = proportion des peuplements ayant subi une perturbation humaine ou naturelle dans un rayon de 2000 m autour du site

Interprétation : ces résultats confirment l'importance d'un couvert arborescent ouvert pour ces deux espèces. Ils confirment également l'importance d'un fort couvert latéral (donc arbustif bas surtout) pour le Bruant à gorge blanche, mais pas pour la Paruline à joues grises. Le couvert arbustif haut ne semble en revanche important pour aucune des deux espèces. Le Bruant à gorge blanche est probablement dépendant du couvert de protection offert par la strate arbustive basse, car cet oiseau passe beaucoup de temps au sol, ou peut-être est-ce la strate la plus limitante dans les peuplements étudiés (ses valeurs de recouvrement sont en moyenne plus basses que celles de la strate arbustive haute). Les exigences de la Paruline à joues grises quant à la densité des couverts arbustifs sont en outre peut-être moins fortes que

celles du Bruant à gorge blanche. Elle semblerait de plus affectionner particulièrement les peuplements dont la végétation de hauteur inférieure à 3 m est dense mais dominée par les feuillus, ce qui n'est pas le cas dans nos peuplements.
Le Bruant à gorge blanche semble également délaisser les peuplements situés dans des paysages riches en peuplements de 2 à 7 mètres et en peuplements perturbés partiellement. Ces deux réactions sont contradictoires avec les attentes concernant cette espèce. Peut-être cette espèce délaisse-t-elle les peuplements perturbés (dans notre cas, ce sont majoritairement des peuplements ayant subi des coupes partielles telles que des éclaircies précommerciales) car, entre autres, ceux-ci présenteraient un couvert arbustif faible suite aux perturbations. Cependant, l'échelle à laquelle ces facteurs sont pris en compte (2 000m de rayon autour des sites, soit une surface d'environ 1 260ha) comparée à la taille du territoire de cette espèce (entre 0,4 et 1,3 ha en forêt ouverte dominée par les conifères – Lainevool in Lowther et Falls, 1968 ; ou entre 0,02 et 1,1 ha au parc Algonquin, en Ontario – Martin, 1960), soulève la question de la pertinence de l'utilisation d'une telle variable.

En résumé, le Bruant à gorge blanche et la Paruline à joues grises sélectionneraient tous deux les peuplements dont la strate arborescente est relativement ouverte. L'influence des autres facteurs étudiés dépendrait des espèces.

3.2.4. Espèces liées au bois mort

Variables utilisées :
Les variables utilisées lors de la sélection de modèles sur les données de présence des espèces liées au bois mort (résultats des appels) dans les peuplements étudiés sont :
- le volume de chicots par site,
- le diamètre moyen des chicots par site,
- le stade de décomposition moyen des chicots par site.

De fortes valeurs de ces trois variables sont supposées avoir un effet positif sur la présence des espèces liées au bois mort.

Cependant, le volume de chicots par site est disponible pour tous les sites étudiés, mais le diamètre moyen et le stade de décomposition moyen des chicots ne sont disponibles que pour les sites où des chicots ont été recensés. Afin que les analyses soient valides, ces trois variables ont été utilisées séparément : une régression logistique simple a été réalisée entre les données de présence/absence des espèces liées au bois mort et le volume de chicots par site pour tous les sites, et un processus de sélection de modèles logistiques a été mené entre les données de présence/absence des espèces liées au bois mort et les diamètres et stades de décomposition moyens des chicots pour les sites où des chicots ont été recensés.

Ces espèces possédant des exigences variées en matière d'habitat, aucune autre variable de végétation ni de paysage n'a été testée.

Résultats :
Les données de présence des espèces liées au bois mort ne semblent liées de façon importante ni au volume de chicots sur les sites (P-ajustement = 0,93 et pseudo-R^2 = 0,059), ni au diamètre ni au stade de décomposition moyens des chicots sur les sites (P-ajustement = 0,81 et pseudo-R^2 = 0,014).

Interprétation :
Les espèces liées au bois mort semblent donc ne fréquenter préférentiellement ni les peuplements présentant des forts volumes de chicots, ni ceux présentant un diamètre moyen des chicots important ou un stade de décomposition de ces chicots important.

Les raisons suivantes pourraient expliquer ces observations :
– certaines des espèces étudiées ont des territoires dépassant l'échelle du peuplement. Par exemple, la taille du territoire du grand pic (Dryocopus pileatus) dépasserait les 100 ha (130 à 140 ha pendant la saison de reproduction en Oregon, Bull et Meslow, 1977 ; 53 à 160 ha dans le Missouri, Renken et Wiggers, 1989). Ces derniers ont d'ailleurs montré que la taille du territoire du grand pic est inversement proportionnelle à, entre autres, la densité de chicots et d'arbres morts. Ces espèces se nourrissent donc dans plusieurs peuplements proches (en Chaudière-Appalaches, la taille des peuplements est en général de quelques dizaines d'hectares), pas nécessairement les plus favorables *a priori*. Il est donc possible qu'à l'échelle du peuplement échantillonné, les pics fréquentent des peuplements où les chicots sont rares, mais qu'à une échelle plus large ceux-ci soient plus abondants. Il faudrait donc être capable d'évaluer la densité de chicots à une échelle plus large (à quelques centaines de mètres autour du centre du site pour le grand pic) pour pouvoir étudier ces relations. Il faudrait de plus étudier l'effet de l'appel sur ces espèces. En effet, ces individus sont possiblement attirés dans le peuplement étudié par l'appel, alors qu'ils fréquentaient un peuplement adjacent, ce qui pourrait fausser les interprétations,
– le manque de données global pose une fois encore un problème lors des analyses. Dans la plupart des sites, un seul individu au plus a été observé, toutes espèces confondues. Cela est suffisant pour mener des analyses sur les données de présence, mais leur pertinence est discutable, d'où, possiblement, l'absence de résultats.

Le fait qu'aucune relation ne puisse être mise en évidence entre ces espèces et les caractéristiques des chicots au niveau des sites serait donc plus lié à des problèmes de faible abondance de ces espèces, voire à un problème d'échelle à laquelle ces relations sont étudiées plutôt qu'à une absence réelle de relation.

> Aucune tendance n'a pu être mise en évidence quant à la fréquentation des différents types de peuplement par les espèces liées au bois mort. Cela est probablement dû à un manque d'observations et à des problèmes de méthodologie.

3.2.5. Paruline du Canada

Variables utilisées :
La Paruline du Canada est une espèce de forêts ouvertes à strate arbustive dense. Les variables utilisées pour la sélection de modèles sont donc les mêmes que celles utilisées pour les espèces de forêt ouverte.

À l'échelle du peuplement, ce sont :
– le couvert arborescent total,
– le couvert latéral moyen,
– le couvert arbustif haut total.

À l'échelle du paysage, les variables utilisées sont :
– la proportion de la surface forestière occupée des peuplements de 2 à 7 m de hauteur dans un rayon de 2 000 m.
– la proportion des forêts perturbées partiellement par l'homme et par des événements naturels dans un rayon de 1 000 m.

Informations sur les modèles globaux :
– échelle du peuplement : P-ajustement = 0,24 ; pseudo-R^2 = 0,095 ; 106 d.l.
– échelle du paysage : P-ajustement = 0,20 ; pseudo-R^2 = 0,038 ; 104 d.l.

Résultats :

Tableau 14 : Résultats des sélections de modèles sur la présence de la Paruline du Canada.

Variable	*Influence présumée*	*Importance*	*Influence réelle*
C_ARBOT	-	non*	
C_LATMOY	+	non	
C_ARBUHT	+	non*	
H2_7_2000	+	-	
PERTOT_2000	+	-	

La variable est dite importante si le meilleur modèle selon le critère d'Akaike contient cette variable, ou si au moins un des modèles concurrençant le meilleur modèle ($\Delta AIC < 2$) contient cette variable, et si l'intervalle de confiance à 95 % de l'estimé correspondant à cette variable (résultat de l'inférence multimodèles) exclut 0. Les variables contenues dans le meilleur modèle ou au moins un modèle concurrent, mais non importantes selon l'inférence multimodèles, sont marquées d'une astérisque.
Un signe positif traduit une influence positive de la variable (si les valeurs de la variable explicative augmentent, alors les valeurs de la variable à expliquer augmentent également). Un signe négatif traduit une influence négative de la variable.
C_ARBOT = couvert arborescent (> 4 m) total
C_LATMOY = couvert latéral moyen entre 0 et 2 m
C_ARBUHT = couvert arbustif haut (de 1 à 4 m) total
H2_7_2000 = proportion des peuplements dont la hauteur est comprise entre 2 et 7 m dans un rayon de 2 000 m autour du site
PERTOT_2000 = proportion des peuplements ayant subi une perturbation humaine ou naturelle dans un rayon de 2000 m autour du site

Interprétation :

Les modèles globaux expliquent globalement très peu les données de présence de la Paruline du Canada (très faibles pseudo-R^2). Aucune variable ne sort comme importante du processus de sélection de modèles. Ces résultats sont probablement, encore une fois, plus le fait d'un manque de données que d'une absence de réaction aux caractéristiques de la végétation et du paysage. Les faibles données d'abondance ne permettant pas de mener des sélections de modèles linéaires, et les modèles logistiques expliquant peu la présence de cette espèce, on ne peut tirer de conclusion sur les liens entre la présence de la Paruline du Canada et les caractéristiques du peuplement et du paysage fréquentés.

Aucune tendance n'a pu être mise en évidence quant à la fréquentation des différents types de peuplement par la Paruline du Canada. Cela est probablement dû à un manque d'observations.

3.2.6. Résumé des points marquants

En résumé, les relations entre la faune et la végétation varient selon les espèces. Par exemple, certaines espèces comme le Bruant à gorge blanche et le Lièvre d'Amérique semblent plutôt fréquenter les peuplements jeunes à canopée ouverte et à fort couvert latéral, tandis d'autres comme le Roitelet à couronne rubis semblent sélectionner les peuplements à capital sur pied plus important.
Probablement à cause du manque de données exploitables, l'effet attendu de plusieurs variables de la végétation sur la faune n'a pas été mis en évidence (comme par exemple l'effet de l'abondance et des caractéristiques des chicots sur les espèces liées au bois mort).
Cependant, une caractéristique de la végétation est presque toujours sortie comme importante lors des sélections de modèles pour les espèces étudiées, que ce soit le Lièvre d'Amérique, les oiseaux de forêts ouvertes ou fermées : le couvert latéral. Un fort couvert latéral permet une protection efficace contre la prédation, et probablement contre les rigueurs météorologiques, mais aussi une source d'alimentation abondante (pour les herbivores mais aussi les insectivores, les insectes abondant dans les peuplements à fort couvert arbustif). Ce sont donc des milieux privilégiés pour l'alimentation, le déplacement, le repos, la nidification, etc. Ce constat va dans le sens de nombreuses études sur la faune, notamment celles traitant du Lièvre d'Amérique. L'importance de l'abondance du couvert latéral pour la faune mise en évidence dans cette étude implique la nécessité de prendre en compte ce facteur pour adapter la sylviculture à la conservation de l'abondance et de la diversité de la faune dans les forêts régionales. Ce point est traité dans le 4.2.

Les relations faune-paysage n'ont malheureusement pas pu être mises en évidence lors de nos analyses, ou tout au moins pas de manière concluante ni fiable. Ce point est analysé dans le 4.1.

4. Discussion

4.1. Critique des résultats et propositions d'amélioration des techniques d'inventaires

Le problème majeur rencontré lors de la réalisation des analyses statistiques a été le manque global de données pour de nombreuses espèces. Souvent, ce manque de données est dû à des problèmes liés au protocole expérimental. Dans cette section, ces problèmes sont exposés et, si possible, des propositions de correction de ces problèmes sont apportées.

4.1.1. Tétras du Canada

Le manque de données concernant cette espèce est très probablement dû à un début trop tardif des activités d'appel (la plupart des appels a été réalisée à partir de fin mai 2009). Lors d'une activité comparable en 2010, le pic de réponse à l'appel (saison de reproduction) a eu lieu fin avril-début mai, même s'il fut probablement légèrement avancé en réponse aux conditions climatiques exceptionnellement clémentes lors de l'hiver 2009 et du printemps 2010 (Macabiau, comm. pers.). Il serait préférable, lors des prochaines campagnes de relevés, de commencer cette activité plus tôt (première moitié du mois de mai), et de concentrer les appels lors de la relativement courte période de reproduction. Un suivi continu de la réponse des tétras à l'appel à partir de la fin du mois d'avril serait idéal afin de détecter la période optimale pour lancer les activités d'appel sur tous les sites. En effet, un étalement des appels sur plusieurs semaines risque d'apporter un biais à ces données, puisque certains sites seraient relevés hors du pic de reproduction, d'autres le seraient pendant cette période. Si les données des prochaines années sont exploitables, il sera possible de comparer les différents types de peuplements entre eux, mais il sera impossible de comparer les densités de réponse après travaux à celles avant travaux.

4.1.2. Amphibiens et reptiles

Le manque de données concernant les amphibiens et les reptiles est probablement dû aux piètres qualités d'abri que constituent les planchettes de relevé neuves pour ces espèces. Les planchettes se détérioreront avec le temps, constituant donc de meilleurs abris pour les amphibiens et les reptiles, mais cette méthode pose plusieurs problèmes :

- la détérioration continue des planchettes constitue un biais pour ces données. En effet, plus les années passent, plus ces planchettes deviennent des abris potentiellement favorables à ces espèces. Leurs densités augmenteraient donc potentiellement au cours du temps indépendamment de l'évolution de la qualité des peuplements. De plus, les planchettes ne se détériorant probablement pas de la même façon dans les différents types de peuplements (détérioration sans doute plus rapide dans les peuplements jeunes et ouverts que dans les peuplements plus vieux et fermés), il sera également difficile de comparer les densités d'amphibiens et reptiles entre types de peuplements. Il faudra donc tenir compte de ces facteurs lors de l'analyse des résultats à venir,
- plusieurs planchettes ne sont pas retrouvées au cours du temps. Elles sont alors remplacées par des planchettes neuves, ce qui risque à nouveau de biaiser les résultats si la proportion de planchettes remplacées varie selon les types de peuplements,
- dans des peuplements naturellement favorables aux amphibiens (*a priori* : des peuplements fermés, au sol humide et riches en débris ligneux en décomposition comme les peuplements naturels de 30 ans), il est probable que ces espèces soient moins enclines à fréquenter les planchettes que dans des peuplements peu favorables, aux abris rares (*a priori* : peuplements ouverts, secs et pauvres en débris ligneux comme les plantations de 3m). Cela peut donc apporter un biais supplémentaire aux résultats.

En résumé, si cette méthode est intéressante, elle est potentiellement sujette à plusieurs biais dont il faudra tenir compte lors de l'interprétation des résultats. Quelques adaptations pourraient être mises en place pour atténuer ces biais ou les prendre en compte, telles que le relevé d'un code de dégradation des planchettes en même temps que le relevé du nombre d'amphibiens, la mise en place d'une autre méthode de relevé des amphibiens et reptiles telle que la méthode de comptage sous débris ligneux (Corn et Bury, 1990), afin de comparer les résultats des deux méthodes, ou encore le remplacement des planchettes disparues par des planchettes déjà détériorées. L'exploitation des résultats devra toujours se faire en tenant compte des biais potentiels.

4.1.3. Données sur les oiseaux chanteurs issues des écoutes

Globalement, les données concernant les oiseaux chanteurs sont exploitables, mais leurs limites apparaissent rapidement.

- Seules les données concernant les espèces les plus abondantes sont exploitables par la méthode utilisée dans cette étude (analyses portant sur une espèce à la fois). La plupart des espèces ont été observées trop peu de fois pour pouvoir mener des analyses sur celles-ci. Or les espèces les plus abondantes ont souvent des exigences en termes d'habitat relativement faibles, ce qui en fait des espèces moins intéressantes que des espèces plus exigeantes pour étudier les qualités d'accueil des peuplements pour la faune aviaire. Par exemple, le Roitelet à couronne rubis et le Bruant à gorge blanche sont relativement généralistes, c'est à dire que leurs exigences en termes d'habitat ne sont pas très strictes. De plus, les différentes références consultées entraient parfois en contradiction avec les exigences de certaines espèces. Une solution pour pallier ce problème est de regrouper les espèces en guildes, mais cette pratique a également ses inconvénients (rassemblement d'espèces aux exigences parfois assez diverses), sauf si elle est faite a posteriori grâce à des outils statistiques tels que l'analyse canonique de redondance (RDA), précédée de transformations (telles que la transformation d'Hellinger) permettant l'utilisation adéquate des observations d'espèces rares (Legendre et Gallagher, 2001). Ce regroupement en guildes a posteriori permet de ne pas perdre l'information très importante portée par les observations d'espèces plus rares mais non exploitables individuellement. Ces analyses n'ont pu être menées par manque de temps.
- Une autre solution serait de mener ces écoutes sur une longue période de temps (plusieurs années) afin de rassembler plus de données, mais ceci n'est pas réalisable dans cette étude car les peuplements sont amenés à évoluer fortement au fil des années (réalisation de travaux), et parce que l'évolution des densités d'oiseaux doit être évaluée à assez court terme (évolution entre deux années consécutives). Deux autres solutions sont possibles : réaliser plus de visites au cours d'une saison pour chaque site, ce qui permettrait également de rassembler des données plus nombreuses, ou focaliser ces écoutes sur certaines espèces cibles. Cependant, la première solution est très gourmande en temps, la deuxième solution ayant le défaut de se focaliser sur une ou quelques espèces seulement.
- Les résultats de ces écoutes dépendent fortement des aptitudes des observateurs à reconnaître les différentes espèces. Il est ainsi probable que les espèces communes et facilement observables sont quasiment toujours identifiées, tandis que les espèces plus rares ou discrètes sont moins souvent observées. Les conditions climatiques sont également susceptibles d'affecter la qualité des écoutes. L'utilisation de logiciels prenant en compte ces facteurs, en utilisant les probabilités de détection des oiseaux, est possible (par exemple : logiciel PRESENCE, issu des travaux MacKenzie *et al.*, 2002), mais elle nécessite du temps et une formation adéquate. Ces analyses sont en outre remises en question depuis peu.

Il serait donc tout d'abord intéressant de mener les analyses sur les regroupements d'espèces *a posteriori*, en utilisant les données relevées en 2009. Si ces analyses ne sont pas concluantes, le protocole devra être adapté, dans l'idéal en augmentant le nombre de visites par site, visites réalisées par des observateurs expérimentés.

On notera également que l'on étudie ici des peuplements de 30 ans. Ceux-ci sont loin d'avoir atteint leur maturité, et leur structure est donc intermédiaire entre des forêts jeunes et des forêts matures. Le cortège

d'espèces (notamment d'oiseaux) qui les fréquente est donc probablement également intermédiaire. Il semble donc normal que le contraste entre peuplements de 3 mètres et de 30 ans ne soit pas toujours très important, et que les traitements statistiques utilisés ne mettent pas toujours en évidence les différences attendues pour de telles analyses.

4.1.4. Données d'appel et de houspillage

Comme les données d'écoute, les données d'appel et de houspillage sont généralement trop peu nombreuses pour être exploitables.
Pour l'appel, l'abondance des espèces et groupes d'espèces étudiées sont trop faibles et peu variées pour utiliser des modèles linéaires. Les modèles logistiques utilisés sur les données de présence/absence de ces espèces et groupes d'espèces donnent peu de résultats. Les mêmes problèmes sont rencontrés pour les comparaisons entre différents types de peuplements et pour les sélections de modèles. De plus, on peut s'interroger sur les effets de l'appel, qui peuvent éventuellement attirer des individus dans le peuplement étudié, alors qu'ils fréquentent des peuplements adjacents, ce qui peut fausser les résultats. Ces effets devraient être étudiés pour savoir quel crédit apporter aux résultats de l'appel, pour les différentes espèces.
Pour le houspillage, peu d'observations ont été réalisées, et en général il s'agit d'espèces aux exigences en matière d'habitat relativement faibles (mésange à tête noire en particulier).
Finalement, les résultats des analyses réalisées sont peu convaincants. Là encore, plusieurs adaptations du protocole sont envisageables :

- augmentation du nombre de visites, pour l'appel et le houspillage, visites réalisées par des observateurs expérimentés,
- lecture de cris d'alarme d'espèces diverses lors du houspillage, celui de la mésange à tête noire étant généraliste mais pas forcément très efficace seul. Les cris d'alarmes des espèces observées lors des écoutes pourraient être utilisés lorsqu'ils sont disponibles,
- utilisation des guildes d'espèces réalisées *a posteriori* lors de l'exploitation des données de houspillage, afin de ne pas perdre l'information contenue dans la présence d'espèces «rares».

4.1.5. Utilisation du critère d'information d'Akaike pour les sélections de modèles

Cette méthode, même si elle présente de nombreux avantages, possède également certains inconvénients. Notamment, son utilisation limite le nombre de variables explicatives employées. Ces variables doivent toutes être choisies a priori selon des hypothèses biologiques. Cela limite donc l'investigation de nouvelles variables explicatives, dont l'influence n'a jamais été documentée ou ne semble a priori pas pertinente. Cette investigation peut être risquée (risque d'attribuer à certaines variables une influence qui ne leur est pas due directement) mais peut mener à découvrir des relations inattendues. De plus, c'est probablement l'emploi d'un faible nombre de variables prédéfinies qui conduit à l'élaboration de modèles relativement peu explicatifs (les deux modèles les plus explicatifs possèdent des R^2 de 0,46 et de 0,27) par rapport aux modèles issus d'autres processus de sélection de modèles tels que les processus s'appuyant sur des tests d'hypothèses.

4.1.6. Analyses sur les caractéristiques des paysages

Les résultats de ces analyses sont très discutables. En effet, ceux-ci sont quasi systématiquement contradictoires avec les habitudes connues des espèces. Ce constat pourrait constituer un résultat intéressant, si l'échelle à laquelle ces variables sont prises en compte n'était pas elle-même discutable. Plusieurs problèmes ont en effet été observés :

- à grande échelle (50, 100 m), les caractéristiques de paysage ne varient pas de façon suffisante pour permettre de soutenir des analyses pertinentes. Par exemple, la proportion du territoire

couvert par la forêt dans un rayon de 50 m autour des sites aurait, selon les résultats des analyses, une influence négative importante sur la densité du Roitelet à couronne rubis sur ces sites. Or, ces proportions ne prennent que des valeurs comprises entre 98 et 100 % pour l'ensemble des sites, et cette échelle est la seule dont l'influence sur la densité de roitelets est significative.

• à petite échelle (1 000, 2 000 m), les caractéristiques des paysages commencent cette fois à varier de façon suffisante pour permettre de soutenir des analyses valides. Toutefois, on peut se poser la question de la pertinence d'une telle échelle pour étudier l'abondance d'espèces à très petit territoire. D'une part, il semblerait que certaines espèces, notamment migratrices, appréhendent les paysages à de petites échelles pour établir leur territoire, ce qui irait dans le sens de nos résultats. Par exemple, même s'il affectionne les peuplements bas et ouverts à l'échelle locale, le Bruant à gorge blanche pourrait ne pas sélectionner les paysages présentant de trop fortes proportions de peuplements ouverts et bas lors de son arrivée de migration. D'autre part, ces résultats allant systématiquement dans le sens contraire de ceux attendus (pour les espèces aviaires), il est difficile d'en accepter ou d'en refuser la validité. L'exploitation et l'interprétation de ces résultats nécessiterait l'apport de personnes expérimentées et spécialisées sur ce sujet.

Cependant, on peut proposer quelques explications à ces problèmes. D'une part, les sites ont été choisis plus pour leurs caractéristiques locales (à l'échelle du peuplement) que pour la diversité des paysages auxquels ils appartiennent. On obtient donc souvent une faible variété des caractéristiques de paysage parmi les peuplements, particulièrement à grande échelle. Cela permet cependant de minimiser la variabilité de la fréquentation des peuplements étudiés par la faune due à la composition des paysages, et d'identifier avec plus de certitude l'influence des facteurs locaux (à l'échelle du peuplement) sur cette fréquentation. D'autre part, les données cartographiques sont souvent imprécises, surtout à l'échelle de quelques dizaines voire d'une centaine de mètres, et ne sont pas toujours à jour. Ce sont autant de facteurs qui peuvent rendre les résultats des analyses difficilement interprétables, voire invalides.

Pour pallier ces problèmes, il aurait fallu, dès la réalisation du plan d'échantillonnage, échantillonner une plus forte variété de conditions de paysage, mais ceci aurait pu porter préjudice à la validité des autres résultats de cette étude. Pour les plus grandes échelles (jusqu'à 50 voire 100 m), des relevés de terrain pourraient être menés pour certaines variables (comme dans Brugerolle, 2003), ou des photo-interprétations plus fiables et précises pourraient être réalisées sur des photographies récentes. Ces deux solutions nécessiteraient, une fois de plus, beaucoup de temps. Enfin, des caractéristiques du paysage autres que celles étudiées peuvent être importantes pour expliquer la répartition et l'abondance des espèces fauniques dans le paysage, et devraient être prises en compte dans les analyses. Par exemple, l'hydrographie (cours d'eau, plans d'eau, zones humides) et la voirie sembleraient avoir une influence importante sur les processus de sélection d'habitat par certaines espèces (par exemple, la Paruline du Canada semblerait fréquenter les peuplements proches de milieux humides ; Gauthier et Aubry, 1996 ; Paquin et Caron, 1998). Cette influence devrait être étudiée par des analyses spatiales adéquates nécessitant, là encore, des données, des connaissances et du temps importants.

4.1.7. Caractéristiques des chicots

Les caractéristiques des chicots sont d'autres variables difficilement exploitables. En effet, le volume et la densité de chicots évalués sur les sites sont souvent nuls (56 sites sur 105), et la variabilité de ces caractéristiques est souvent trop forte pour permettre des comparaisons. Même s'il est possible que la variabilité inter-site soit réellement forte, il est peu probable que le volume et la densité de chicots soient totalement nuls pour une telle proportion de sites. Ceci mène à penser que la méthode d'échantillonnage des chicots devrait être adaptée pour chercher à améliorer la précision sur ces variables à l'échelle du peuplement, ces variables étant connues pour être importantes pour plusieurs espèces (les pics ou les grimpereaux par exemple, même si nous n'avons pas mis en évidence de lien entre ces espèces et les caractéristiques des chicots dans cette étude). Une estimation de ces caractéristiques à plus petite échelle (quelques centaines de mètres autour du point central du site, par exemple entre 600 et 700 m pour correspondre à la taille du territoire du Grand pic) pourrait en outre permettre de mettre en évidence des relations entre ces espèces et les caractéristiques des chicots quand ces relations sont valables à une échelle inférieure à celle du peuplement.

4.1.8. Autres variables

D'autres variables de végétation n'étaient pas exploitables, cela tenant à la très faible abondance de certaines espèces végétales (par exemple les prêles, ou encore les espèces de résineux classées dans les «résineux divers»). Compte-tenu de leur faible importance dans le cadre de l'étude, celles-ci ne nécessiteraient pas d'adaptation de protocole.
Les autres variables étaient globalement exploitables, elles ne semblent pas non plus nécessiter d'adaptation de leur protocole de relevé.

L'effet de certains facteurs comme l'intensité de la chasse ou celle de la prédation sur la fréquentation des peuplements par la faune n'a pas été étudié, notamment à cause de l'indisponibilité de ces données à l'échelle locale. Pourtant, ces facteurs pourraient avoir un effet important sur la faune.

Enfin, on peut s'interroger sur l'influence de l'observateur sur la prise de données, notamment pour celles concernant les oiseaux (l'expérience de l'observateur pour la reconnaissance visuelle et sonore des différentes espèces est souvent considérée comme un facteur de variation des résultats important). Il est très difficile dans cette étude d'identifier cet effet, car les six observateurs ayant participé aux prises de données ont travaillé en binômes variables. Ceci a pour effet d'avoir, d'une part, probablement lissé cet effet observateur, et d'autre part rendu plus difficile l'étude de cet effet. Toujours est-il qu'une comparaison du nombre d'oiseaux observés par chaque binôme d'observateurs n'a pas révélé de différence significative parmi ces binômes.

4.2. Implications pour la sylviculture et l'aménagement

• On peut définir certaines préconisations quant à la gestion des forêts étudiées en comparant la composition des peuplements naturels à ceux des peuplements éduqués et des plantations. On notera que les peuplements dits «naturels» dans cette étude sont des peuplements de seconde venue relativement jeunes, et non des peuplements «vierges», ce qui conduit à la définition de préconisations probablement moins contraignantes et, sans doute, plus réalistes pour une application pratique. Ces préconisations ont déjà été établies dans de nombreux rapports depuis plusieurs années, les résultats de cette étude venant les corroborer. Ainsi, selon les résultats de la présente étude et afin de rapprocher les peuplements aménagés (peuplements éduqués et plantations) des peuplements dits «naturels», mais aussi selon les conclusions d'autres études sur les liens entre la faune et les caractéristiques de la végétation, il faudrait notamment veiller à :
– préserver une quantité de bois mort sur pied et au sol (particulièrement de gros diamètres) suffisante pour préserver la biodiversité des peuplements forestiers,
– préserver une diversité en essences acceptable, notamment en augmentant la proportion des feuillus et des résineux «rares» (Pruche, pins, Thuya) par rapport aux proportions observées dans les peuplements aménagés de cette étude,
– préserver un sous-étage relativement dense, permettant un bon couvert latéral et une complexité structurelle satisfaisante.

- Il semble important de donner une place particulière au dernier point énoncé (préservation d'un sous-étage dense). En effet, il a été montré qu'un des effets principaux de l'éducation des peuplements (notamment des éclaircies précommerciales) sur la végétation est la réduction drastique du couvert arbustif, donc du couvert latéral, comme on peut le voir sur les figures 4 et 5.

Or il a été observé dans cette étude, ainsi que dans d'autres travaux, que la plupart des espèces est favorisée par un couvert latéral important (ici : Lièvre d'Amérique, oiseaux). On s'attend donc à ce que la réalisation des travaux dans la suite du projet conduise à une chute importante de la densité de ces espèces, à court ou moyen terme.

Figures 4 et 5 : Jeune peuplement de sapins baumiers avant (en haut) et après (en bas) la réalisation d'une éclaircie précommerciale, en Abitibi (ouest-Québec). *Photographie : MRNF*

Les trois préconisations énoncées plus haut sont déjà prises en compte dans les objectifs des travaux forêt-faune proposés par l'agence régionale de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière. Par exemple, la conservation d'îlots non traités lors des travaux peut permettre de conserver une densité de bois mort acceptable, notamment sous forme de chicots. La préservation de certaines espèces telles que les fruitiers, certains feuillus, le Thuya occidental, le Pin blanc ou la Pruche du Canada prévue dans certains travaux forêt-faune devrait permettre de conserver une diversité en essence plus forte que ce qui est observé actuellement dans les peuplements aménagés. La conservation d'îlots non dégagés (constituant des abris pour la faune, où le couvert latéral n'est pas réduit), la plantation à faible densité (dans lesquelles une partie de la végétation interstitielle comme les arbres fruitiers est conservée), les dégagements adaptés (conservation de la végétation arbustive ne nuisant pas aux tiges dégagées) et les éclaircies précommerciales avec mesures d'atténuation pour la faune (conservation des arbustes fruitiers, de la régénération basse et de la végétation arbustive ne nuisant pas à la tige dégagée) cherchent enfin à conserver un couvert latéral suffisant (Désy, 2008).

Cela confirme donc que les travaux forêt-faune proposés cherchent bien à atténuer les effets des facteurs principaux de l'aménagement forestier ayant une influence sur la faune en Chaudière-Appalaches, alors que ces travaux ont été proposés en se basant sur des observations réalisées dans des contextes forestiers parfois différents. Cependant, on constate que les objectifs des travaux forêt-faune concernant ces facteurs ne sont pas quantifiés. Par exemple, il n'est pas indiqué de densité minimale du couvert latéral à conserver lors des travaux. Cela soulève donc la question de l'efficacité de ceux-ci.

Les résultats de la présente étude ne permettent pas non plus de définir des objectifs quantifiés. Que signifient «suffisant», «satisfaisant», «acceptable» pour la faune ? Peu d'études quantifient ces exigences, et encore moins dans la région étudiée.
Les résultats des analyses des données relevées après travaux devraient permettre de répondre, entre autres, à ces questions, à savoir :
– quelle est l'importance des effets des travaux sur la faune, si effets il y a ? Ces effets sont-ils conformes aux attentes ?
les mesures d'atténuation que constituent les travaux forêt-faune permettent-elles de limiter les effets de l'éducation des peuplements sur la faune ? Dans quelle mesure ?
– quels sont les seuils d'altération des différentes caractéristiques de la végétation permettant de conserver une diversité et une densité faunique acceptables ? (quantification des objectifs de préservation du couvert latéral, du bois mort, etc.)
– quel est l'impact des travaux forêt-faune sur la rentabilité de l'éducation des peuplements ?
L'adaptation des travaux forêt-faune pourra donc se faire en tenant compte de ces résultats, dans le cadre du processus d'amélioration continue.

• On a en outre constaté que les espèces réagissent différemment à certaines caractéristiques de la végétation, comme le couvert de la canopée ou encore le capital sur pied des peuplements. Les exigences des espèces pour les caractéristiques de la végétation sont donc variées, ce qui implique qu'une diversité suffisante de ces caractéristiques devrait être présente et utilisable par les différentes espèces à l'échelle du paysage. Conformément aux préconisations de l'aménagement écosystémique qui prône l'imitation, autant que possible, du patron de perturbations et de structures forestières «naturel» (c'est à dire précolonial), cette diversité devrait être conservée à une échelle relativement faible en Chaudière-Appalaches (quelques hectares à quelques dizaines d'hectares). Les différents stades de développement (jeune, intermédiaire, mature, surmature) et les différentes structures de peuplement (régulier, irrégulier) doivent notamment constituer une mosaïque relativement fine respectant, dans l'idéal, les proportions de ces différents stades et structures qui devraient être observées dans une forêt «naturelle».
On ne traitera pas ces aspects plus en détail, car la nature et l'importance des effets de la composition du paysage (élément important de l'aménagement écosystémique), et notamment son influence sur la faune, n'ont pu être mises en évidence dans cette étude.

Conclusion

L'exploitation des données relevées avant la réalisation des travaux a permis de répondre à la plupart des objectifs de cette étude, c'est à dire aux interrogations suivantes :

- L'aménagement des peuplements a-t-il un impact sur la faune ?

Selon les résultats de l'étude, les peuplements naturels semblent être de meilleurs milieux d'accueil que les plantations pour toutes les espèces étudiées. La valeur faunique des peuplements éduqués semble, elle, dépendre des espèces étudiées. L'aménagement des peuplements aurait donc un impact sur la faune. Cependant, ces résultats ne semblent pas systématiquement très probants, et le stade de développement des peuplements semble avoir un impact souvent plus important que la présence ou l'absence d'aménagement dans ces peuplements.

- Quelles espèces fauniques sont éventuellement affectées, et de quelle façon ?

La fréquentation des peuplements par presque toutes des espèces fauniques étudiées semble dépendre du stade de développement de ces peuplements, de la présence ou non d'aménagement dans ceux-ci, et plus généralement de ces deux facteurs combinés. Certaines espèces comme le Lièvre d'Amérique et les oiseaux de forêts ouvertes étudiés semblent privilégier les peuplements jeunes (3 m), tandis que les oiseaux de forêts fermées étudiés fréquenteraient plus les peuplements plus âgés (30 ans). La seule tendance commune à presque toutes les espèces quant à la valeur faunique des différents types de peuplements semble être la plus forte fréquentation des peuplements naturels de 30 ans, par rapport aux plantations de stade équivalent. L'effet de l'éducation des peuplements varie selon les espèces : il semble favorable ou neutre pour le Lièvre d'Amérique et les oiseaux de forêts fermées étudiés, défavorable ou neutre pour les oiseaux de forêt ouvertes étudiés.
Si certaines espèces ne semblent pas réagir à l'aménagement ou au stade des peuplements (pics, Paruline du Canada), il est fort probable que cette absence de réaction soit plus due à un manque de données qu'à une absence réelle de réaction.

- Pourquoi ces espèces sont-elles affectées ?

Au-delà du stade de développement ou de la présence ou absence d'aménagement dans ces peuplements, c'est plutôt aux caractéristiques de la végétation de ces peuplements que les espèces étudiées réagissent. Ces caractéristiques définissent la qualité d'accueil des peuplements pour les espèces, en leur fournissant un abri pour le repos, l'alimentation, le déplacement, la reproduction, ou une source d'alimentation favorables ou non. C'est pourquoi les espèces étudiées y sont sensibles, et l'aménagement et le stade de développement de ces peuplements influent sur ces caractéristiques. Ces réponses varient là encore selon les caractéristiques de la végétation et selon les espèces, même si presque toutes les espèces étudiées semblent sélectionner de façon importante les peuplements à fort couvert latéral. En revanche, il a été impossible d'identifier les effets de la composition du paysage sur ces espèces.

Cette étude a donc permis d'identifier certains facteurs variant selon les types de peuplements (jeunes et plus âgés, aménagés ou non), et auxquels la faune réagit (selon les résultats de l'étude) ou est susceptible de réagir (selon la littérature) : couvert latéral, abondance et caractéristiques du bois mort, diversité en essences. L'application des travaux forêt-faune devra donc porter particulièrement attention à la préservation de ces facteurs.
Cette étude a également permis d'évaluer l'efficacité des méthodes d'échantillonnage utilisées dans ce projet. Certaines méthodes pourraient être adaptées, d'autres abandonnées, surtout en cas de manque de financement ou de main d'œuvre. D'autres types d'analyses statistiques pourraient également permettre d'exploiter plus efficacement les données recueillies. Ces adaptations du protocole et des analyses menées pourraient permettre de pallier le manque de données qui a généralement posé problème pour l'exploitation et l'interprétation des informations relevées lors de ce projet.
La comparaison avec des projets proches (tel que celui mené dans la région du Bas-Saint-Laurent) serait également constructive et instructive.

La suite du projet devrait permettre d'évaluer l'efficacité des travaux forêt-faune, de quantifier de façon plus précise les préconisations de ces travaux, et d'en évaluer l'impact économique. Le suivi à moyen terme des effets des travaux sur la faune, la végétation et la productivité des peuplements (jusqu'à 10 à 15 ans après réalisation des travaux) serait intéressante à étudier, les études actuelles ne rapportant en général que des observations effectuées à court terme (3-5 ans après travaux).

Toutes les informations qui seront recueillies dans la suite du projet devraient permettre, au besoin, d'adapter et d'améliorer les travaux forêt-faune pour obtenir, dans le futur, un équilibre aussi efficace que possible entre la rentabilité économique de l'exploitation de la matière ligneuse, de la ressource faunique, et la protection de la biodiversité et de l'abondance des espèces fauniques, qu'elles soient exploitées ou non.

Références bibliographiques

AGENCE RÉGIONALE DE MISE EN VALEUR DES FORÊTS PRIVÉES DE LA CHAUDIÈRE, 2007. — *Fonds de développement régional. Demande d'aide financière pour le projet «Plantations et peuplements éduqués : évaluation de leur valeur faunique et de mesures d'atténuation pour le maintien de la biodiversité régionale*. — 8 p.

ARBOUR, S., 2003. — *Portrait de l'importance et du potentiel du milieu forestier de Chaudière-Appalaches. Faits saillants*. — Conseil régional de concertation et de développement de Chaudière-Appalaches. — 13 p. — consulté le 15/01/2010.
www.chaudiere-appalaches.qc.ca/upload/chaudiere-appalaches/editor/asset/CRCD_CA_Faits_saillants_Portrait_version_finale.pdf

BERTRAND, N., POTVIN, F., 2003. — *Caractérisation des habitats fauniques : méthodologie et résultats observés en forêt boréale*. — Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. DEF–0240. — 46 p.

BEAUDOIN, C., CRÊTE, M., HUOT, J., ETCHEVERRY, P., CÔTÉ, S.D., 2004. — *Does predation risk affect habitat use in snowshoe hares ?* — Ecoscience **11** (4) — p. 370–378.

BLANCHETTE, P., DESJARDINS, S., POIRIER, M., LEGRIS, J., LARUE, P., 2003. — *Utilisation par le Lièvre d'Amérique de peuplements traités par éclaircie précommerciale dans le domaine de l'érablière à Bouleau jaune et de la pessière à mousses*. — Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune. — 63 p.

BOURQUE, P.-A., UNIVERSITÉ LAVAL, 1997-2004. — *Planète Terre. — Le Québec géologique*. — consulté le 15/01/2010.
www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html

BRETON, E., 2000. — *Les éclaircies précommerciales : rapport d'une étude de deux ans et stratégies d'intervention proposées afin d'atténuer les impacts sur la faune*. — Le Territoire Populaire Chénier, la Société de la Faune et des Parcs du Québec, le Ministère des Ressources naturelles du Québec et Produits forestiers Alliance inc. — 69 p.

BRUGEROLLE, S., 2003. — *Caractérisation de l'habitat du Lièvre d'Amérique à différentes échelles spatiales : une étude en forêt mélangée*. — Faculté des sciences et de génie. Université Laval, Québec, Canada. — 69 p.

BULL, E.L., MESLOW, E.C., 1977. — *Habitat requirement of the Pileated Woodpecker in northeastern Oregon*. — J. For. **75** (6) — p. 335–337.

BURNHAM, K.P., ANDERSON, D.R., 2002. — *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edition*. — Springer, New York, NY, USA. — 496 p.

BUSKIRK, W.H., MCDONALD, J.L., 1995. — *Comparison of point count sampling regimes for monitoring forest birds*. — in Ralph, C. J., Sauer, J. R., et Droege, S., eds. *Monitoring bird populations by point counts*. — USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-149. — p. 25–34.

CARREKER, R.G., 1985. — *Habitat suitability index models : Snowshoe hare*. — U.S. Fish Wild. Serv. Biol. Rep. **82** (10.101) — 21 p.

CONFÉRENCE RÉGIONALE DES ÉLUS DE LA CHAUDIÈRE-APPALACHES, 2005. — *Profil socioéconomique de la Chaudière-Appalaches. Faits saillants et statistiques régionales.* — 329 p. — consulté le 15/01/2010.
www.chaudiere-appalaches.qc.ca/site.asp?page=element&nIDElement=504

CORN, P.S., BURY, R.B., 1990. — *Sampling methods for terrestrial amphibians and reptiles.* — Gen. Tech. Rep. PNW-GTR- 256. Portland, OR, USA. — Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. — 34 p.

CRAWLEY, M.J., 2005. — *Statistics: An introduction using R.* — John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, UK. — 342 p.

CRÊTE, M., BRAIS, S., CAMPAGNA, M., DARVEAU, M., DESPONTS, M., DÉRY, S., DRAPEAU, P., DROLET, B., JETTÉ, J.-P., MAISONNEUVE, C., NAPPI, A., PETITCLERC, P., 2004. — *Pourquoi et comment maintenir du bois mort dans les forêts aménagées du Québec. Avis scientifique.* — Société de la faune et des parcs du Québec, Direction du développement de la faune et Ministère des Ressources naturelles du Québec. — 34 p.

DARVEAU, M., DESROCHERS, A., 2001. — *Le bois mort et la faune vertébrée : état des connaissances au Québec.* — Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, Québec, Canada. Rapport n° DEF–0199.

DARVEAU, M., BOULET, M., VALLIÈRES, C., BÉLANGER, L., RUEL J.-C., 2001. — *Utilisation par les oiseaux de paysages forestiers résultant de différents scénarios de récolte ligneuse dans la pessière noire. Rapport de synthèse 1997–1999.* — Université Laval, Centre de recherche en biologie forestière et Département des sciences du bois et de la forêt, pour le Ministère des Ressources naturelles du Québec. — 42 p.

DÉPARTEMENTS DE GÉOGRAPHIE ET D'AMÉNAGEMENT DE L'UNIVERSITÉ LAVAL. — *Atlas de Québec et de Chaudière-Appalaches.* — consulté le 26/01/2010.
www.atlascnca.geographie.ulaval.ca

DESROCHERS, A., 2009. — «Aménagement des habitats de la faune.», dans ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC. — *Manuel de foresterie, 2e édition.* — Ouvrage collectif, Éditions MultiMondes, Québec. — p. 771–798.

DESPONTS, M., BRUNET, G., BÉLANGER, L., BOUCHARD, M., 2004. — The eastern boreal old-growth balsam fir forest : A distinct ecosystem. — Can. J. Bot. **82** (6) — p. 830–849.

DÉSY, A., AGENCE RÉGIONALE DE MISE EN VALEUR DES FORÊTS PRIVÉES DE LA CHAUDIÈRE, 2008. — *Cahier d'instructions techniques. Travaux forêt-faune.* — 26 p.

DORAN, P.J., GULEZIAN, P.Z., BETTS, M.G., 2005. — *A test of the mobbing playback method for estimating bird reproductive success.* — J. Field Ornithol. **76** (3) — p. 227–233.

DUNN, E.H., BART, J., COLLINS, B.T., CRAIG, B., DALE, B., DOWNES, C.M., FRANCIS, C.M., WOODLEY, S., ZORN, P., 2006. — *Surveillance des populations d'oiseaux dans de petites zones géographiques.* — Publication spéciale, Service canadien de la faune. — 74 p.

FERRON, J., OUELLET, J.P., 1992. — *Daily partitionning of summer habitat and use of space by the snowshoe hare in southern boreal forest.* — Can. J. Zool. **70** — p. 2178–2183.

FERRON, J., COUTURE, R., LEMAY, Y., 1996. — *Manuel d'aménagement des boisés privés pour la petite faune.* — Fondation de la faune du Québec. — 198 p.

FOX, J., 2002. — *An R and S-PLUS companion to applied regression*. — Sage Publications, Inc., London, UK. — 328 p.

GAUTHIER, J., AUBRY, Y. (eds.), 1996. — *The breeding bird of Québec : Atlas of the breeding birds of southern Québec*. — Association québécoise des groupes d'ornithologues, Province of Quebec Society for the Protection of Birds, Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Quebec Region, Montreal, Canada. — 1302 p.

GAUTHIER, I., BASTIEN, H., LEFORT, S., 2008. — *État de situation des principales espèces de petit gibier exploitées au Québec*. — Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. — 231 p.

GOTELLI, N.J., ELLISON A.M., 2004. — *A primer of ecological statistics*. — Sinauer Associates, Inc. Sunderland, MA, USA. — 492 p.

GOODBURN, J.M., LORIMER C.G., 1998. — *Cavity trees and coarse woody debris in old-growth and managed northern hardwood forests in Wisconsin and Michigan*. — Can. J. For. Res. **28** — p. 427–438.

GUNN, J.S., DESROCHERS, A., VILLARD, M.-A., BOURQUE, J., IBARZABAL, J., 2001. — *Playbacks of mobbing calls of Black-capped Chickadees as a method to estimate reproductive activity of forest birds*. — J. Field Ornithol. **71** (3) — p. 472–483.

HARVEY, V., 2009. — *Évaluation de l'utilisation par la faune terrestre des plantations et des peuplements ayant fait l'objet d'une éclaircie précommerciale et de l'impact des éclaircies commerciales à l'échelle locale et régionale*. — Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. — 65 p.

HEIBERGER, R.M., HOLLAND, B., 2004. — *Statistical analysis and data display : an intermediate course with examples in S-PLUS, R and SAS*. — Springer, New York, NY, USA. — 730 p.

HEYER, W.R., DONNELLEY, M.A., McDIARMID, R.W., HAYEK, L.-A.C., FOSTER, M.S., 1994. — *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for Amphibians*. — Smithsonian institution press, Washington, DC, USA. — 364 p.

KLEINBAUM, D.G., KUPPER, L.L., MULLER, K.E., NIZAM, A., 1998. — *Applied regression analysis and other multivariable methods, 3rd edition*. — Duxbury Press, Toronto, Canada. — 816 p.

KREBS, C.J., BOONSTRA, R., NAMS, V., O'DONOGHUE, M., HODGES, K.E., BOUTIN, S., 2001. — *Estimating snowshoe hare population from pellets counts : a further evaluation*. — Can. J. Zool. **79** — p. 1–4.

LEGENDRE, P., Gallagher, E.D., 2001. — *Ecologically meaningful transformations for ordination of species data*. — Oecol. **129** — p. 271–280.

MacKENZIE, D.I., NICHOLS, J.D., LACHMAN, G.B., DROEGE, S., ROYLE, J.A., LANGTIMM, C.A., 2002. — *Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one*. — Ecology **83** (8) — p. 2248–2255.

MAZEROLLE, M.J., 2006. — *Improving data analysis in herpetology: using Akaike's Information Criterion (AIC) to assess the strength of biological hypotheses*. — Amphibia-Reptilia **27** — p. 169–180.

McKELVEY, K.S., McDANIEL, G.W., MILLS, S.C., GRIFFIN, P.C., 2002. — *Effects of plot size and shape on pellet density estimates for snowshoe hares*. — Wildl. Soc. Bull. **30** — p. 751–755.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2007. — *La faune et la nature, ça compte ! Le tourisme lié à la faune : une contribution significative à l'économie régionale.* — Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. — 16 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2009. — *Portrait de l'évolution de la forêt publique sous aménagement du Québec méridional des années 1970 aux années 2000.* — Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. — 141 p.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, FORÊT QUÉBEC, 2008. — *Norme de stratification écoforestière. Quatrième inventaire écoforestier.* — Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers. — 52 p.

MURRAY, D.L., ROTH, J.D., ELLSWORTH, E., WIRSING, A.J., STEURY, T.D., 2002. — Estimating low-density snowshoe hare populations using fecal pellet counts. — Can. J. Zool. **80** — p. 771–781.

NUDDS, T.D., 1977. — *Quantifying the vegetation structure of wildlife cover.* — Wildl. Soc. Bull., **5** — p. 113–117.

PAQUIN, J., CARON, G., 1998. — *Oiseaux du Québec et des Maritimes.* — Éditions Michel Quintin, Waterloo, Québec. — 390 p.

PRESCOTT, J., RICHARD, P., 2004. — *Mammifères du Québec et de l'est du Canada.* 2e édition. — Éditions Michel Quintin, Waterloo, Québec. — 399 p.

RAMSEY, F.L., SCHAFER, D.W., 2002. — *The statistical sleuth : a course in methods of data analysis, 2nd edition.* — Duxbury Press, Pacific Grove, CA, USA. — 742 p.

RENKEN, R.B., WIGGERS, E.P., 1989. — *Forest characteristics related to Pileated Woodpecker territory size in Missouri.* — Condor **91** (3) — p. 642–652.

ROBITAILLE, A., SAUCIER, J.-P., 1998. — *Les paysages régionaux du Québec méridional.* — Les publications du Québec, Québec. — 213 p.

SANSREGRET, H., 2000. — *Effets de l'éclaircie précommerciale sur les petits mammifères et les oiseaux forestiers dans la sapinière à Bouleau blanc de l'est.* — Département des sciences du bois et de la forêt. Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval. — 67 p.

SAUCIER, J.-P., GRONDIN, P., ROBITAILLE, A., GOSSELIN, J., MORNEAU C., RICHARD, P. J.H., BRISSON, J., SIROIS, L., LEDUC, A., MORIN, H., THIFFAULT, É., GAUTHIER, S., LAVOIE, C., PAYETTE, S., 2009. — «Écologie forestière», dans ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC. — *Manuel de foresterie, 2e édition.* — Ouvrage collectif, Éditions MultiMondes, Québec. — p. 165–316.

SCHROEDER, M.A., BOAG, D.A., 1989. — *Evaluation of a density index for territorial male spruce grouse.* — J. Wildl. Manage. **53** — p 475–478.

VAN WAGNER, C.E., 1968. — *The line intersect method in forest fuel sampling.* — Forest Sci. **14** (1) — p 20–26.

VENABLES, W.N., RIPLEY, B.D., 2002. — *Modern Applied Statistics with S.* — Springer-Verlag, New York, USA. — 520 p.

WIKIPÉDIA, L'ENCYCLOPÉDIE LIBRE — consulté le 15/01/2010
page du Canada — *http://fr.wikipedia.org/wiki/Canada*
page du Québec — *http://fr.wikipedia.org/wiki/Québec*
page des Appalaches — *http://fr.wikipedia.org/wiki/Appalaches*

WOLFE, M.L., DEBYLE, N.V., WINCHELL, C.S., McCABE, T.R., 1982. — *Snowshoe hare cover relationships in northern Utah*. — J. Wild. Manage. **46** (3) — p 662–670.

ZAR, J.H., 1984. — *Biostatistical analysis, 2nd edition*. — Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. — 718 p.

Logiciels utilisés

Dessin vectoriel : Inkscape 0.47 (logiciel libre)

Statistiques : R 2.10.1 (logiciel libre)

Système d'information géographique : ESRI ArcGIS 9.3

Tableur : Microsoft Excel 2002 et Apple Numbers 2009

Traitement de texte : Apple Pages 2009

Source des fonds de cartes vectorielles utilisés

Les cartes dont la source n'est pas indiquée dans le texte sont les productions de l'auteur du rapport. Elles ont été construites en se basant sur les fonds de cartes vectorielles dont la source est indiquée ci-dessous. L'utilisation de ces cartes pour ce type d'usage est autorisée par leurs auteurs.

Carte 1 : http://johan.lemarchand.free.fr/cartes/Ameriques1.html

Carte 2 : http://commons.wikimedia.org/wiki/File:H1N1_Canada_map.svg
(auteur : Fonadier)

Cartes de l'annexe 1 : http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Canada_Quebec_location_map-conic_proj.svg
(auteur : Eric Gaba, source : Géobase du Canada)

Coordonnées du maître de stage

BLANCHETTE, Pierre : maître de stage – biologiste, Ph. D. – direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, service de la faune terrestre et de l'avifaune, ministère des Ressources naturelles et de la Faune.

880, chemin Sainte-Foy, 2e étage
Québec (Québec) G1S 4X4
CANADA
pierre.blanchette@mrnf.gouv.ca

Collaborateurs privilégiés

MAZEROLLE, Marc J. : consultant pour les aspects statistiques de l'étude – centre d'étude de la forêt, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.

445, boulevard de l'Université
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4
CANADA
marc.mazerolle@uqat.ca

TREMBLAY, Junior A. : référent pour les aspects ornithologiques de l'étude – biologiste, Ph. D. – direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, service de la faune terrestre et de l'avifaune, ministère des Ressources naturelles et de la Faune.

880, chemin Sainte-Foy, 2e étage
Québec (Québec) G1S 4X4
CANADA
junior.tremblay@mrnf.gouv.ca

Partenaires du projet

Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de la Chaudière.

3830, boulevard Frontenac Ouest
Thetford Mines (Québec)
G6H 2L8
CANADA

Agence de mise en valeur des forêts privées des Appalaches.

201, rue Claude-Bilodeau, bureau 4
Lac-Etchemin (Québec)
G0R 1S0
CANADA

Conférence régionale des élus de la Chaudière-Appalaches.

25, boulevard Taché ouest, bureau 102
Montmagny (Québec)
G5V 2Z9
CANADA

Fondation de la faune du Québec.

1175, avenue Lavigerie, bureau 420
Québec (Québec)
G1V 4P1
CANADA

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, service de la faune terrestre et de l'avifaune.

880, chemin Sainte-Foy, 2e étage
Québec (Québec)
G1S 4X4
CANADA

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, direction générale de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches.

1685, boulevard Hamel, bureau 1.14
Québec (Québec)
G1N 3Y7
CANADA

Lexique

Agroforesterie (sens commun au Québec) : mélange de terres agricoles et de terrains forestiers sur un territoire.

Aménagement (sens employé dans ce rapport) : application d'interventions sylvicoles au sens large à des peuplements forestiers (plantation, dégagements, éclaircies, etc.).

Aménagé (forêt aménagée, peuplement aménagé) : forêt ou peuplement subissant ou ayant subi dans le passé des interventions sylvicoles au sens large (plantation, dégagements, éclaircies, etc. : peuplements éduqués et plantations dans la présente étude), par opposition aux forêts et peuplements non aménagés, c'est-à-dire ne subissant et n'ayant subi dans le passé aucune intervention sylvicole (peuplements naturels dans la présente étude, même si ces peuplements sont issus de coupe).

Aménagement adaptatif [a] : l'aménagement adaptatif consiste à ajuster, adapter un aménagement en application en se basant sur les résultats d'un suivi efficace de cet aménagement, sur des objectifs clairs et des expériences innovatrices.

Aménagement écosystémique[b] : l'aménagement écosystémique consiste à pratiquer un aménagement forestier apte à maintenir la diversité biologique et la viabilité des écosystèmes. Pour y parvenir, l'aménagement écosystémique cherche à réduire les écarts entre la forêt aménagée et la forêt naturelle.

Aménagement intégré[c] : processus d'aménagement qui vise à mettre en valeur un territoire forestier de manière à satisfaire les attentes d'une population par la prise en compte de toutes les ressources et les fonctions d'un milieu forestier dans un cadre de gestion synergique et avec la participation de toutes les parties concernées par ce milieu et la prise en compte de leur vision.

Chicot : terme québécois désignant les chandelles, arbres morts sur pied (debout).

Éclaircie commerciale[d] : pratique sylvicole consistant à couper une partie des tiges dans un peuplement ayant au moins atteint le stade du perchis, sans toutefois avoir atteint la maturité, en vue de favoriser la croissance des tiges restantes. Les tiges coupées sont de dimensions suffisantes pour être commercialisées.

Éclaircie précommerciale (ou dépressage)[d] : pratique sylvicole consistant à éliminer ou étêter les tiges en surnombre dans un jeune peuplement, de façon à favoriser le développement des tiges restantes. Les tiges abattues sont trop petites pour être commercialisées.

Fraction nivale : pourcentage des précipitations annuelles totales tombant sous forme de neige.

Gadeliers : terme québécois désignant les espèces du genre *Ribes* (groseilliers). Les espèces de gadeliers les plus communes au Québec sont le Gadelier glanduleux (*Ribes glandulosum*) et le Groseillier hérissé (*Ribes hirtellum*), la seule espèce du genre *Ribes* indigène au Québec.

Houspillage[e] : technique d'inventaire ornithologique consistant à attirer les oiseaux grâce au cri d'alarme d'une espèce donnée (par exemple la Mésange à tête noire). Cette technique, utilisable hors de la période de chant (saison de reproduction), est donc applicable lors de la nidification, et permettrait donc une évaluation plus fiable de la densité de nidification dans un peuplement que l'inventaire par points d'écoute.

Pourvoirie[f] : entreprise qui offre, contre rémunération, de l'hébergement et des services ou de l'équipement pour la pratique, à des fins récréatives, des activités de chasse, de pêche ou de piégeage.

Trappe : type de chasse utilisant le piégeage, largement utilisé en Amérique du Nord, notamment pour pouvoir vendre des fourrures non abîmées par l'utilisation d'armes à feu ou de flèches.

[a] : cours d'écologie forestière II du Baccalauréat en aménagement et environnement forestiers, 2010. Université Laval, Québec, Canada. Professeur : Alison Munson.

[b] : site internet du MRNF, page de l'aménagement écosystémique — consulté le 21/06/2010. *www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/amenagement/amenagement-ecosystemique.jsp*

[c] : cours d'aménagement intégré des forêts du Baccalauréat en aménagement et environnement forestiers, 2010. Université Laval, Québec, Canada. Professeur : Louis Bélanger.

[d] : DOUCET, R., RUEL, J.-M., JUTRAS, S., LESSARD, G., PINEAU, M., PRÉGENT, G., THIFFAULT, N., 2009. — «Sylviculture appliquée», dans ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC — *Manuel de foresterie, 2e édition*. — Ouvrage collectif, Éditions MultiMondes, Québec. — p. 1147-1186.

[e] : voir notamment GUNN, J.S., DESROCHERS, A., VILLARD, M.-A., BOURQUE, J., IBARZABAL, J., 2001. — *Playbacks of mobbing calls of Black-capped Chickadees as a method to estimate reproductive activity of forest birds*. — J. Field Ornithol. **71** (3) — p. 472–483.

[f] : voir l'article 78.1 de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune du Québec.

Index des noms vernaculaires et scientifiques des espèces végétales et fauniques citées dans le texte

Index 1 : Essences arborées et groupes d'essences :

Seules les essences relevées en tant qu'«arbres» au cours des relevés de terrain sont énoncées ci-dessous, car ce sont celles qui entrent dans la composition des groupes d'essences utilisés dans l'étude. En revanche, les essences des gaules n'apparaissent pas, celles-ci étant simplement différenciées entre feuillus et résineux.

adapté de MRNF, Forêt Québec (2008a).

Nom vernaculaire	*Nom scientifique*	Code*
Feuillus intolérants		
Bouleau gris	*Betula populifolia* Marshall	BOG
Bouleau à papier (Bouleau blanc)	*Betula papyrifera* Marshall	BOP
Peuplier à feuilles deltoïdes	*Populus deltoïdes* (Bartram) Marshall	PED
Peuplier faux-tremble	*Populus tremuloides* Michaux	PET
Peuplier à grandes dents	*Populus grandidentata* Michaux	PEG
Peupliers non déterminés	*Populus sp.*	PE sp.
Feuillus tolérants		
Bouleau jaune (merisier)	*Betula alleghaniensis* Britton	BOJ
Érable rouge	*Acer rubrum* Linnaeus	ERR
Érable à sucre	*Acer saccharum* Marshall	ERS
Frêne d'Amérique	*Fraxinus americana* Linnaeus	FRA
Frêne Noir	*Fraxinus nigra* Marshall	FRN
Frênes non déterminés	*Fraxinus sp.*	FR sp.
Feuillus arbustifs		
Cerisier de Pennsylvanie	*Prunus pensylvanica* Linnaeus filius	PRP
Cerisier de Virginie	*Prunus virginiana* Linnaeus	PRV
Érable à épis	*Acer spicatum* Lamarck	ERE
Saules	*Salix sp.*	SAL
Sorbier d'Amérique	*Sorbus americana* Marshall	SOA

Nom vernaculaire	*Nom scientifique*	Code*
Épinettes		
Épinette blanche	*Picea glauca* (Moench) Voss	EPB
Épinette noire	*Picea mariana* Miller	EPN
Épinette de Norvège	*Picea abies* (Linnaeus) H. Karsten	EPO
Épinette rouge	*Picea rubens* Sargent	EPR
Épinettes non déterminées	*Picea sp.*	EP sp.
Sapin		
Sapin baumier	*Abies balsamea* (Linnaeus) Miller	SAB
Autres résineux		
Mélèze laricin	*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch	MEL
Pin blanc	*Pinus strobus* Linnaeus	PIB
Pruche de l'Est	*Tsuga canadensis* (Linnaeus) Carrière	PRU
Thuya occidental	*Thuja occidentalis* Linnaeus	THO

* code en usage au MRNF (MRNF, Forêt Québec, 2008b), utilisé lors des relevés et des traitements des données.

Autres essences citées dans le texte :

Nom vernaculaire	*Nom scientifique*
Caryers *sp.*	*Carya sp.*
Caryer cordiforme	*Carya cordiformis* (Wangenheim) K. Koch
Hêtre à grandes feuilles (ou d'Amérique)	*Fagus grandifolia* Ehrhart
Tilleul d'Amérique	*Tilia americana* Linnaeus

Sources :

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, FORÊT QUÉBEC, 2008a. – *Norme de stratification écoforestière. Quatrième inventaire écoforestier.* – Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers. – p. 12-13.

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, FORÊT QUÉBEC, 2008b. – *Normes d'inventaire forestier. Placettes–échantillons temporaires. Version provisoire.* – Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers. – p. 66–67.

SYSTÈME D'INFORMATION TAXONOMIQUE INTÉGRÉ (SITI) – Système canadien d'information sur la biodiversité (SCIB). – pages des différentes espèces. – consulté le 24/02/2010 *www.scib.gc.ca/pls/itisca/taxaget?p_ifx=scib&p_lang=fr*

Index 2 : Espèces fauniques :

Nom vernaculaire	*Nom scientifique*
INSECTES	
Tordeuse des bourgeons de l'épinette	*Choristoneura fumiferana* Clemens
MAMMIFÈRES	
Cerf de Virginie	*Odocoileus virginianus* Zimmerman
Coyote	*Canis latrans* Say
Lièvre d'Amérique	*Lepus americanus* Erxleben
Lynx du Canada	*Lynx canadensis* Kerr
Lynx roux	*Lynx rufus* Schreber
Orignal	*Alces alces* Linnaeus
Ours noir	*Ursus americanus* Pallas
Renard roux	*Vulpes vulpes* Say
Vison d'Amérique	*Neovison vison* Schreber
OISEAUX	
Bruant à gorge blanche	*Zonotrichia albicollis* Gmelin
Dindon sauvage	*Meleagris gallopavo* Linnaeus
Grand duc d'Amérique	*Bubo virginianus* Gmelin
Grand pic	*Dryocopus pileatus* Linnaeus
Grimpereau brun	*Certhia americana* Bonaparte
Grive à dos olive	*Catharus ustulatus* Nuttall
Harfang des neiges	*Bubo scandiacus* Linnaeus
Mésange à tête noire	*Poecile atricapillus* Linnaeus
Paruline à joues grises	*Vermifora ruficapilla* Wilson
Paruline du Canada	*Wilsonia canadensis* Linnaeus
Pic à dos noir	*Picoides arcticus* Swainson
Pic maculé	*Sphyrapicus varius* Linnaeus
Roitelet à couronne rubis	*Regulus calendula* Linnaeus

Nom vernaculaire	*Nom scientifique*
Sitelle à poitrine rousse	*Sitta canadensis* Linnaeus
Tétras du Canada	*Falcipennis canadensis* Linnaeus

Sources :

PAQUIN, J., CARON, G., 1998. – *Oiseaux du Québec et des Maritimes*. – Éditions Michel Quintin, Waterloo, Québec. – 390 p.

PRESCOTT, J., RICHARD, P., 2004. – *Mammifères du Québec et de l'est du Canada*. 2e édition. – Éditions Michel Quintin, Waterloo, Québec. – 399 p.

WIKIPÉDIA, L'ENCYCLOPÉDIE LIBRE – consulté le 28/01/2010
pages des différentes espèces

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : Relief du Québec ..... p. 87

Annexe 2 : Caractéristiques climatiques du Québec ..... p. 88

Annexe 3 : Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec ..... p. 89

Annexe 4 : Plan d'échantillonnage ..... p. 90

Annexe 5 : Liste des espèces d'oiseaux observées lors des points d'écoute et des houspillages ..... p. 91

Annexe 6 : Signification des codes et unités des variables utilisées ..... p. 93

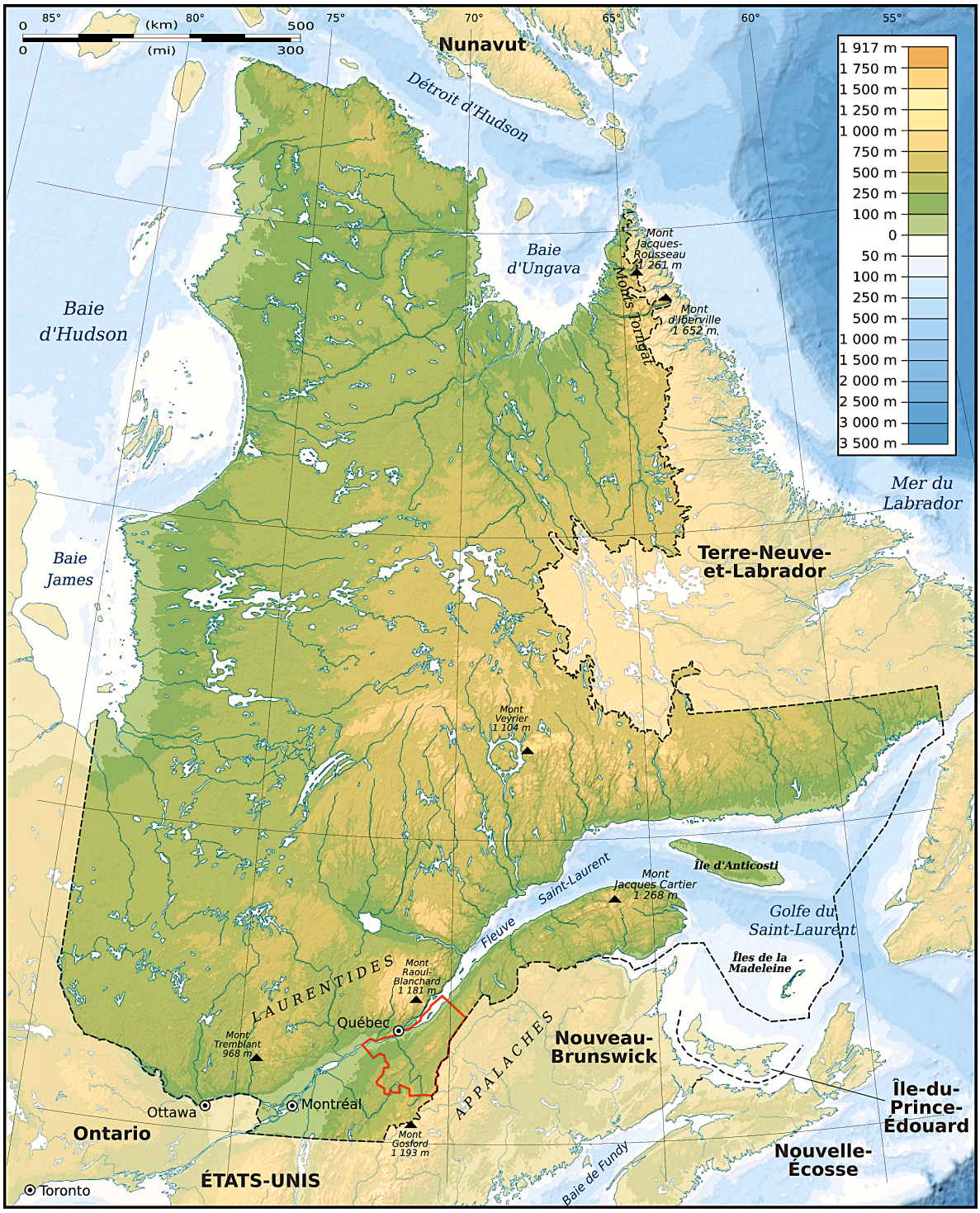
Annexe 7 : Schéma d'une parcelle type pour la description des caractéristiques de la végétation des sites étudiés ..... p. 96

Annexe 8 : Table des codes des stades de dégradation des débris ligneux au sol et des arbres debout ..... p. 97

Annexe 9 : Traitement des données de l'inventaire écoforestier ..... p. 98

Annexe 1 : Relief du Québec.

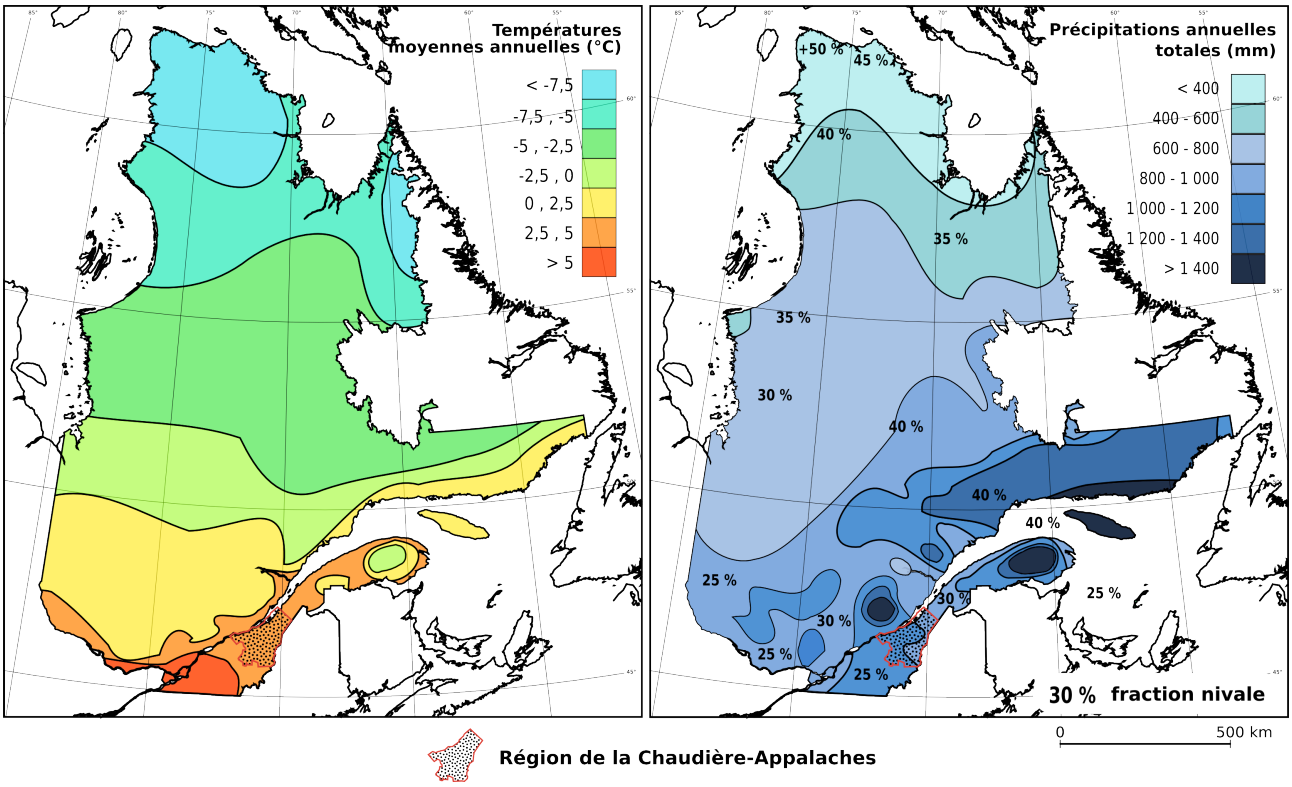
Adapté de : http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quebec_province_topographic_map-fr.svg (auteur : Eric Gaba, source : Géobase du Canada).



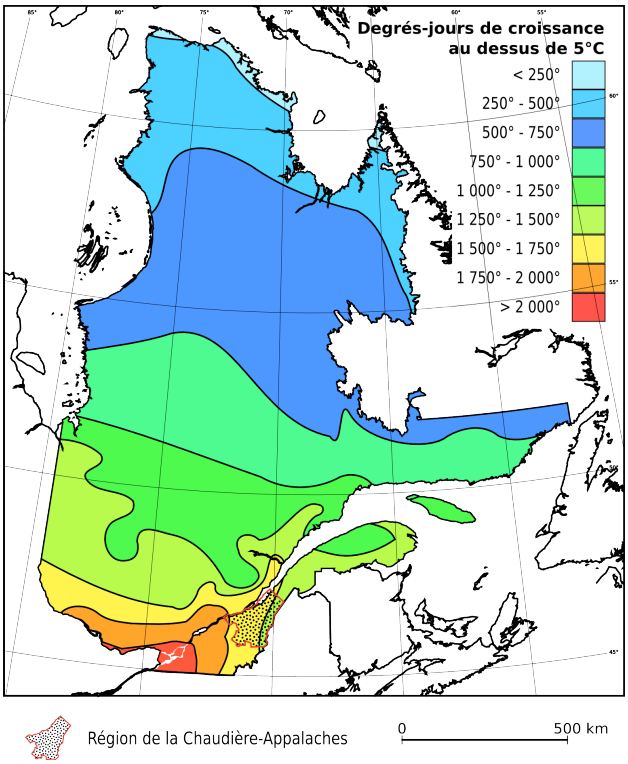
Région de la Chaudière-Appalaches

Annexes 2 : Caractéristiques climatiques du Québec.

Adaptées de : Saucier et al.*, 2009.*



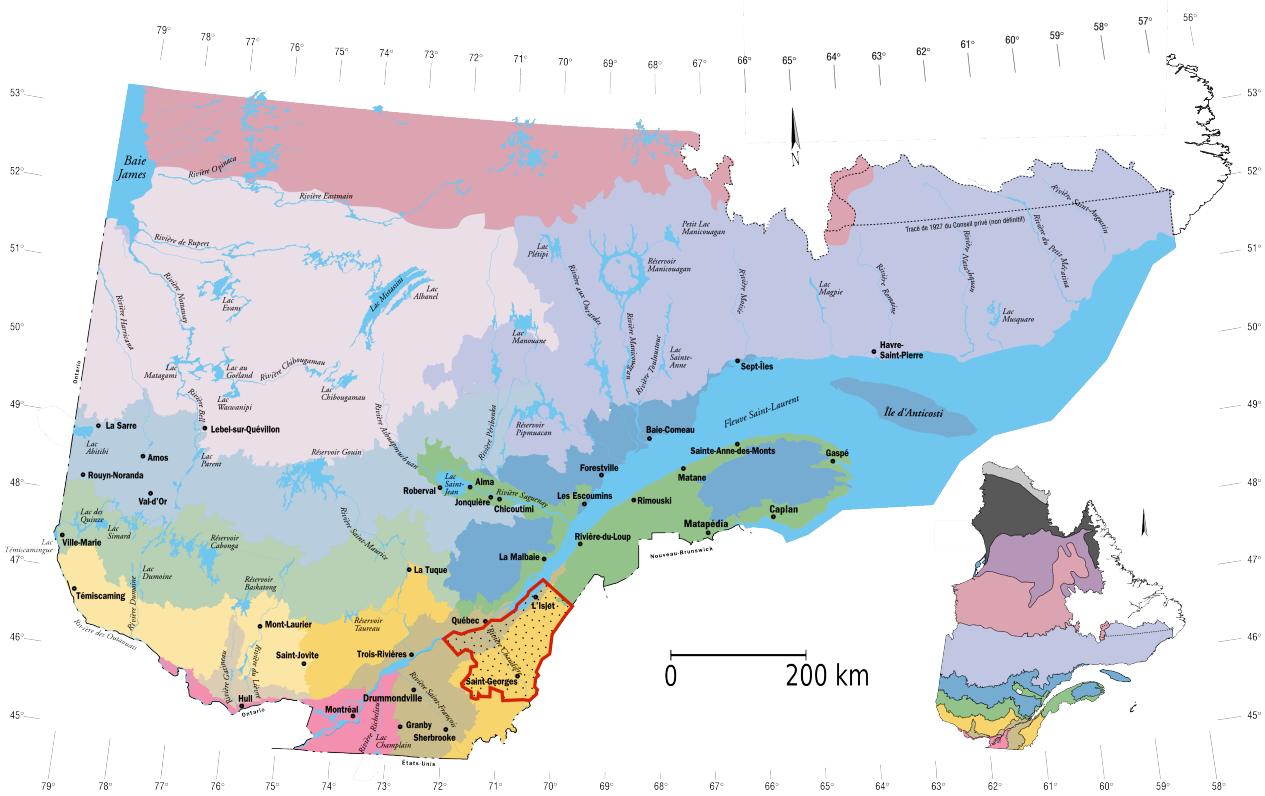
Annexes 2.1. et 2.2. : Cartes simplifiées des températures moyennes annuelles, précipitations annuelles totales et fraction nivale des précipitations au Québec



Annexe 2.3. : Carte simplifiée de la durée de la saison de végétation au Québec, traduite en terme de degrés-jours

Annexe 3 : Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec.

Adapté de : Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, 2003.



ZONE ARCTIQUE

Sous-zone du Bas-Arctique

Domaine de la toundra arctique herbacée

Domaine de la toundra arctique arbustive

ZONE BORÉALE

Sous-zone de la toundra forestière

Domaine de la toundra forestière

Sous-zone de la taïga

Domaine de la pessière à lichens

Sous-zone de la forêt boréale continue

Domaine de la pessière à mousses

Domaine de la sapinière à bouleau blanc

ZONE TEMPÉRÉE NORDIQUE

Sous-zone de la forêt mélangée

Domaine de la sapinière à bouleau jaune

Sous-zone de la forêt décidue

Domaine de l'érablière à bouleau jaune

Domaine de l'érablière à tilleul

Domaine de l'érablière à caryer cordiforme

Région de la Chaudière-Appalaches

Annexe 4 : Plan d'échantillonnage.
Répartition des sites étudiés par types et stades de peuplements, ainsi que par traitements prévus sur ces peuplements.

(les nombres entre parenthèses signalent l'absence de relevé de végétation pour un site de PL3m-FF)

Type	*Stade*	*Traitement*	*Nombre de relevés théorique*	*Nombre de relevés réalisés (2009)*
PN	**3m**	REG	10	10
		FF	10	10
		TEM	10	10
		Total	*30*	*30*
	30	TEM	10	11
		Total	*10*	*11*
	Total		**40**	**41**
PE	**30**	REG	10	10
		TEM	10	9
		Total	*20*	*19*
	Total		**20**	**19**
PL	**3m**	REG	10	10
		FF	10	10 (9)
		TEM	10	*7*
		Total	*30*	*27 (26)*
	30	REG	10	10
		TEM	10	10
		Total	*20*	*20*
	Total		**50**	**47 (46)**
TOTAL			**110**	**107 (106)**

Annexe 5 : Liste des espèces d'oiseaux observées lors des points d'écoute et des houspillages.

Nom vernaculaire	Nom scientifique
Bécasse d'Amérique	*Scolopax minor*
Bécassine de Wilson	*Gallinago delicata*
Bernache du Canada	*Branta canadensis*
Bruant à gorge noire	*Amphispiza bilineata*
Bruant chanteur	*Melospiza melodia*
Bruant fauve	*Passerella iliaca*
Busard d'Amérique	*Circus cyaneus hudsonius*
Canard colvert	*Anas platyrhynchos*
Cardinal à poitrine rose	*Pheucticus ludovicianus*
Carouge à épaulettes	*Agelaius phoeniceus*
Chardonneret jaune	*Carduelis tristis*
Colobri à gorge rubis	*Archilochus colubris*
Corneille d'Amérique	*Corvus brachyrhynchos*
Faucon émerillon	*Falco columbarius*
Geai bleu	*Cyanocitta cristata*
Gélinotte huppée	*Bonasa umbellus*
Grand Corbeau	*Corvus corax*
Grand pic	*Dryocopus pileatus*
Grimpereau brun	*Certhia americana*
Grive à dos olive	*Catharus ustulatus*
Grive des bois	*Hylocichla mustelina*
Grive fauve	*Catharus fuscescens*
Grive solitaire	*Catharus guttatus*
Hirondelle bicolore	*Tachycineta bicolo*
Jaseur d'Amérique	*Bombycilla cedrorum*
Junco ardoisé	*Junco hyemalis*
Martin-pêcheur d'Amérique	*Megaceryle alcyon*
Merle d'Amérique	*Turdus migratorius*
Mésange à tête brune	*Parus hudsonicus*
Mésange à tête noire	*Poecile atricapillus*
Mésangeai du Canada	*Perisoreus canadensis*
Moqueur chat	*Dumetella carolinensis*
Moucherolle à côtés olives	*Contopus cooperi*
Moucherolle à ventre jaune	*Empidonax flaviventris*
Moucherolle des aulnes	*Empidonax alnorum*
Moucherolle tchébec	*Empidonax minimus*
Nyctale de Tengmalm	*Aegolius funereus*
Paruline à calotte noire	*Wilsonia pusilla*
Paruline à couronne rousse	*Dendroica palmarum*
Paruline à collier	*Parula americana*
Paruline à croupion jaune	*Dendroica coronata*
Paruline à flancs marron	*Dendroica pensylvanica*

Paruline à gorge noire	*Dendroica virens*
Paruline à gorge orangée	*Dendroica fusca*
Paruline à joues grises	*Vermivora ruficapilla*
Paruline à poitrine baie	*Dendroica castanea*
Paruline à tête cendrée	*Dendroica magnolia*
Paruline bleue	*Dendroica caerulescens*
Paruline couronnée	*Seiurus aurocapilla*
Paruline de Lawrence	*Vermivora lawrencii*
Paruline des ruisseaux	*Seiurus noveboracensis*
Paruline du Canada	*Wilsonia canadensis*
Paruline flamboyante	*Setophaga ruticilla*
Paruline jaune	*Dendroica petechia*
Paruline masquée	*Geothlypis trichas*
Paruline noir et blanc	*Mniotilta varia*
Paruline obscure	*Vermivora peregrina*
Paruline rayée	*Dendroica striata*
Paruline tigrée	*Dendroica tigrina*
Paruline triste	*Oporornis philadephia*
Petite buse	*Buteo platypterus*
Pic à dos noir	*Picoides arcticus*
Pic chevelu	*Picoides villosus*
Pic flamboyant	*Colaptes auratus*
Pic maculé	*Sphyrapicus varius*
Pic mineur	*Picoides pubescens*
Pioui de l'Est	*Contopus virens*
Plongeon huard	*Gavia immer*
Pluvier kildir	*Charadrius vociferus*
Quiscale bronzé	*Quiscalus quiscula*
Roitelet à couronne dorée	*Regulus satrapa*
Roitelet à couronne rubis	*Regulus calendula*
Roselin pourpré	*Carpodacus purpureus*
Sitelle à poitrine blanche	*Sitta carolinensis*
Sitelle à poitrine rousse	*Sitta canadensis*
Tangara écarlate	*Piranga olivacea*
Tarin des pins	*Carduelis pinus*
Tétras du Canada	*Falcipennis canadensis*
Tourterelle triste	*Zenaida macroura*
Troglodyte mignon	*Troglodytes troglodytes*
Urubu à tête rouge	*Cathartes aura*
Viréo à tête bleue	*Vireo solitarius*
Viréo aux yeux rouges	*Vireo griseus*
Viréo de Philadelphie	*Vireo philadelphicus*

Annexe 6 : Signification des codes et unité des variables utilisées.

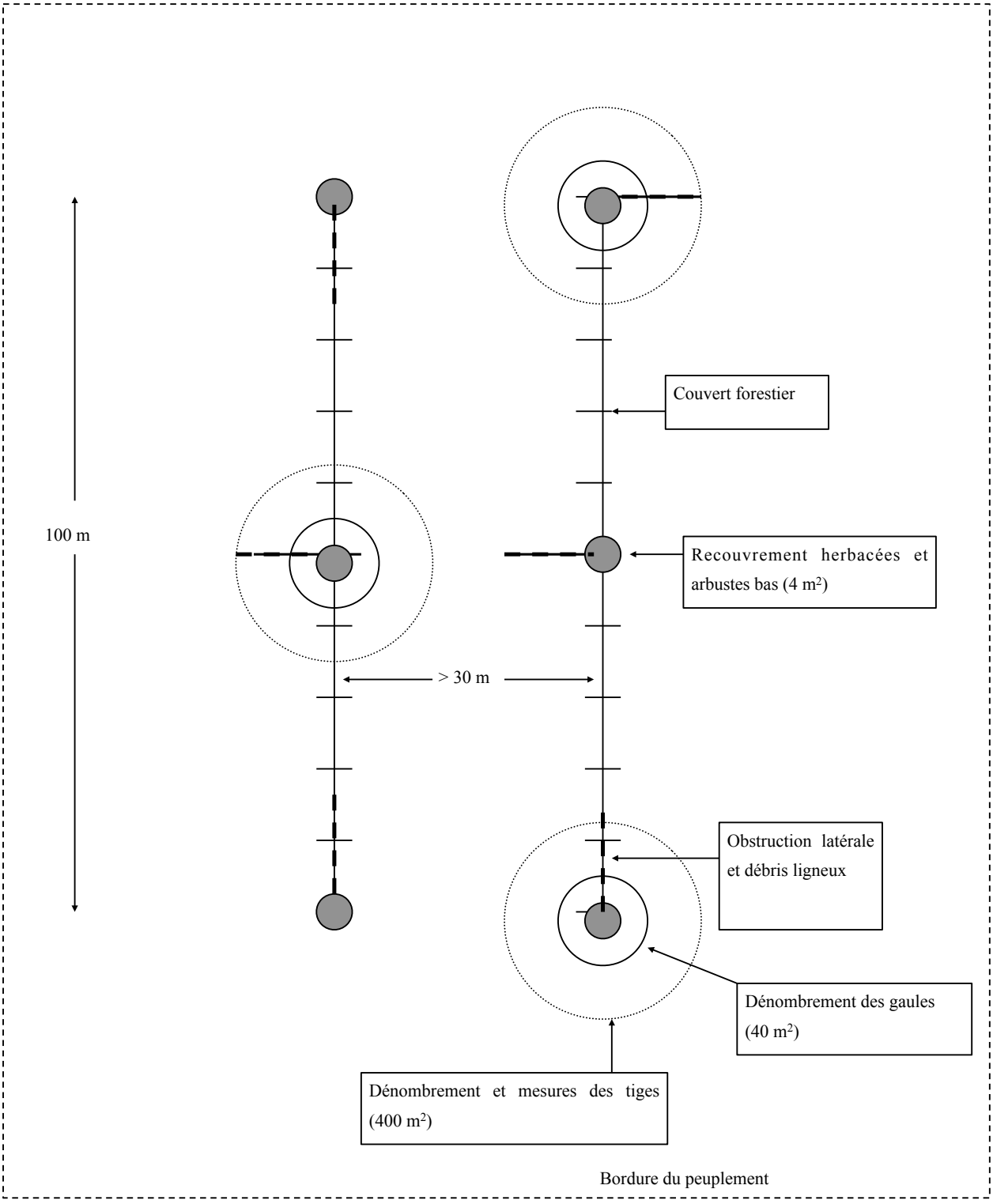
Les unités présentées ci-dessous sont celles utilisées dans la section 3.

Code	*Signification*	*Unité*
Caractéristiques de la végétation		
C_ARBOT	couvert arborescent total (> 4 m)	%
C_ARBOR	couvert arborescent résineux (> 4 m)	%
C_ARBOF	couvert arborescent feuillu (> 4 m)	%
C_ARBUHT	couvert arbustif haut total (1 à 4 m)	%
C_ARBUHR	couvert arbustif haut résineux (1 à 4 m)	%
C_ARBUHF	couvert arbustif haut feuillu (1 à 4 m)	%
C_ARBUBT	couvert arbustif bas total (0,5 à 1 m)	%
C_ARBUBR	couvert arbustif bas résineux (0,5 à 1 m)	%
C_ARBUBF	couvert arbustif bas feuillu (0,5 à 1 m)	%
C_LAT05	couvert latéral entre 0 et 0,5 m	%
C_LAT10	couvert latéral entre 0,5 et 1 m	%
C_LAT15	couvert latéral entre 1 et 1,5 m	%
C_LAT20	couvert latéral entre 1,5 et 2 m	%
C_LATMOY	couvert latéral moyen entre 0 et 2 m	%
CH_ARBUT	couvert arbustif <0,5 m total	%
CH_ARBUR	couvert arbustif <0,5 m résineux	%
CH_ARBUF	couvert arbustif <0,5 m feuillu	%
CH_VACC	couvert arbustif <0,5 m des vaccinium	%
CH_TOT	couvert herbacé total	%
CH_LAT	couvert des latifoliées	%
CH_GRA	couvert des graminoïdes	%
CH_FOU	couvert des fougères	%
CH_FRA	couvert des framboisiers, mûres et gadeliers	%
CH_PRE	couvert des prêles et lycopodes	%
CH_LIC	couvert des lichens	%
CH_MOU	couvert des mousses	%
DEBR_VVW	volume de débris ligneux au sol de van Wagner	m^3/ha

Code	Signification	Unité
DEBR_DM	diamètre moyen des débris ligneux au sol	cm
DEBR_DEC	code de décomposition moyen des débris ligneux au sol	code
CHIC_VOL	volume total de chicots	m^3/ha
CHIC_DENS	densité totale de chicots	t/ha
CHIC_PA	proportion des sites avec présence de chicots	%
CHIC_HT	hauteur moyenne des chicots	m
CHIC_DM	diamètre moyen des chicots	cm
CHIC_DEC	code de décomposition moyen des chicots	code
NT_TOT	densité de tiges totale	t/ha
NR_TOT	densité de tiges résineuses	t/ha
NF_TOT	densité de tiges feuillues	t/ha
GAUL_NT	densité de gaules totale (dhp < 9 cm)	t/ha
GAUL_NR	densité de gaules résineuses (dhp < 9 cm)	t/ha
GAUL_NF	densité de gaules feuillues (dhp < 9 cm)	t/ha
ARB_NT	densité d'arbres totale (dhp > 9 cm)	t/ha
ARB_NR	densité d'arbres résineux (dhp > 9 cm)	t/ha
ARB_NF	densité d'arbres feuillus (dhp > 9 cm)	t/ha
DQ_TOT	diamètre quadratique moyen des arbres total	cm
DQ_RES	diamètre quadratique moyen des arbres résineux	cm
DQ_FEU	diamètre quadratique moyen des arbres feuillus	cm
G_TOT	surface terrière totale	m^2/ha
G_RES	surface terrière résineuse	m^2/ha
G_FEU	surface terrière feuillue	m^2/ha
PG_RES	proportion de la surface terrière totale en résineux	%
PG_FEU	proportion de la surface terrière totale en feuillus	%
PG_EP	proportion de la surface terrière totale en épinettes	%
PG_SAB	proportion de la surface terrière totale en Sapin baumier	%
PG_RDIV	proportion de la surface terrière totale en résineux divers	%
PG_FTOL	proportion de la surface terrière totale en feuillus tolérants	%
PG_FINT	proportion de la surface terrière totale en feuillus intolérants	%
PG_FARB	proportion de la surface terrière totale en feuillus arbustifs	%

Code	*Signification*	*Unité*
FECES	densité de fèces de Lièvre d'Amérique	nb/ha
AMPHIB_PA	proportion des sites avec présence d'amphibiens	%
BRGB	abondance d'observations du Bruant à gorge blanche (écoutes)	nombre moyen/site
PAJG	abondance d'observations de la Paruline à joues grises (écoutes)	nombre moyen/site
ROCR	abondance d'observations du Roitelet à couronne rubis (écoutes)	nombre moyen/site
GRDO	abondance d'observations de la Grive à dos olive (écoutes)	nombre moyen/site
APP_BM	proportion des appels réalisés où des espèces liées au bois mort ont été observées	%
APP_PACA	proportion des appels réalisés où la Paruline du Canada a été observée	%
Caractéristiques des paysages (voir annexe 6, proportions surfaciques)		
FOR_X	proportion du paysage couvert par la forêt dans un rayon de *X* mètres autour du site	%
PERHUM_X	proportion des peuplements ayant subi une perturbation humaine dans un rayon de *X* mètres autour du site	%
PERTOT_X	proportion des peuplements ayant subi une perturbation humaine ou naturelle dans un rayon de *X* mètres autour du site	%
H_2_7_X	proportion des peuplements dont la hauteur est comprise entre 2 et 7 mètres dans un rayon de *X* mètres autour du site	%
AGE_40P_X	proportion des peuplements de plus de 40 ans dans un rayon de *X* mètres autour du site	%

Annexe 7 : Schéma d'une parcelle type pour la description des caractéristiques de la végétation des sites étudiés.



Source :

Pierre Blanchette, comm. pers.

Annexe 8 : Table des codes des stades de dégradation des débris ligneux au sol et des arbres debout.

Stade	Débris ligneux au sol			Arbre debout		
	Feuilles	Bois	Forme	Feuilles	écorce	Cime et hauteur
Arbre vivant						
1.	≥ 95%	solide	rond	≥ 95%	100%	intacte
2.	20 < x < 95%	solide	rond	20 < x < 95%	> 90 %	intacte
3.	< 20%	solide	rond	< 20%	> 75 %	intacte
Arbre mort						
4.	mortes	solide	rond	mortes	présente	intacte
5.	absente	solide	rond	absente	> 50 %	intacte
6.	absente	solide/spongieux	rond/ovale	absente	< 50 %	cassée
7.	absente	spongieux	ovale	absente	absente	cassée, hauteur > 50 %
8.	absente	spongieux	± ovale, affessé	absente	absente	< 2 m

Source :

TREMBLAY, J.A., IBARZABAL, J., DUSSAULT, C., SAVARD, J.-P.L., 2009. – *Habitat Requirements of Breeding Black-Backed Woodpeckers* (Picoides arcticus) *in Managed, Unburned Boreal Forest.* – Avian Conservation and Ecology **4** (1) : 2 – 16 p.

Annexe 9 : Traitements des données de l'inventaire écoforestier. Regroupements réalisés afin d'effectuer les analyses sur les données issues de l'inventaire écoforestier.

Seuls les traitements concernant les variables citées dans ce rapport sont exposés ci-dessous.

Groupes (réalisés dans le cadre de l'étude)	*Modalités (utilisées dans l'inventaire écoforestier)*	*Codes des modalités*
Hauteur		
< 2 m	classe 7	7
2 à 7 m	classes 5 et 6	5, 6
7 à 17 m	classes 3 et 4	3, 4
> 17 m	classes 1 et 2	1, 2
Âge*		
10 ans	classe 10	10
30 ans	classes 20 et 30	20, 30
50–70 ans	classes 50, 70, JIN et JIR	50, 70, JIN, JIR
90 ans et plus	classes 90, 120, VIN et VIR	90, 120, VIN, VIR
Perturbation modérée		
Naturelle	Brûlis partiel	BRP
	Chablis partiel	CHP
	Épidémie légère	EL
Humaine	Coupe d'amélioration	CAM
	Coupe par bandes	CB
	Coupe à diamètre limite	CDL
	Coupe de jardinage	CJ
	Coupe de jardinage avec trouées	CJT
	Coupe partielle	CP
	Coupe progressive d'ensemencement	CP(C, F, S)
	Coupe partielle photo-interprétée	CPI

Groupes (réalisés dans le cadre de l'étude)	*Modalités (utilisées dans l'inventaire écoforestier)*	*Codes des modalités*
	Coupe à diamètre limite avec dégagement des arbres d'avenir	DLD
	Dégagement mécanique de la régénération naturelle	DRM
	Éclaircie commerciale	EC
	Éclaircie précommerciale	EPC
	Éclaircie précommerciale aucune régénération visible sur la photo aérienne	EPR
	Regarni de régénération pour constituer un peuplement équivalent	RR
	Regarni de régénération aucune régénération visible sur la photo aérienne	RRG
Occupation terrain		
Forestier	Forestier	-
Agriculture	Agricole	A
	Terrain agricole localisé dans les secteurs agro-forestiers	AF
	Défriché	DEF
Eau	Eau	EAU
	Inondé	INO
Humain	Lignes à haute-tension	LTE
	Centre urbain	CU
	Gravière	GR
	Route	RO
	Villégiature	VIL
	Dépotoir	DEP
	Milieu très fortement altéré par la présence anthropique	ANT
Autre naturel	Dénudé sec	DS
	Dénudé humide	DH
	Aulnaie	AL
	Milieu naturel faiblement altéré par la présence humaine	NF

Groupes (réalisés dans le cadre de l'étude)	*Modalités (utilisées dans l'inventaire écoforestier)*	*Codes des modalités*
	Île	ILE

* = pour l'âge des peuplements, seule la première classe (majoritaire) a été prise en compte lorsque deux classes étaient indiquées (ex. : 5010 => 50)

Source des modalités :

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, FORÊT QUÉBEC, 2008. – *Norme de stratification écoforestière. Quatrième inventaire écoforestier.* – Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. – 52 p.

RÉSUMÉ

Les caractéristiques de la végétation et la fréquentation par certaines espèces fauniques ont été comparées entre peuplements forestiers naturels et aménagés en Chaudière-Appalaches (Québec, Canada), et entre deux stade des développement. Parmi les peuplements de 30 ans, il a été observé que les plantations diffèrent des peuplements naturels par un couvert latéral, une abondance en bois mort et une diversité en essences inférieurs. Ces plantations accueillent une faune globalement moins abondante que les peuplements naturels. Les peuplements éduqués présentent une position intermédiaire. Presque toutes les espèces fauniques semblent fréquenter préférentiellement les peuplements présentant un fort couvert latéral. Ces résultats suggèrent que les mesures d'atténuation de l'impact des travaux forestiers sur la faune devront notamment chercher à maintenir un couvert latéral, une diversité en essences et une abondance en bois mort suffisants pour la faune.