

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

SÉLECTION DE L'HABITAT DU GRAND PIC (*DRYOCOPUS PILEATUS*) EN FORÊT BORÉALE
MIXTE DE L'EST DU CANADA

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR

JULIEN BILODEAU-COLBERT

MAI 2023

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.04-2020). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette maîtrise s'est avérée être une épreuve réellement acrobatique, cumulant les revirements de situation et les imprévus. Cependant, grâce à ces épreuves, j'ai pu repousser mes limites et je peux dire avec confiance que je possède désormais les outils nécessaires pour affronter les prochaines étapes de ma vie tant académique que professionnelle. Je tiens à souligner ici la contribution de plusieurs personnes qui, à leurs manières, ont contribué à la réalisation de ce projet et à mon développement personnel. Leur présence a été capitale et je me considère chanceux de disposer de cercles professionnels et sociaux aussi solides.

Mes premiers remerciements reviennent aux personnes qui ont supervisé mon travail, à commencer par mon directeur de recherche, Pierre Drapeau. C'est par ton humanité, ta rigueur et ton implication que tu permets à tes étudiants de se réaliser. Ton travail en tant que pédagogue et mentor m'a permis d'être en confiance durant l'entièreté de mon parcours et je t'en suis très reconnaissant. Merci de croire en mes capacités et de m'offrir un milieu de travail stimulant. Je remercie aussi mon co-directeur, Louis Imbeau, pour ses commentaires toujours pertinents et pour le temps qu'il a consacré à mon projet. Ton expérience en tant que chercheur a été des plus précieuses.

Ensuite viennent les personnes qui m'ont accompagné sur le terrain : Réjean Deschênes, Mathieu Bernier et Matthieu Weiss-Blais. Réjean, il n'y a pas de mot pour décrire la portée de ton impact sur les activités de recherche. Que ce soit par tes talents à la pôle télescopique, ton endurance face aux longues journées de travail ou par les histoires et les rires que l'on partage autour d'une bonne partie de quarts, ta présence est absolument déterminante et c'est un grand plaisir de partager les étés avec toi. Mathieu et Matthieu, vous avez été de réels complices durant les deux saisons que j'ai pu passer avec vous. Votre dévouement et votre implication dans le projet ont simplement été admirables. Je suis certain que les projets que vous mènerez vous-mêmes seront marqués par un succès égal à vos ambitions.

Je tiens à souligner la contribution de toutes les personnes de mon entourage qui m'encouragent continuellement. Vous vous êtes montrés d'un support crucial, notamment dans les passages difficiles qui se sont présentés durant la pandémie. Un merci particulier à Kevyn Reed pour la création des leurres et Hugg Bois pour les pistes audio. Pour finir, merci à ma mère et à mon père. Votre support infini et votre intérêt pour mes projets ne passent jamais inaperçus et je me considère choyé de vous avoir dans ma vie.

Nous remercions les responsables de l'Atlas des oiseaux nicheurs du Québec (c'est-à-dire le Regroupement QuébecOiseaux, le Service canadien de la faune d'Environnement et Changement climatique Canada et Études d'Oiseaux Canada) de nous avoir fourni les données de l'Atlas, ainsi que les centaines de participants bénévoles qui ont recueilli des données pour le projet.

Amor fati...
À ceux qui ne pouvaient pas rester

AVANT-PROPOS

La présente recherche s'inscrit dans un projet qui visait initialement le suivi télémétrique de Grands Pics permettant de déterminer leur domaine vital. Les activités de terrain ont donc été dirigées en fonction de cet objectif. Cependant, d'une part, la pandémie de COVID-19 a causé plusieurs retards en lien avec la réception du matériel, les permis de baguages et l'accès au site d'étude et, d'autre part, des problèmes de santé inopportuns ont empêché la réalisation du protocole prévu. Ainsi, à la suite de la deuxième saison de terrain, nous avons été obligés de réorienter les objectifs de recherche et de produire des analyses de l'occupation spatiale de l'habitat par le Grand Pic sous un nouvel angle. En tant que candidat à la maîtrise, j'ai élaboré le protocole d'échantillonnage, participé à la récolte des données, fait les analyses et rédigé l'article présenté dans ce mémoire à titre de premier auteur. Mon directeur, Pierre Drapeau, et mon co-directeur, Louis Imbeau, sont co-auteurs de ce chapitre en raison de leur participation à la rédaction et la révision du texte.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
AVANT-PROPOS	v
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
RÉSUMÉ.....	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
0.1 Problématique.....	1
0.2 La sélection de l’habitat	2
0.3 Le domaine vital.....	4
0.3.1 Définition et sources de variation du paramètre.....	4
0.3.2 Méthodes de mesure du domaine vital	7
0.4 L’écologie du Grand Pic.....	8
0.4.1 Morphologie	8
0.4.2 Comportement d’alimentation.....	8
0.4.3 Comportement de nidification et territorialité	9
0.4.4 Utilisateurs secondaires	10
0.5 Sélection de l’habitat du Grand Pic	11
0.5.1 Aire de répartition	11
0.5.2 Domaine vital	11
0.5.3 Peuplements sélectionnés	13
0.5.4 Arbres utilisés pour la reproduction et l’alimentation	14
0.6 Objectif.....	16
1.1 Résumé	17
1.2 Introduction	19
1.3 Matériel et Méthodes.....	22
1.3.1 Site d’étude	22
1.3.2 Recherche de cavités et de marques d’alimentation du Grand Pic.....	22
1.3.3 Sélection de l’habitat de nidification du Grand Pic et mesure de la qualité des peuplements forestiers à l’échelle du paysage	23

1.3.4 Répartition des arbres de reproduction et d'alimentation à l'intérieur des sites de nidification	24
1.3.5 Analyses statistiques	25
1.3.5.1 Qualité de l'habitat à l'échelle du paysage	25
1.3.5.2 Répartition des peuplements propices pour la nidification au sein des domaines d'activité..	26
1.3.5.3 Répartition fine des arbres propices à l'alimentation et à la reproduction à l'intérieur des domaines d'activité avec des nids actifs.....	27
1.4 Résultats	27
1.4.1 Sélection de l'habitat de nidification à l'échelle du paysage	27
1.4.2 Répartition des peuplements propices à la reproduction à l'intérieur des 30 domaines d'activités du Grand Pic.....	28
1.4.3 Répartition des arbres propices à la reproduction et à l'alimentation à l'échelle du domaine d'activités des cinq couples nicheurs en 2020	28
1.5 Discussion	28
1.5.1 L'importance des peuplements à forte densité de peupliers faux-trembles pour l'établissement à long terme sur un territoire	28
1.5.2 Répartition des ressources à l'intérieur des domaines vitaux des Grands Pics aux échelles du paysage et de l'arbre	31
1.5.3 Conséquences pour l'aménagement forestier	33
1.6 Remerciements	35
1.7 Littérature citée.....	35
1.8 Figures.....	41
1.9 Tableaux.....	44
CONCLUSION GÉNÉRALE	47
2.1 L'importance des peuplements propices à la nidification du Grand Pic	47
2.2 Travaux futurs et recommandations	48
ANNEXE A : FIGURES DE L'INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	50
ANNEXE B : TABLEAU DE L'INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	51
RÉFÉRENCES CITÉES DANS L'INTRODUCTION ET LA CONCLUSION GÉNÉRALE.....	52

LISTE DES FIGURES

Figure 0.1 : Comparaison de la répartition du Grand Pic au Québec entre le premier (1984-1989) et le deuxième (2010-2014) recensement des oiseaux nicheurs de la province du Québec. La coloration des carrés représente la probabilité de nidification d'un grand pic dans la zone : le rouge indique une nidification confirmée; l'orange indique une nidification probable; le jaune indique une nidification possible; le gris indique que l'espèce n'a pas été observée et le blanc indique une zone non visitée. Les cartes ont été récupérées des atlas des oiseaux nicheurs du Québec (Gauthier et Aubry, 1995; Robert *et al.*, 2019).

Figure 1.1 : Carte de la zone d'étude ainsi que de la distribution des sites de nidification de Grand Pic répertoriés depuis 2003 et des sites aléatoires. Les polygones de différentes couleurs représentent les peuplements forestiers issus des cartes écoforestières. Leur coloration fait référence à l'estimation du nombre de cavités retrouvées à l'hectare par l'indice de nidification du modèle de qualité d'habitats de Cadieux *et al.* (2019). Les peuplements ayant un indice de « 0-0.01 cavités à l'hectare » ont été retirés de la carte afin de faciliter sa lecture, puisqu'ils remplissent l'ensemble des espaces vides.

Figure 1.2 : Exemple de la procédure de recherche de cavités de nidification et d'excavations d'alimentation durant les saisons de terrain 2020 et 2021. Le polygone rouge représente un peuplement forestier et les lignes noires représentent les lignes suivies par les observateurs durant les battues. Les observateurs étaient positionnés de manière à suivre des lignes espacées de 10 mètres et étaient responsables de couvrir une zone de visuel de 5 m de chaque côté. Lorsque les dimensions des peuplements étaient irrégulières, les observateurs devaient couvrir les zones non couvertes par les lignes de battues en se fiant à la carte des peuplements intégrés à leur GPS, représentée par les lignes pointillées. Les lignes de battues n'étaient marchées qu'une seule fois par souci d'efficacité et parce que les observateurs étaient expérimentés en détection de cavités.

Figure 1.3 : Représentation des zones concentriques de superficie de 166,66 hectares issues de la subdivision des domaines vitaux théoriques de 500 hectares en 3 zones de superficies équivalentes. Ces zones ont été circonscrites autour de l'ensemble des sites de nidification et de sites aléatoires pour les analyses à l'échelle du paysage. La superficie des différents peuplements forestiers, représentés par les contours des polygones irréguliers, dans chacune des zones concentriques fut ajustée en fonction de la portion présente dans les zones concentriques. Les valeurs entre les parenthèses des zones concentriques dans la légende ont été arrondies pour simplifier la distinction des zones.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 0.1 : Estimations du domaine vital du Grand Pic et informations complémentaires des travaux retrouvés dans la littérature.

Tableau 1.1 : Comparaison de territoires de 500 hectares de Grand Pic en forêt boréale mixte utilisés (nids) et non utilisés (sites aléatoires) par le Grand Pic quant à la densité d'arbres propices à l'excavation de cavités de Grand Pic dans la région de la Forêt d'enseignement et de recherche du lac Duparquet en Abitibi-Témiscamingue, Québec.

Tableau 1.2 : Comparaison de la répartition des peuplements propices à la nidification du Grand Pic trouvés entre 2003 et 2021 en Abitibi-Témiscamingue en fonction de 3 classes de distances par rapport aux nids. Les tests de Tukey ont été réalisés avec un seuil de signification de $p < 0,05$.

Tableau 1.3 : Comparaison de la densité moyenne de tiges (> 20 cm de DHP) propices à la création de cavités de nidification par le Grand Pic à différentes distances de 5 sites de nidification trouvés en 2020 en forêt boréale mixte de l'Abitibi-Témiscamingue, Québec. Les tests de Tukey ont été réalisés avec un seuil de signification de $p < 0,05$.

Tableau 1.4 : Densité moyenne de tiges propices à l'alimentation (> 20 cm de DHP) du Grand Pic à différentes distances de 5 sites de nidification actifs en 2020 en forêt boréale mixte de l'Abitibi-Témiscamingue, Québec. Les tests de Tukey ont été réalisés avec un seuil de signification de $p < 0,05$.

RÉSUMÉ

L'importance des forêts matures et âgées pour le maintien de la biodiversité est irréfutable. En raison de leur utilisation marquée du bois mort et des arbres sénescents pour l'excavation de leurs cavités de nidification et leur alimentation, les espèces cavicoles sont particulièrement sensibles à la perte de ce type d'habitat. Parmi ces espèces, le Grand Pic (*Dryocopus pileatus*) est une espèce de choix pour orienter les standards d'aménagement forestiers, détenant le statut d'espèce indicatrice de la forêt mature, espèce clé de voûte et parapluie, en raison de son impact positif sur la faune utilisatrice des grandes cavités, cavités qu'il creuse chaque année. Pour mieux comprendre l'écologie de cette espèce, la présente étude a pour premier objectif de définir les concepts et enjeux associés aux processus de sélection d'habitats, avec un accent sur l'échelle du domaine vital, et de dresser par la suite un portrait d'ensemble de la sélection d'habitats faite par le Grand Pic à différentes échelles spatiales en forêt boréale mixte du Nord-ouest du Québec. Elle a pour second objectif d'évaluer comment la répartition des sites de nidification du Grand Pic est associée à la distribution des arbres de nidification et d'alimentation dans les peuplements forestiers de la forêt boréale mixte du Nord-ouest du Québec. Pour ce faire, un modèle empirique de la qualité de l'habitat des peuplements forestiers de la forêt boréale mixte a été élaboré en mettant en relation les informations des cartes numériques écoforestières, les inventaires forestiers du ministère des Forêts de la Faune et des Parcs du Québec et l'important jeu de données empiriques des arbres d'alimentation et de reproduction du Grand Pic répertoriés lors des recensements de la faune cavicole dans notre secteur d'étude ces derniers 15 ans. Ce modèle a été utilisé pour comparer la proportion des peuplements propices à la reproduction du Grand Pic de 30 sites de nidification connus à l'intérieur d'un domaine vital estimé de 500 hectares à celle de 30 sites de même superficie distribués aléatoirement dans l'aire d'étude. De plus, dans les 30 sites de nidification de Grand Pic, la répartition des proportions de peuplements forestiers en fonction de la densité estimée des tiges propices à la reproduction a été comparée selon trois zones concentriques en périphérie des nids, soit à proximité (soit de 0 à 166 ha), à une distance intermédiaire (soit de 167 à 334 ha) et éloignée du site de nidifications (soit de 335 à 500 ha). Enfin, un échantillonnage sur le terrain de la densité de tiges adéquates pour l'alimentation et la nidification de l'espèce a été réalisé dans 250 placettes distribuées de manière systématique dans des zones de 500 hectares autour de 5 sites de nidification actifs en 2020.

Pour l'ensemble de la région à l'étude, nos analyses ont révélé qu'à l'échelle de la mosaïque forestière (65 200 ha) les secteurs du territoire abritant une cavité de reproduction de Grand Pic étaient répartis dans des paysages dont les peuplements adjacents contenaient des densités plus élevées d'arbres pouvant abriter une cavité de reproduction que les secteurs aléatoires. À l'échelle des domaines d'activités du Grand Pic (500 ha) centrés sur les 30 sites de nidification répertoriés depuis 2003, la proportion de peuplements forestiers de qualité élevée (avec un fort nombre estimé de tiges propices à la reproduction) était plus élevée à proximité des nids (premier rayon de 728 mètres) qu'à distance de ces derniers. Enfin, dans les cinq sites de reproduction actifs en 2020, nos inventaires systématiques ont montré des densités effectives des tiges propices à la nidification et à l'alimentation du Grand Pic plus élevées à proximité du nid, venant confirmer le rôle clé des arbres de reproduction et d'alimentation dans la répartition spatiale de la sélection des sites de nidification du Grand Pic dans notre aire d'étude.

Ces résultats montrent que la localisation des nids de Grand Pic (sélection de troisième ordre; Johnson, 1980) est fortement associée à une sélection fine de peuplements forestiers à forte concentration d'arbres pouvant accueillir des cavités et des arbres d'alimentation (sélection de quatrième ordre; Johnson, 1980). Ils montrent aussi qu'à l'intérieur des domaines d'activités des couples nicheurs actifs, les concentrations d'arbres propices à la reproduction et à l'alimentation sont des variables clés pour l'établissement de leur territoire. Les avantages des peuplements mixtes matures sont nombreux pour le Grand Pic. Ils peuvent permettre à un couple d'occuper un territoire durant plusieurs années, offrent des sites de nidification

alternatifs en cas de perturbation et contiennent également une bonne disponibilité d'arbres propices à son alimentation. Ainsi, les peuplements matures à forte concentration de peupliers faux-trembles s'avèrent d'une importance capitale dans l'occupation du territoire chez cette espèce. Les orientations d'aménagement forestier durable devraient donc se baser sur une vision à long terme ciblant davantage le maintien dans le paysage d'une plus forte proportion de peuplements mixtes âgés de peupliers faux-trembles sénescents et d'arbres matures de conifères (sapin baumier, épinette blanche) pour la nidification du Grand Pic, leur nombre ayant déjà été grandement diminué en raison des systèmes d'aménagement forestier équienné basés principalement sur les pratiques de coupes avec protection de la régénération et des sols (CPRS) qui ces dernières décennies ont rajeuni passablement le couvert forestier diminuant d'autant les vieilles forêts mixtes dans la portion sud de la forêt boréale.

Mots clés : Grand Pic, sélection d'habitats, domaine vital, forêts matures, nidification, alimentation, peuplier faux-tremble

INTRODUCTION GÉNÉRALE

0.1 Problématique

Pour le Québec, l'importance des forêts est indéniable, tant au niveau économique qu'en termes de patrimoine. Elles couvrent plus de la moitié du territoire de la province (>900 000km²) (MFFP, 2015). Dans l'optique d'apporter un équilibre entre la prospérité du secteur économique du secteur forestier et la santé de ces écosystèmes, le gouvernement du Québec et le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) se sont dotés d'une stratégie d'aménagement durable rendue publique en 2015. Cette stratégie est articulée autour de 6 défis, chacun accompagné de plusieurs orientations indiquant la marche à suivre pour les années à venir. Parmi les objectifs, on retrouve notamment la volonté que l'aménagement forestier soit fait de manière à assurer la durabilité des écosystèmes avec, entre autres, l'orientation de « maintenir des habitats de qualité pour les espèces nécessitant une attention particulière et pour celles qui sont sensibles à l'aménagement forestier » (MFFP, 2015). Pourtant, le gouvernement peine à établir des aires protégées et à modifier les pratiques d'aménagement forestier. En effet, malgré les nombreux avis scientifiques révélant les tendances désastreuses des changements d'affectation des terres sur la biodiversité et appelant à la protection de grands massifs forestiers (Drapeau *et al.*, 2016; Maxwell *et al.*, 2016; Scheffers *et al.*, 2016; Titeux *et al.*, 2016, 2017; Chaudhary et Mooers, 2018; Newbold, 2018; IPBES, 2019), et suite au refus de 83 projets d'aires protégées au sud de la limite d'attribution des forêts à la récolte ligneuse (Shields, 2021), le Québec n'avait pas encore atteint officiellement la cible internationale des 17% d'aires protégées en milieu terrestre et en eau douce de 2020 (Gouvernement du Québec, 2021b).

Parmi les espèces sensibles à l'aménagement forestier, on retrouve celles associées aux forêts matures et âgées, tels les oiseaux utilisateurs de cavité, dits cavicoles, retrouvés en forêt boréale (Imbeau *et al.*, 2001; Drapeau *et al.*, 2009; Cooke et Hannon, 2012; Cheveau, 2015; Nappi *et al.*, 2015). Une diminution de la distribution des oiseaux cavicoles est d'ailleurs observée dans la province et s'explique par l'effet cumulatif de l'augmentation de la fréquence des coupes et des feux des forêts (Regos *et al.*, 2018). En effet, les pratiques forestières des dernières décennies ont causé un rajeunissement général du paysage boréal, augmentant la proportion de jeunes forêts au détriment des forêts matures et âgées (>100 ans), et ont réduit la quantité de gros arbres morts, un attribut de l'habitat essentiel pour les oiseaux cavicoles de grande taille (Imbeau *et al.*, 2001; Bergeron *et al.*, 2002; Gauthier *et al.*, 2008; Drapeau *et al.*, 2009; Nappi *et al.*, 2015). Cette tendance renforce ainsi l'urgence d'agir face à la perte de biodiversité liée à la perte d'habitat et soutient la nécessité de se doter d'outils permettant de mieux comprendre et mieux cibler les besoins des animaux.

En Amérique du Nord, le Grand Pic (*Dryocopus pileatus*) a depuis longtemps été identifié comme une espèce clé de voûte (pourvoyeuse des grandes cavités pour de nombreuses espèces cavicoles qui ne peuvent creuser leur cavité), indicatrice des forêts matures, et une espèce parapluie (en raison de son très grand domaine vital), lui donnant donc un rôle clé dans la gestion des forêts (Bull et Holthausen, 1993; Savignac *et al.*, 2000; Bonar, 2001; Aubry et Raley, 2002a; Hartwig *et al.*, 2004; Martin *et al.*, 2004; Lemaitre et Villard, 2005; Cadieux, 2011, 2017; Blake, 2018). Plus précisément, l'espèce est considérée comme étant représentative des forêts à dominance de feuillus, matures ou âgées, au Québec (Lafleur et Blanchette, 1993), et figure sur la liste des espèces sensibles à l'aménagement forestier pour le domaine de la sapinière à bouleau jaune, de la sapinière à bouleau blanc et de l'érablière (Cheveau, 2015). L'espèce détient aussi un statut prioritaire dans la stratégie régionale de conservation des oiseaux du Canada grâce à son influence positive sur la biodiversité en raison de ses activités d'excavation de grandes cavités (Gouvernement du Canada, 2021a). Un indice de qualité d'habitat (IQH), basé sur les besoins du Grand Pic, est notamment utilisé par le MFFP pour faciliter l'évaluation et la conservation de son habitat (Lafleur et Blanchette, 1993). En revanche, cet IQH date de 1993 et depuis de nombreuses études ont approfondi les connaissances par rapport à l'habitat utilisé par le Grand Pic, notamment en Abitibi-Témiscamingue (Gasse, 2007; Ouellete-Lapointe, 2010; Cadieux, 2011, 2017; Nappi *et al.*, 2015; Antaya, 2019). De plus, seulement deux études au Canada ont porté sur la sélection du domaine vital de l'espèce (l'une au Québec par Savignac *et al.* (1996) et l'autre en Alberta par Bonar (2001)), une information essentielle pour circonscrire les exigences spatiales d'habitat requises par un animal qui permettent de raffiner les analyses fines de la qualité de son habitat en fonction de la disponibilité et de l'utilisation de ses attributs. Dans ce contexte, le présent mémoire de maîtrise vise principalement à documenter la sélection de l'habitat par le Grand Pic, en particulier durant la période de nidification pour accroître les connaissances sur les facteurs écologiques qui sont déterminants dans l'occupation spatiale de cette espèce en forêt boréale québécoise. Ces connaissances permettront de mieux orienter les cibles de rétention d'habitat propices à maintenir cette espèce dans les paysages boréaux aménagés ainsi qu'à mieux identifier les massifs forestiers propices à un statut de protection au sein de la forêt boréale.

0.2 La sélection de l'habitat

Pour étudier l'écologie d'une espèce animale, il est crucial de comprendre comment celle-ci utilise son habitat – qu'on définit par l'ensemble distinctif de facteurs environnementaux physiques et biologiques nécessaires à son cycle vital, particulièrement en regard de son alimentation et de sa reproduction. Les écologistes ont donc porté une grande attention au concept de sélection de l'habitat afin d'expliquer les variations d'abondance et la distribution des espèces dans l'espace et le temps (Jones, 2001; Mayor *et al.*, 2009; Avgar *et al.*, 2020). La sélection de l'habitat fait référence à l'utilisation disproportionnée de

ressources ou de conditions par rapport à leur disponibilité (Johnson 1980, Mayor et al. 2009). Elle est de plus issue d'un processus hiérarchique de réponses comportementales et de choix affectant ultimement la survie et le succès reproducteur d'un individu (Jones, 2001; Mayor *et al.*, 2009). Cette sélection peut être évaluée selon différents niveaux – communément nommés « ordre » – en raison de leurs relations hiérarchiques : premier ordre - l'aire de distribution physique ou géographique, deuxième ordre - le domaine vital d'un individu ou d'un groupe social, troisième ordre - le peuplement forestier ou le site sélectionné et, le quatrième ordre - le substrat ou la ressource spécifique. Cette classification s'explique par le fait que les processus de sélection plus fins sont conditionnels à ceux plus larges. Par exemple, la sélection d'un peuplement forestier est déterminée par la quantité et le type d'habitats disponibles à l'intérieur d'un domaine vital préalablement sélectionné (Johnson, 1980).

La sélection de l'habitat est toutefois à distinguer de « l'utilisation de l'habitat », ces deux concepts étant souvent confondus dans la littérature. L'utilisation de l'habitat réfère à la manière dont un individu ou une espèce utilise l'habitat pour répondre à ses besoins (Jones, 2001). Ce concept décrit davantage la distribution des individus au sein de différents types d'habitats et ne renvoie donc pas à la notion plus complexe de « sélection d'habitats » qui, elle, se rapporte aux processus comportementaux et à la prise de décision de l'individu ou de l'espèce qui sous-tendent une utilisation disproportionnée d'un ou de plusieurs habitats ou attributs d'habitat en fonction de leur disponibilité dans l'environnement (Rosenzweig, 1981; Jones, 2001; Mayor *et al.*, 2009). La sélection de l'habitat requiert donc une mesure quantitative de l'utilisation effective d'un habitat ou d'un attribut d'habitat par une espèce ou un individu de cette espèce par rapport à sa disponibilité dans l'aire d'étude. On peut conclure qu'il y a sélection lorsque l'habitat ou l'attribut de l'habitat est davantage utilisé que sa disponibilité de façon statistiquement significative.

Les processus de sélection de l'habitat sont affectés par différents facteurs propres au contexte de l'espèce et de la population étudiée, telles les densités d'individus et l'abondance de ressources (Avgar *et al.*, 2020). En effet, la relation entre la sélection d'habitats et la densité d'individus est connue pour avoir un effet négatif; l'augmentation de la densité d'une population coïncide généralement avec une augmentation de la compétition pour les ressources prisées, obligeant une partie des individus à être moins sélectifs et à se rabattre dans des parcelles de moins bonne qualité (Morris, 1987; McLoughlin *et al.*, 2010; Bledose et Ernest, 2019; Avgar *et al.*, 2020). La densité de la population peut aussi jouer un rôle dans le compromis par rapport à la prise de risques des organismes en fonction de la distribution des ressources. L'augmentation de la taille de la population implique une probabilité de prédation et un taux de consommation de ressources plus faible par les individus (Avgar *et al.*, 2020). Ainsi, dans le contexte

d'une population comptant un nombre élevé d'individus, les membres de celle-ci devraient orienter leur sélection vers des habitats ayant davantage de ressources plutôt que vers les habitats sécuritaires (Avgar *et al.*, 2020). Le comportement général de l'espèce étudiée, à savoir si les individus sont davantage opportunistes (sélection des ressources dans les proportions existantes) ou spécialistes (sélection disproportionnée des ressources présentes), est aussi une notion importante à considérer dans une étude portant sur la sélection d'habitats, notamment afin d'identifier les facteurs limitants et d'établir les priorités de l'espèce (Rosenzweig, 1981).

L'historique de vie et le comportement des individus peuvent aussi jouer un rôle dans l'occupation de l'espace et la sélection de l'habitat (Pipper, 2011; Lafontaine *et al.*, 2017; Ranc *et al.*, 2020). En effet, même si les modèles théoriques de sélection d'habitats peuvent prévoir avec une certaine précision la présence et l'activité d'une espèce, une grande partie des modèles de sélection sont souvent basés sur des suppositions « idéalistes » et présument entre autres que les individus ont une connaissance parfaite de la qualité des habitats les entourant (Johnson, 2007; Pipper, 2011). La familiarité à un site – défini comme étant l'accumulation d'informations à propos d'un site par un animal – fait partie des concepts fondamentaux souvent oubliés lors de la modélisation (Pipper, 2011). Pourtant, les bénéfices sur le succès reproducteur et la survie d'un individu en lien avec la familiarisation de son environnement sont nombreux, notamment dans les contextes de dispersion et d'acquisition des ressources. En effet, les individus plus « naïfs » sont généralement plus à risque de prédation et acquièrent leurs ressources moins efficacement (Pipper, 2011; Lafontaine *et al.*, 2017; Ranc *et al.*, 2020).

Finalement, pour bien comprendre les processus de sélection de l'habitat, il est important de considérer plusieurs échelles spatiales. La méta-analyse de Mayor *et al.* (2009) a d'ailleurs montré que les prévisions faites à partir de modèles ne considérant qu'une seule échelle spatiale étaient insuffisantes. Mayor *et al.* (2009) ont aussi montré que les processus de sélection d'habitats peuvent parfois n'être détectés qu'à des échelles spécifiques. Les échelles temporelles et la variabilité interindividuelle sont aussi des éléments à prendre en considération, et ce, bien que peu d'études aient historiquement inclus ces composantes dans leurs analyses (Mayor *et al.*, 2009; Lesmerises et St-Laurent, 2017).

0.3 Le domaine vital

0.3.1 Définition et sources de variation du paramètre

Le concept de domaine vital est d'intérêt pour expliquer l'utilisation de l'espace et le mouvement des animaux. Le domaine vital se définit comme étant la superficie utilisée par un animal par rapport à ses activités quotidiennes (alimentation, reproduction, élevage des jeunes) dans une période donnée (saison de

reproduction, année, vie) (Burt, 1943; Johnson, 1980; Samuel *et al.*, 1985; Tomasevic et Marzluff, 2018a). Évidemment, certains individus sont parfois portés à sortir de leur domaine vital pour explorer les secteurs voisins, mais ces données ne devraient pas être incluses dans la détermination du domaine vital. Le domaine vital est aussi à différencier de la notion de territoire qui implique la défense active d'une zone par un individu. Ainsi, les domaines vitaux de différents individus peuvent se chevaucher, contrairement aux territoires (Burt, 1943). Le territoire et le domaine vital incluent généralement la « zone essentielle » (core area) où l'on retrouve les ressources critiques à la survie de l'animal (Samuel *et al.*, 1985). À noter que le concept de domaine vital n'est généralement pas applicable aux déplacements reliés à la migration (Burt, 1943; Johnson, 1980).

Plusieurs facteurs écologiques et physiologiques sont connus pour avoir un impact sur les dimensions des domaines vitaux des animaux et des effets différents en fonction de l'échelle étudiée (individu, population et espèce) (McNab, 1963; Harestad et Bunnell, 1974; McLoughlin et Ferguson, 2000; Ducan *et al.*, 2015).

Chez les **espèces**, la taille de l'animal est un paramètre bien documenté qui est positivement corrélé avec la taille du domaine vital. Cette corrélation est un reflet direct des besoins métaboliques alors qu'un animal de grande taille doit recueillir davantage de ressources énergétiques pour répondre à ses besoins comparativement à un animal de petite taille (McNab, 1963; Ducan *et al.*, 2015). D'autres facteurs sont impliqués dans cette corrélation, telle que la position trophique de l'espèce et la qualité de l'habitat. En effet, l'étude de McNab (1963) démontre que la stratégie d'alimentation, associée à la position dans la chaîne trophique, a un rôle sur la taille du domaine vital ; les « chasseurs » (incluant les espèces granivores, frugivores, insectivores et carnivores) ont, à poids égal, des domaines vitaux en moyenne 4 fois plus grands que les « brouteurs » (incluant les herbivores). Cette observation est cohérente avec la densité et la productivité de leur nourriture respective, puisque les producteurs primaires présentent un meilleur ratio énergie par unité de surface que les producteurs secondaires. Les herbivores peuvent donc exploiter de plus petites zones, la position spatiale de leurs ressources étant plus concentrée que pour les carnivores (Harestad et Bunnell, 1979). À noter que les espèces omnivores ont des domaines vitaux intermédiaires, comparativement aux herbivores et carnivores (Harestad et Bunnell, 1979). L'accessibilité et la position des parcelles, « patches », de ressources de qualité sont aussi intimement reliées à la taille de l'animal et la taille du domaine. En raison de leurs plus grands besoins, les animaux de plus grande taille parcourent généralement plus de territoire à la recherche de nourriture, ce qui augmente leur chance de rencontrer des parcelles non productives contribuant ainsi à agrandir la taille de leur domaine vital (Harestad et Bunnell, 1979; McLoughlin et Ferguson, 2000). De plus, lorsque les ressources requises pour

l'alimentation se distinguent de celles nécessaires pour la reproduction, l'agrandissement du domaine vital est d'autant plus amplifié (Harestad et Bunnell, 1979). La qualité générale de l'habitat présente donc une corrélation parfois négative avec la taille de l'animal (McLoughlin et Ferguson, 2000). Pour terminer, quelques millions d'années sont nécessaires pour qu'un changement de la taille du domaine vital soit observable à l'échelle d'une espèce (McLoughlin et Ferguson, 2000)

À l'échelle d'une **population**, les principales sources de variation de la taille des domaines vitaux sont reliées au climat, principal facteur déterminant la disponibilité de nourriture. En effet, une population ayant accès à davantage de ressources permettra aux individus présents de répondre plus facilement à leurs besoins. Ceci implique donc des domaines vitaux plus petits pour chaque individu et une possible augmentation de la densité de la population (McLoughlin et Ferguson, 2000). Les changements de dimension peuvent se produire au fil des générations en fonction de la densité d'individus et des événements climatiques stochastiques (McLoughlin et Ferguson, 2000).

À l'échelle de l'**individu**, plusieurs facteurs locaux peuvent influencer la taille des domaines vitaux et produire des changements observables sur de courtes périodes de temps. Par exemple, l'observation de variations saisonnières du domaine vital est commune notamment chez les gros herbivores (Ranc *et al.*, 2020). En effet, la présence de facteurs limitants, tel un site de reproduction spécifique, peut influencer la taille et la position du domaine vital saisonnier (Lafontaine *et al.*, 2017). Ainsi, au moment de tirer des conclusions sur le domaine vital des individus suivis, il est nécessaire de considérer le contexte spatio-temporel ainsi que l'écologie de l'espèce dans l'interprétation des données récoltées (McLoughlin et Ferguson, 2000).

La disponibilité des ressources est encore une fois un facteur clé régissant la taille du domaine vital d'un animal puisqu'elle détermine le potentiel d'un territoire pour la survie et pour le succès reproducteur des individus. Un grand nombre d'études ont d'ailleurs démontré que la taille du domaine vital est inversement proportionnelle à la disponibilité en nourriture, jusqu'au seuil où il est physiquement impossible pour l'individu d'exploiter l'habitat en question (Stenger, 1958; Kodric-Brown et Brown, 1978; Taitt et Krebs, 1981; Renken *et al.*, 1989; Tufto *et al.*, 1996; McLoughlin et Ferguson, 2000; Herfindal *et al.*, 2005; Hansen *et al.*, 2009). La relation entre ces deux paramètres n'est cependant pas toujours la même, la corrélation pouvant être parfois positive ou neutre en fonction de l'espèce, de l'individu et du contexte spatio-temporel. Par exemple, une réduction de la taille du territoire du sanglier sauvage a été observée par Massei *et al.* (1997) en réponse à la faible disponibilité des ressources. Les auteurs expliquent cette stratégie par l'ampleur de la pénurie de nourriture faisant en sorte qu'il n'y avait

pas de gain d'énergie associé à l'augmentation du territoire. D'autre part, les travaux de Franzblau et Collins (1980) n'ont pas noté de changement dans la taille du territoire du Tohi à flancs roux (*Pipilo erythrophthalmus*), une espèce de passereaux, suite à l'augmentation artificielle de nourritures disponibles. À noter que dans les deux études, les auteurs utilisent le terme « territoire » même si leurs prises de mesure s'apparentent davantage à la mesure du domaine vital, leurs méthodologies ne distinguant pas de comportement territorial clair durant la prise de localisation.

Pour certaines espèces, d'autres facteurs tels la présence de prédateur, la densité de la population, la présence de structures anthropiques et la compétition inter et intra spécifique, peuvent avoir un impact prioritaire ou majeur sur la taille du domaine vital (McLoughlin et Ferguson, 2000). Par exemple, les travaux de Wilson *et al.* (2019) ont révélé que la taille du domaine vital du caribou forestier était inversement corrélée avec le degré de perturbation anthropique, et ce, indépendamment du gradient de végétation. Cette observation s'expliquerait par le fait qu'un plus petit domaine vital diminue le risque de prédation qui est un facteur limitant critique pour l'espèce.

Des différences dans la taille du domaine vital des individus sont aussi observées entre les sexes (McLoughlin et Ferguson, 2000). Ceux-ci peuvent résulter de différences morphologiques, et donc métaboliques, notables, ou lorsque différentes stratégies de vie sont exprimées par les deux sexes (McLoughlin et Ferguson, 2000; Dahle *et al.*, 2006). Par exemple, si la défense de la progéniture est davantage accomplie par l'un des sexes, ces individus auront généralement un plus petit domaine vital que leur contrepartie en raison de l'adoption de comportements permettant de rester à proximité du site de reproduction (Dahle *et al.*, 2006).

0.3.2 Méthodes de mesure du domaine vital

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour mesurer le domaine vital et l'utilisation de l'habitat d'un animal, chaque méthode présentant ses avantages et ses limites (Gregory, 2017).

La méthode de cellule de grille fut la première à être décrite dans la littérature par Haugen (1942). Cette méthode consiste à diviser une carte en différentes cellules et à noter la présence de l'animal dans celles-ci. Même si cette méthode peut tenir compte des passages répétés à l'intérieur d'une cellule, trouver la bonne taille de cellule est critique, puisque des cellules trop grandes vont porter à surestimer la taille du domaine vital et, a contrario, de trop petites vont porter à la sous-estimer (Gregory, 2017).

La méthode du polygone convexe consiste en la création d'un polygone regroupant tous les points géoréférencés de l'animal suivi et sans angle interne ayant plus de 180 degrés (Hayne, 1949). Cette méthode plutôt directe a l'avantage d'être simple, mais elle ne considère pas la fréquence d'utilisation des différentes zones et ne permet donc pas de discerner les secteurs les plus fréquentés par l'individu. Cependant, il est possible de ne considérer qu'une partie des points (généralement 95%), ce qui permet déjà une meilleure analyse de l'utilisation de l'habitat par l'individu d'une espèce donnée (Gregory, 2017).

La méthode de Kernel (Worton, 1989) est la plus utilisée aujourd'hui, puisqu'elle permet l'estimation la plus complète et non biaisée de l'utilisation de l'habitat lorsque suffisamment de données sont disponibles. Les estimations de Kernel sont cependant complexes, puisqu'elles se basent sur la probabilité de retrouver l'animal à une certaine localisation (distribution d'utilisation). Ainsi, comparativement à la méthode du polygone convexe, la méthode de kernel implique un paramètre de lissage (SP) qui réduit l'ampleur des espaces vides entre les points en fonction de leur concentration. Il existe deux types de Kernel impliquant une utilisation différente du paramètre de lissage, soit le Kernel fixe et le Kernel adaptatif. Le Kernel fixe utilise la même valeur de SP à travers les points et le kernel adaptatif utilise un SP qui varie en fonction de la densité de points (Worton, 1989; Gregory, 2017).

0.4 L'écologie du Grand Pic

0.4.1 Morphologie

À la suite des extinctions probables du Pic à bec ivoire (*Campephilus principalis*) et du Pic impérial (*Campephilus imperialis*), le Grand Pic (*D. pileatus*) est devenu la plus grande espèce de pic en Amérique du Nord et la 6^{ème} au monde (Bonar, 2001; Bull et Jackson, 2011). La masse moyenne d'un individu varie entre 240 et 350 g, et les mâles sont généralement de 5 à 15 % plus lourds que les femelles (Bonar, 2001). En termes de plumage, les mâles et les femelles de l'espèce sont relativement similaires. Il est possible de distinguer les mâles par la prolongation de leur huppe rouge jusqu'à leur bec ainsi que par la présence d'une moustache rouge à la base de leur bec, ces parties étant noires chez la femelle. Les juvéniles de cette espèce sont reconnaissables par un rouge moins prononcé, voire rosé, ainsi que par la forme des rectrices et des plumes de couverture aux extrémités des ailes.

0.4.2 Comportement d'alimentation

Le Grand Pic est un oiseau principalement insectivore se nourrissant d'une variété d'arthropodes retrouvés dans le bois, tels que les fourmis, les larves de coléoptères xylophages et les termites (Hoyt,

1957; Beckwith et Bull, 1985; Bull *et al.*, 1992a; Raley et Aubry, 2006; Newell, 2008). Les fourmis charpentières sont toutefois retrouvées en plus grande proportion dans leur diète, représentant 95 % (Beckwith et Bull, 1985) et 68% (Bull *et al.*, 1992a) de leur alimentation dans les deux études faites en Oregon ainsi que 54% dans l'étude faite dans l'état de Washington (Raley et Aubry, 2006). Le Grand Pic accède à ces insectes grâce à sa forte capacité d'excavation et à sa longue langue collante et barbelée (Schwab, 2002). À l'occasion, il peut aussi s'alimenter de petits fruits et de noix (Hoyt, 1957) et même utiliser les mangeoires pour oiseaux en zone périurbaine (Tomasevic et Marzluff, 2018b).

Les habitudes alimentaires ainsi que les méthodes de recherche de nourriture du Grand Pic sont connues pour changer selon les saisons (Hoyt, 1957; Bull, 1987; Bull *et al.*, 1992a; Bonar, 2001; Raley et Aubry, 2006). Durant la période de nidification, l'alimentation du Grand Pic est plus diversifiée. En effet, une proportion plus élevée d'insectes au corps mou et de larves de coléoptères, celles-ci étant riches en énergie et facilement digérables, a été observée par Raley et Aubry (2006) et serait expliquée par l'augmentation des besoins énergétiques reliée à l'alimentation des jeunes. Ces insectes sont obtenus en picorant et en glanant à la surface des troncs, des souches et des arbres morts ou vivants (Bonar, 2001). Ils sont aussi obtenus en creusant profondément dans du bois partiellement décomposé. En hiver, les fourmis et les termites sont présents dans des proportions significativement plus élevées dans la diète du Grand Pic, qui les prélèvent en excavant intensivement la base d'arbres relativement sains (Hoyt, 1957; Raley et Aubry, 2006) ou encore de gros arbres morts dégradés. Ce phénomène serait expliqué d'une part par la survie de ces insectes durant l'hiver et aussi par le recouvrement des souches et du bois au sol par le couvert de neige (Bull *et al.*, 1992a; Bonar, 2001; Raley et Aubry, 2006).

0.4.3 Comportement de nidification et territorialité

Pour leur nidification, les Grands Pics vont excaver le tronc des arbres à une hauteur moyenne de 15 mètres du sol (Hartwig *et al.*, 2004) afin d'y faire une cavité contenant une chambre de nidification. Au printemps, l'excavation de plusieurs cavités sera débutée par les membres d'un couple, mais généralement ils n'en termineront qu'une seule (Hoyt, 1957; Bull et Meslow, 1988; Bonar, 2001). La création d'une cavité prend de 3 à 6 semaines et le mâle participe davantage à l'excavation que la femelle (Bull et Meslow, 1988; Bull *et al.*, 1992b). Les anciennes cavités présentes sur le territoire d'un individu sont utilisées comme site de repos par les membres du couple; les Grands Pics passant systématiquement leur nuit à l'intérieur d'une cavité (Hoyt, 1957). Celles-ci peuvent aussi être utilisées pour la nidification du Grand Pic si leur première tentative de nidification échoue (Bilodeau-Colbert, observations personnelles). La présence de multiples cavités sur le territoire permet de le rendre plus sécuritaire, notamment pour les déplacements vers des sites d'alimentation éloignés (Bull et Meslow, 1988; Bull *et al.*, 1992b).

Un couple produira en moyenne 3,83 œufs (Bonar, 2001). L'incubation des œufs est asynchrone et d'une durée d'environ 18 jours (Bull et Meslow, 1988). Les deux partenaires participent de manière égale à la couvaison durant le jour, mais seuls les mâles sont responsables de la couvaison durant la nuit (Bull et Meslow, 1988). Une fois les œufs éclos, les parents nourrissent leurs jeunes en alternance à des intervalles de 52 +/- 40.11 minutes. La femelle arrive généralement au nid dans la première heure après le lever du soleil (Bull et Meslow, 1988).

Il est possible d'estimer l'âge des oisillons en fonction de leur comportement au nid et de celui de leurs parents. Lorsque les oisillons ont moins de 7 ou 10 jours, les parents entrent complètement dans la cavité pour les nourrir et un des membres du couple les couve en quasi-permanence. Passé ce stade, la queue des parents sera visible à l'extérieur du nid lorsqu'ils nourrissent les jeunes, qui ne seront que rarement couvés durant la journée. Les oisillons âgés d'au moins 15 ou 18 jours attendront leurs parents à l'entrée de la cavité pour se faire nourrir et ils quitteront la cavité à l'âge d'environ 24 ou 28 jours. Les jeunes vont ensuite rester avec leurs parents jusqu'à temps d'être autonomes. Ils seront chassés du territoire de leurs parents à la fin de l'été ou à l'automne et atteindront la maturité reproductive à l'âge d'un an (Bull et Meslow, 1988).

Une fois accouplés, les Grands Pics forment des couples monogames qui défendent agressivement leur territoire à longueur d'année et ils conserveront ce même territoire les années suivantes si suffisamment de ressources y sont encore présentes (Kilham, 1959, 1976; Kellam, 2003). Lorsqu'un des partenaires du couple meurt, le membre restant s'accouplera avec un nouvel individu, qui reprendra le territoire de son prédécesseur. Les deux partenaires vont participer à la défense du territoire, notamment en tambourinant pour signaler leur présence et établir les frontières avec les individus voisins (Bonar, 2001). Un territoire laissé vacant est généralement repris l'été suivant par un nouvel individu (Bonar, 2001).

0.4.4 Utilisateurs secondaires

Les anciennes cavités des différentes espèces de pics peuvent servir à la nidification de plusieurs autres espèces animales (Cadieux, 2011; Edworthy *et al.*, 2018). Étant les seuls capables d'excaver des cavités, les pics sont nommés « excavateurs primaires », tandis que les espèces n'ayant pas la capacité d'excavation pour créer leur propre cavité, et donc forcés de réutiliser celles des pics, sont désignées « utilisateurs secondaires » (Martin et Eadie, 1999). Les pics sont responsables de la grande majorité des cavités retrouvées sur le territoire Nord-américain, contrairement à d'autres régions du globe où davantage de cavités sont causées par un processus de dégradation naturelle (Cadieux, 2011; Cockle *et al.*, 2011; Drapeau et Cadieux, 2016; Cadieux *et al.*, 2023).

Les cavités de Grands Pics se distinguent de celles des autres excavateurs primaires par leur grande taille, ayant presque deux fois le volume des cavités de Pic flamboyant (*Colaptes auratus*), deuxième plus gros excavateur en Amérique du Nord. Elles permettent ainsi d’abriter les plus gros utilisateurs secondaires, tels que le Garrot à œil d’or (*Bucephala clangula*), le Canard branchu (*Aix sponsa*), le Harle couronné (*Lophodytes cucullatus*), la Crécerelle d’Amérique (*Falco sparverius*) et la Petite Nyctale (*Aegolius acadicus*) (Bonar, 2001; Martin *et al.*, 2004; Cadieux, 2011). Les particularités des cavités de Grands Pics font en sorte que l’espèce est considérée dans plusieurs travaux comme une espèce « clé de voute » (Bull et Holthausen, 1993; Savignac *et al.*, 2000; Bonar, 2001; Aubry et Raley, 2002a; Hartwig *et al.*, 2004; Martin *et al.*, 2004; Lemaitre et Villard, 2005; Cadieux, 2011, 2017; Blake, 2018).

0.5 Sélection de l’habitat du Grand Pic

0.5.1 Aire de répartition

L’aire de répartition du Grand Pic s’étend du centre du Canada jusqu’aux portions côtières des États-Unis et se prolonge jusqu’à l’entrée du Texas (Bull et Jackson, 2011). Étant une espèce résidente, les populations de Grand Pic sont présentes à l’année longue sur le territoire nord-américain (Bull et Jackson, 2011).

Au Québec, les données des Atlas des oiseaux nicheurs du Québec (Gauthier et Aubry, 1995; Robert *et al.*, 2019) permettent d’observer une augmentation de la répartition de l’espèce dans la province entre le premier atlas (1984-1989) et le deuxième (2010-2014). Les régions des Laurentides, la Montérégie, ainsi que l’Abitibi-Témiscamingue, semblent être les secteurs les plus touchés par ces augmentations (voir figure 0.1).

0.5.2 Domaine vital

Le domaine vital du Grand Pic a été étudié à quelques reprises à l’aide de données télémétriques, principalement aux États-Unis (Renken et Wiggers, 1989; Mellen *et al.*, 1992; Bull et Holthausen, 1993; Savignac *et al.*, 1996; Noel, 2011; Blake, 2018; Tomasevic et Marzluff, 2018b). Des différences majeures ont été observées quant à la taille des domaines vitaux estimés dans ces différents travaux, variant en moyenne de 43.8 hectares (12.8-147.8) à 1704 (378-3.299) hectares (Tableau 0.1). Divers facteurs expliquent ces différences. Tomasevic et Marzluff (2018b) ont montré que la latitude où sont menées les études est positivement corrélée à la taille du domaine vital observé ($R^2 = 0.8623$, valeur $p = 0.005$); un écart de 1 300 hectares étant observé entre les individus de populations situées aux extrémités latitudinales de l’aire de répartition de l’espèce (Bonar, 2001; Noel, 2011). La sévérité des conditions hivernales serait

une des causes expliquant cette relation; les hivers canadiens étant plus longs et plus froids, il en résulte une augmentation des besoins alimentaires reliée aux pertes d'énergie et au manque d'accessibilité à certains substrats en raison du couvert de neige, comme la base des arbres et le bois au sol, ce qui forcerait les individus à agrandir leurs domaines vitaux (Bonar, 2001). La relation observée entre la taille des domaines vitaux et la latitude est cependant à considérer avec précaution, puisque les 7 études comprises dans l'analyse de Tomasevic et Marzluff (2018b) ne se déroulent pas toutes au même stade du cycle de vie des oiseaux et/ou ne précisent pas les dates de suivis. Le moment de la prise de données a pourtant une grande influence sur les dimensions du domaine vital des animaux, notamment chez les espèces sédentaires (McLoughlin et Ferguson, 2000) comme le Grand Pic. En effet, les travaux de Bonar (2001) ont montré que les tailles des domaines vitaux annuels et des domaines vitaux durant la période de nidification étaient drastiquement différentes. Plus précisément, le domaine vital annuel moyen d'un individu était de 1360,2 hectares comparativement à 186,4 hectares en moyenne durant la période de nidification.

Hormis le fait que le domaine vital saisonnier du Grand Pic soit plus restreint en période de reproduction, le statut de nidification d'un couple de Grand Pic à ce moment aurait aussi un effet sur la manière dont les individus utilisent leur habitat. Mellen *et al.* (1992) ont observé que les couples élevant des oisillons occupaient un domaine vital cumulatif plus grand que les couples sans jeunes. En occupant des secteurs différents, les mâles et femelles des couples élevant des jeunes peuvent ainsi exploiter davantage de ressources leur permettant de répondre à l'augmentation des besoins énergétiques de leur progéniture. Pour leur part, les couples sans oisillons occupent les mêmes secteurs, les domaines vitaux respectifs des mâles et femelles étant davantage superposés. Les travaux de Bonar (2001) ont montré des résultats similaires alors que le domaine vital cumulatif des membres des couples avec jeunes est plus grand que celui des individus le composant (respectivement 252 hectares comparé à 186 hectares).

La qualité de l'habitat est aussi un facteur influençant la taille du domaine vital chez le Grand Pic. En effet au Missouri, Renken et Wiggers (1989) ont obtenu une corrélation négative entre la taille du domaine vital et le volume de chicots et de souches, un indicateur de la quantité de bois mort et conséquemment, de la quantité de substrats d'alimentation pour le Grand Pic. La taille du domaine vital était aussi négativement corrélée à la fermeture de la canopée, puisqu'il s'agit d'une caractéristique associée aux forêts matures, habitat prisé par le Grand Pic. Un couvert forestier dense implique une plus grande compétition entre les arbres pour la lumière, causant la mort de certains, et donc, la formation de chicots (Renken et Wiggers, 1989).

Au Québec, en forêt tempérée feuillue, le domaine vital de l'espèce durant la période de nidification a été estimé à 268 hectares par Savignac *et al.* (2000).

0.5.3 Peuplements sélectionnés

Le Grand Pic est généralement associé aux peuplements de conifères et de forêts mixtes matures ou âgées présentant un couvert forestier fermé (Bull et Holthausen, 1993). En Oregon, seuls les peuplements de plus de 40 ans sont utilisés par le Grand Pic et ceux de plus de 70 ans (70 à 100 ans pour les forêts mixtes et 71 à 200 ans pour les forêts de conifères) sont fortement sélectionnés (Mellen *et al.*, 1992; Bonar, 2001). Cette forte sélection s'explique par la présence d'arbres ayant un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) suffisamment élevé pour accueillir les cavités de nidification (Bull, 1987; Raley et Aubry, 2006). Les peuplements de plus de 40 ans présentent tout de même un habitat adéquat pour l'alimentation et les autres activités diurnes des individus (Mellen *et al.*, 1992; Bonar, 2001). Une corrélation positive entre la présence du Grand Pic et le pourcentage de peuplements âgés de 51 à 90 ans a aussi été observée au Québec (Savignac *et al.*, 2000).

Une haute densité d'arbres morts de gros diamètre et une importante couverture de la canopée sont d'autres variables qui expliquent la sélection ou la présence du Grand Pic dans certaines études (Bull et Holthausen, 1993; Aubry et Raley, 2002b; Blake, 2018). En effet, les Grands Pics sélectionneraient les peuplements ayant davantage de gros chicots (>51 cm de DHP et ≥ 7.5 m de haut pour Raley et Aubry (2006), ≥ 54 cm de DHP pour Renken et Wiggers (1993)) ainsi que ceux ayant une couverture de la canopée de plus de 60% (Bull et Holthausen, 1993). Cependant, ces variables ne sont pas toujours significatives en fonction du site à l'étude. En effet, la couverture de la canopée peut être corrélée avec d'autres variables, menant à son exclusion des modèles statistiques, et la quantité de chicots peut s'avérer être non significative dans le contexte où ils sont retrouvés en abondance sur le territoire étudié (Savignac *et al.*, 2000).

Par ailleurs, les travaux de Tomasevic et Marzluff (2018 a et b, 2020) ont montré que le Grand Pic présente une grande flexibilité dans sa sélection d'habitats lui permettant, entre autres, de s'adapter au paysage périurbain lorsqu'un minimum de couvert forestier est encore présent. En effet, les Grands Pics semblent être capables d'exploiter les ressources non indigènes retrouvées dans les parcs et les terrains privés, telles les mangeoires, les arbres fruitiers et les poteaux électriques (Tomasevic et Marzluff, 2020).

La faible utilisation des forêts jeunes (moins de 40 ans) et des sites de coupes totales viendrait d'un manque de substrat d'alimentation, mais aussi parce que ces types de sites rendent le Grand Pic vulnérable

à ses prédateurs, tels la Buse à queue rousse (*Buteo jamaicensis*), l'Autour des palombes (*Accipiter gentilis*) et l'Épervier de Cooper (*Accipiter cooperii*) (Bonar, 2001; Raley et Aubry, 2006; Tomasevic et Marzluff, 2018b). En effet, le Grand Pic ne peut rivaliser avec la vitesse de ses prédateurs. Pour les éviter, il doit utiliser de grands arbres et bouger autour de leur tronc (Lima, 1993) ou effectuer des mouvements de vol ondulatoires entre les arbres (Raley et Aubry, 20006). Les zones ouvertes peuvent tout de même être utilisées pour l'alimentation si des arbres isolés y sont encore présents. Cependant, le Grand Pic n'exploitera alors pas complètement la zone (Bonar, 2001).

0.5.4 Arbres utilisés pour la reproduction et l'alimentation

Pour sa nidification, le Grand Pic sélectionne des arbres présentant un fort DHP (≥ 35 cm) (Bonar, 2001; Cooke et Hannon, 2012). Un certain niveau de dégradation est aussi requis pour l'excavation des cavités, celles-ci étant généralement retrouvées sur des arbres vivants infectés par divers champignons ou présentant des signes de dégradations (ex : blessure profonde), ainsi que des arbres morts et des chicots (Conner *et al.*, 1975; Bull, 1987; Mellen, 1987; Bonar, 2001; Aubry et Raley, 2002b; Hartwig *et al.*, 2004; Cooke et Hannon, 2012; Bunnell, 2013; Tomasevic et Marzluff, 2020). Toutefois, les essences d'arbres sélectionnées par le Grand Pic et leurs caractéristiques varient en fonction de la région forestière pour l'ensemble de son aire de répartition.

Sur la côte ouest, diverses espèces, dont des résineux, sont utilisées, telles que le pin ponderosa (*Pinus ponderosa*), le mélèze de l'ouest (*Larix occidentalis*), le sapin de Vancouver (*Abies grandis*), le sapin de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), ainsi que l'aulne rouge (*Alnus rubra*) et la majorité des cavités sont excavées dans des arbres morts (Bull, 1987; Mellen, 1987; Aubry et Raley, 2002b; Hartwig *et al.*, 2004; Tomasevic et Marzluff, 2020). Dans cette portion de l'aire de répartition du Grand Pic, les arbres à cavités ont les plus gros diamètres à hauteur de poitrine (DHP) observés, variant de 46.25 cm (Tomasevic et Marzluff, 2020) à 101.2 cm en moyenne (Aubry et Raley, 2002b).

En forêt boréale, le Grand Pic est reconnu pour utiliser presque exclusivement le peuplier faux-tremble, mort ou vivant (Bonar, 2001; Martin *et al.*, 2004; Vaillancourt *et al.*, 2009; Cooke et Hannon, 2012; Cadieux, 2011, 2017; Cadieux *et al.*, 2023). Cependant, la présence d'un certain degré de dégradation de l'arbre est nécessaire à l'excavation de cavités sur des arbres vivants (Bunnell, 2013). Cadieux (2011) a notamment observé la présence du *Phellinus tremulae*, un champignon causant la pourriture du cœur de l'arbre, sur 99% des arbres à cavité vivants au Québec (voir également, Drapeau et Cadieux 2016). Bonar (2001) a aussi observé la présence de cavités dans quelques espèces de conifères (8.1%; n = 562) celles-ci

étant toujours sur des arbres morts. Le DHP moyen des arbres à cavité de cette région se situe près des 45 cm (Bonar, 2001; Martin *et al.*, 2004; Cooke et Hannon, 2012).

Peu d'informations sont disponibles quant à la portion de l'aire de répartition située dans l'est des États-Unis, à l'exception d'une étude en Virginie relevant l'utilisation du caryer blanc (*Carya tomentosa*) et du chêne rouge d'Amérique (*Quercus rubra*) avec un DHP moyen de 55 cm (Conner *et al.*, 1975).

Pour son alimentation, le Grand Pic sélectionne une grande variété d'essences résineuses et feuillues (Renken et Wiggers, 1989; Bull et Holthausen, 1993; Flemming *et al.*, 1999; Lemaitre et Villard, 2005; Raley et Aubry, 2006; Gasse, 2007; Erskine, 2008; Bush *et al.*, 2009; Newell *et al.*, 2009; Nappi *et al.*, 2015), telles le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), le sapin baumier (*Abies balsamea* L.), le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.), le pin gris (*Pinus banksiana*) et le sapin de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) et certaines études notent une préférence pour les espèces résineuses (Lemaitre et Villard, 2005; Gasse, 2007). Cependant, la majorité des travaux sur le sujet s'entendent sur le fait que les principales caractéristiques sélectionnées par le Grand Pic sont davantage attribuées au DHP et au stade de dégradation de l'arbre. En effet, le Grand Pic sélectionnerait les arbres avec les plus grands DHP (56 +/- 1 cm de moyenne pour Newell *et al.* (2009); 27.7 cm de médiane pour Flemming *et al.* (1999); 25.3 +/- 8.6 cm de moyenne pour Gasse (2007); 85 cm de médiane pour Raley et Aubry (2006); résineux >30 cm et feuillus >35 cm pour Lemaitre et Villard (2005); 24.5 +/- 0.6 cm pour Bush *et al.* (2009)) et un stade de dégradation plus avancé (Bull et Holthausen, 1993; Flemming *et al.*, 1999; Lemaitre et Villard, 2005; Gasse, 2007; Bush *et al.*, 2009; Newell *et al.*, 2009; Nappi *et al.*, 2015). Cette sélection s'explique par le fait que les colonies de fourmis charpentières et autres arthropodes retrouvés dans le bois ont généralement besoin de beaucoup d'espace. Les arbres de plus grand DHP et dégradés offrent donc un plus grand volume de bois et représentent un habitat de bonne qualité (Raley et Aubry, 2006). Toutefois, il est important de noter que, malgré les préférences de l'espèce, le Grand Pic peut s'alimenter sur des arbres de faible DHP - le minimum observé dans la littérature allant de 3 à 10 cm (Flemming *et al.*, 1999; Gasse, 2007; Newell *et al.*, 2009) - et des arbres en vie (Bull et Holthausen, 1993; Flemming *et al.*, 1999; Lemaitre et Villard, 2005; Gasse, 2007; Bush *et al.*, 2009; Newell *et al.*, 2009; Nappi *et al.*, 2015). Aussi, Gasse (2007) a observé que les arbres vivants sélectionnés étaient davantage des essences résineuses, puisque les bois de celles-ci seraient plus tendres que les feuillus.

Le Grand Pic utilise aussi des structures au sol comme les souches et les bûches (Renken et Wiggers, 1989; Bull et Holthausen, 1993). Bull et Holthausen (1993) ont observé en Oregon que 38% des activités d'alimentation étaient faites sur des bûches, mais qu'un couvert de neige de plus de 5 cm réduisait

l'utilisation de ce type de structure. Cependant, ce phénomène n'est pas observé dans l'ensemble des travaux sur le Grand Pic où certains auteurs ne notent pas ou très peu d'utilisation de bois au sol (Raley et Aubry, 2006; Bilodeau-Colbert, observation personnelle).

Finalement, la hauteur à laquelle le Grand Pic s'alimente sur le substrat varie en fonction du type d'arbre (Flemming *et al.*, 1999). Selon Fleming *et al.* (1999), les marques d'alimentation sont généralement retrouvées à la base de l'arbre sur les résineux tandis qu'elles sont réparties de manière plus uniforme sur les feuillus.

0.6 Objectif

Ce mémoire a pour objectif d'approfondir nos connaissances sur la sélection de l'habitat dans le processus écologique d'établissement du territoire du Grand Pic en forêt boréale mixte de l'est du Canada. Plus précisément, cette étude vise à quantifier les relations entre la sélection d'un site de nidification par un couple nicheur et la qualité et la répartition des peuplements forestiers sur le territoire à l'étude. Nous émettons l'hypothèse qu'en raison de son statut d'espèce résidente sédentaire, la sélection d'un site de nidification chez le Grand Pic se fait en fonction de la répartition spatiale et de l'abondance d'arbres propices à sa reproduction et à son alimentation de manière à assurer une utilisation à long terme du territoire par l'espèce et que cette sélection est multiscalaire, étant faite à la fois en fonction de la répartition des peuplements forestiers qui lui sont propices à l'échelle du paysage forestier (sélection de 2^e ordre *sensu* Johnson, 1980) et de la répartition au sein de ces peuplements forestiers des arbres propices à sa reproduction et à son alimentation (sélection de 3^e et 4^e ordre *sensu* Johnson 1980) à l'intérieur du domaine vital des individus.

CHAPITRE 1

Sélection multiscalaire des sites de nidification du Grand Pic en forêt boréale mixte de l'est du Canada

Julien BILODEAU-COLBERT^{1,2,3}, Pierre DRAPEAU^{2,3}, Louis IMBEAU^{3,4}

¹ Département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal

² Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable, Université du Québec à Montréal, Département des Sciences Biologiques

³ Centre d'étude de la forêt, Département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal, Département des Sciences Biologiques

⁴ Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en Aménagement Forestier Durable, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Institut de recherche sur les forêts

1.1 Résumé

Les études portant sur les processus de sélection de l'habitat sont essentielles pour comprendre l'écologie d'une espèce et établir des mesures adéquates pour sa conservation. En Amérique du Nord, le Grand Pic (*Dryocopus pileatus*) est considéré comme une espèce clé de voûte, parapluie et indicatrice de la forêt mature, en raison de son utilisation marquée du bois mort et sénescents ainsi que de son impact positif sur la biodiversité utilisatrice des grandes cavités, cavités qu'il creuse annuellement. Il est généralement admis que la disponibilité des arbres dont les conditions sont propices à la nidification et à l'alimentation joue un rôle déterminant dans la sélection de l'habitat de cette espèce. Étonnamment toutefois, très peu d'études ont quantifié comment ces ressources critiques ont un pouvoir explicatif dans la sélection des sites de nidification de cette espèce, tant à l'échelle des paysages forestiers qu'à l'intérieur de leurs domaines d'activités (domaine vital et territoire). L'objectif de cette étude est d'évaluer comment la répartition des sites de nidification du Grand Pic est associée à la distribution des arbres de nidification et d'alimentation dans les peuplements forestiers qu'ils utilisent dans la forêt boréale mixte de l'est du Canada, au Québec, dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue. Nous examinons cette utilisation à deux échelles spatiales, soit l'échelle des paysages forestiers et à plus fine échelle à l'intérieur de leur domaine d'activités. Un modèle empirique de qualité d'habitat a d'abord permis d'ordonner les peuplements forestiers selon leur densité d'arbres propices à la nidification du Grand Pic (principalement le peuplier faux-tremble) pour la forêt boréale de l'ouest du Québec.

À l'échelle des paysages forestiers, ce modèle a permis de dénombrer les superficies relatives de peuplements forestiers selon leur densité d'arbres propices pour la nidification, qui ont ensuite été comparées autour de 30 sites de nidification ainsi qu'autour d'un nombre équivalent de sites aléatoirement distribués dans des zones de 500 hectares, correspondant au domaine d'activités estimé d'un couple nicheur de Grand Pic. À l'échelle des domaines d'activités centrés sur les 30 sites de nidification de Grand Pic, la répartition des peuplements forestiers en fonction de leur densité de tiges propices à la reproduction a été comparée à trois distances autour des nids, soit à proximité (soit de 0 à 166 ha), à une distance intermédiaire du nid (soit de 167 à 334 ha) et en périphérie du domaine d'activités estimé (soit de 335 à 500 ha). À plus fine échelle autour des sites de nidification de cinq couples nicheurs de Grand Pic actifs en 2020, nous avons réalisé des inventaires de terrain systématiques pour mesurer la densité et la répartition des arbres propices à la nidification (DHP > 30 cm) et à l'alimentation (DHP > 20 cm) du Grand Pic dans

250 placettes d'échantillonnage distribuées systématiquement sur l'ensemble des domaines d'activités de 500 hectares.

Nos analyses ont révélé qu'à l'échelle des paysages forestiers, les secteurs où sont localisées les cavités de reproduction de Grand Pic étaient répartis dans des paysages ayant une plus grande superficie relative de peuplements comportant des densités plus élevées d'arbres propices à l'excavation d'une cavité de reproduction (peuplier faux-tremble de plus de 30 cm DHP) que les secteurs centrés sur des points aléatoires. De plus, au sein des secteurs où sont localisés les cavités de reproduction de Grand Pic, la répartition des peuplements les plus propices à la reproduction du Grand Pic était significativement plus élevée à proximité des sites de nidification qu'en périphérie des domaines d'activités estimés. À l'échelle fine des domaines d'activités de cinq couples nicheurs actifs en 2020, les inventaires sur le terrain révèlent que les densités de tiges adéquates pour la nidification et l'alimentation du Grand Pic étaient plus élevées à proximité du nid qu'en périphérie de leurs domaines d'activités estimés. Nos résultats montrent que de l'échelle des paysages (mosaïque de peuplements forestiers) à l'échelle fine de leur domaine d'activités, la sélection de l'habitat de nidification du Grand Pic est fortement associée à la disponibilité des arbres propices à l'alimentation et à la reproduction et que la répartition spatiale de ces ressources influence la sélection et la localisation des sites de reproduction de cette espèce. Les peuplements mixtes matures et vieux à densité élevée de peupliers faux-trembles de fort diamètre sont d'une importance capitale pour la sélection d'un site de nidification de Grand Pic alors qu'ils abritent à la fois les ressources clés pour leur reproduction et leur alimentation. La conservation de forêts mixtes âgées au sein des paysages forestiers boréaux devrait être priorisée dans le contexte où les activités forestières des dernières décennies ont grandement réduit leur disponibilité sur le territoire.

Mots clés : Grand Pic, sélection d'habitats, forêts matures, nidification, peuplier faux-tremble

1.2 Introduction

En écologie, la sélection de l'habitat d'une espèce animale se définit comme l'utilisation disproportionnée des ressources par rapport à la disponibilité de celles-ci dans l'environnement (Johnson, 1980; Jones, 2001; Mayor *et al.*, 2009). Les processus de sélection d'habitats peuvent être observés à différentes échelles, soit 1) l'aire de répartition, 2) le domaine vital, 3) les composantes de l'habitat dans le domaine vital et 4) les ressources spécifiques sélectionnées à l'intérieur des sites d'activités de l'espèce (Johnson, 1980). Certains facteurs, tels que la densité d'individus, l'abondance de ressources, l'historique de vie des individus ainsi que leurs comportements, sont connus pour affecter ces processus en fonction de l'espèce étudiée (Morris, 1987; McLoughlin *et al.*, 2010; Pippert, 2011; Lafontaine *et al.*, 2017; Bledsoe et Ernest, 2019; Avgar *et al.*, 2020; Ranc *et al.*, 2020). Par exemple, l'augmentation de la taille d'une population peut conduire à la sélection de ressources de moindre qualité par certains individus (McLoughlin *et al.*, 2010). Ultiment, les connaissances sur ce sujet sont essentielles non seulement pour comprendre l'écologie et le comportement d'une espèce, mais elles occupent une place de choix dans la mise en œuvre des critères favorables à sa conservation (Burt, 1943; Johnson, 1980; McLoughlin et Ferguson, 2000; Jones, 2001).

La présence et le succès reproducteur des pics sont limités par la présence de conditions spécifiques de l'habitat incluant un nombre suffisant de sites de nidification et de ressources alimentaires (McLoughlin et Ferguson, 2000; Fryxell *et al.*, 2014; Tomasevic et Marzluff, 2020). Pour le Grand Pic (*Dryocopus pileatus*), le plus grand pic d'Amérique du Nord (Bonar, 2001; Bush *et al.*, 2009), les arbres sénescents et morts représentent des éléments clés autant pour leur nidification que pour leur alimentation (Mellen *et al.*, 1992; Shackelford et Conner, 1997; Flemming *et al.*, 1999; Lewis et Azerrad, 2003; Raley et Aubry, 2006; Cooke et Hannon, 2012). Ils excavent des cavités dans le tronc des arbres, où ils pondent leurs œufs et élèvent leur progéniture jusqu'à l'envol (Bull et Meslow, 1988; Hartwig *et al.*, 2004; Tomasevic et Marzluff, 2018b). Un couple va généralement excaver une nouvelle cavité chaque année et les anciennes leur serviront de site de gîte ou de repos (Bull et Meslow, 1988). Les anciennes cavités de Grand Pic peuvent aussi être occupées par d'autres animaux incapables d'excaver leur propre cavité qu'on nomme utilisateurs secondaires (Martin et Eadie, 1999; Ouellet-Lapointe *et al.*, 2012). Ceux-ci compléteront la totalité ou une partie de leur cycle de reproduction à l'intérieur de la cavité. Les utilisateurs secondaires comptent des espèces d'oiseaux, tels que le Garrot à œil d'or (*Bucephala clangula*), le Harle couronné (*Lophodytes cucullatus*), le Canard branchu (*Aix sponsa*), la Crécerelle d'Amérique (*Falco sparverius*) et la Petite Nyctale (*Aegolius acadicus*), ainsi que des mammifères tels l'écureuil roux (*Sciurus vulgaris*) et le grand polatouche (*Glaucomys sabrinus*) (Martin et Eadie, 1999; Martin *et al.*, 2004; Ouellet-Lapointe *et al.*, 2012). En raison de leur grande taille, certains utilisateurs secondaires ne

peuvent utiliser que les cavités faites par le Grand Pic, expliquant en partie l'importance écologique de l'espèce et son statut d'espèce clé de voûte et parapluie (Aubry et Raley, 2002a; Martin *et al.*, 2004; Cadieux, 2017; Tomasevic et Marzluff, 2018b). En forêt boréale mixte du Québec, les cavités excavées par les Grands Pics se retrouvent presque exclusivement dans des peupliers faux-trembles (*Populus tremuloides*) sénescents et de fort diamètre à hauteur de poitrine (>35 cm) (Bonar, 2001; Martin *et al.*, 2004; Vaillancourt *et al.*, 2009; Cadieux, 2011; Cooke et Hannon, 2012; Ouellet-Lapointe *et al.*, 2012).

Les arbres sénescents et morts sont aussi utilisés pour l'alimentation du Grand Pic, puisqu'ils peuvent contenir des fourmis charpentières, insectes à la base de leur diète, et d'autres insectes saproxyliques (Hoyt, 1957; Beckwith et Bull, 1985; Bull *et al.*, 1992a; Raley et Aubry, 2006; Newell, 2008). L'étude de Nappi *et al.* (2015) menée en forêt boréale mixte dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue a montré que les principales caractéristiques des arbres sélectionnés par l'espèce sont reliées à la classe de dégradation et au diamètre à hauteur de poitrine (DHP) de l'arbre, mais qu'aucune essence n'était particulièrement plus choisie que sa disponibilité. Plus précisément, le Grand Pic aurait tendance à s'alimenter sur les arbres les plus dégradés et les plus gros (Gasse, 2007; Nappi *et al.*, 2015). Cependant, le Grand Pic peut aussi s'alimenter sur des arbres plus petits, les minimums observés dans la littérature allant de 3 à 10 cm de diamètre à hauteur de poitrine (Flemming *et al.*, 1999; Gasse, 2007; Newell *et al.*, 2009; Antaya, 2019). Les arbres vivants peuvent aussi être utilisés pour l'alimentation du Grand Pic, particulièrement les essences résineuses qui seraient plus tendres et donc plus faciles à excaver que les feuillus (Bull et Holthausen, 1993; Gasse, 2007; Bush *et al.*, 2009; Nappi *et al.*, 2015). La sélection d'habitats du Grand Pic est donc fortement associée à l'hypothèse des indices structuraux de Smith et Shugart (1987) où les arbres sénescents et morts constituent des indicateurs proximaux (*sensu* Hildén, 1965) de la qualité sous-jacente des ressources alimentaires et des gîtes pour cette espèce.

À l'échelle des paysages forestiers, les travaux réalisés sur l'utilisation de l'habitat par le Grand Pic indiquent que cette espèce répond à l'hétérogénéité du couvert forestier à des échelles multiples (Renken et Wiggers, 1993; Flemming *et al.*, 1999; Bull et Jackson, 2011) comme c'est le cas pour plusieurs espèces aviaires (Wiens *et al.*, 1986; Addicott *et al.*, 1987). Pour se reproduire, il utilise particulièrement les peuplements matures ou âgés, de forêts feuillues, mixtes et de conifères présentant un couvert forestier fermé (Mellen *et al.*, 1992; Bull et Holthausen, 1993; Bull et Jackson, 2011). Il peut utiliser des peuplements plus jeunes pour son alimentation (Bull et Jackson, 2011). Toutefois, en raison de son association avec les arbres de fort diamètre sénescents ou morts, il est considéré comme une espèce indicatrice des forêts matures et âgées. En forêt boréale, les peuplements de plus de 50 ans sont généralement utilisés par le Grand Pic pour son alimentation et ses autres activités diurnes, alors que ceux

de plus de 70 ans sont fortement sélectionnés pour la nidification (Bonar, 2001). Au Québec, une corrélation positive entre la présence du Grand Pic et le pourcentage de peuplements âgés de 51 à 90 ans a été observée en forêt feuillue (Savignac *et al.*, 2000). D'autres variables, telles que la densité d'arbres morts et la fermeture de la canopée, sont aussi associées à la présence du Grand Pic (Renken et Wiggers, 1993; Aubry et Raley, 2002b; Blake, 2018). De manière générale, la faible utilisation des forêts jeunes (moins de 40 ans) et des coupes totales serait associée entre autres au manque de substrats de nidification et d'alimentation, mais aussi parce que ce type d'habitat rend les Grands Pics plus vulnérables à leurs prédateurs dont la Buse à queue rousse (*Buteo jamaicensis*), l'Autour des palombes (*Accipiter gentilis*) et l'Épervier de Cooper (*Accipiter cooperii*) (Bonar, 2001; Raley et Aubry, 2006; Tomasevic et Marzluff, 2018b).

Les associations d'habitats propices à la présence du Grand Pic ne permettent toutefois pas de comprendre les mécanismes fins de sélection des peuplements forestiers pour y installer leurs sites de nidification et établir leurs domaines vitaux ni d'évaluer comment, à l'intérieur des domaines vitaux occupés par les individus, les ressources alimentaires et les autres gîtes sont répartis par rapport à la localisation des arbres de nidification. Peu de travaux quantitatifs ont mesuré la relation entre la localisation des sites de nidification du Grand Pic et la qualité des peuplements forestiers quant à la disponibilité des ressources propices pour son alimentation et sa nidification. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer à partir de la localisation de sites de nidification de Grand Pic, la qualité de l'habitat de ces sites par rapport à celle disponible dans le secteur d'étude. Nous émettons l'hypothèse que les arbres propices à la reproduction et à l'alimentation du Grand Pic sont les facteurs proximaux associés à sa sélection de sites de nidification et que cette sélection est multiscalaire, à la fois à l'échelle du paysage forestier et à l'intérieur du domaine vital des couples nicheurs. Plus spécifiquement, l'étude vise à répondre aux questions suivantes; 1) à l'échelle du paysage forestier de notre secteur d'étude, la mosaïque d'habitats qui caractérise les domaines d'activités du Grand Pic (centrée sur les arbres de nidification) comporte-t-elle une densité plus élevée d'arbres propices à leur nidification que celles de superficies forestières similaires autour de sites aléatoires (sans site de nidification) ? 2) à l'intérieur des domaines d'activités des Grands Pics, les peuplements forestiers les plus propices à la reproduction du Grand Pic (ayant la plus forte densité de tiges propices à l'excavation) sont-ils concentrés autour des nids ou sont-ils répartis sur l'ensemble du domaine d'activité ? 3) à l'intérieur des domaines d'activités des Grands Pics centrés sur leur arbre de nidification, la répartition des arbres propices à l'alimentation et à la reproduction est-elle concentrée à proximité des sites de nidification, et donc centrale par rapport à la disponibilité des ressources (*sensu* Orians et Pearson, 1979) ou si ces ressources sont-elles dispersées sur l'ensemble du domaine d'activités ?

1.3 Matériel et Méthodes

1.3.1 Site d'étude

Le site d'étude se situe en Abitibi-Témiscamingue dans la portion Sud de la forêt boréale du Québec. Plus précisément, elle recoupe une zone de 65 200 ha (652 km²) englobant la Forêt d'enseignement et de recherche du lac Duparquet (FERLD) (48°30' N, 79°22' O) et les terres publiques aux alentours de la FERLD et du lac Duparquet (Figure 1.1). Ce secteur fait partie de la zone bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest (Saucier *et al.*, 1998), là où les feux de forêt et les épidémies d'insectes, comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette et la livrée des forêts, représentent les perturbations principales (Blouin et Berger, 2002). La FERLD se divise en deux zones. D'une part, la zone aménagée où l'on retrouve une variété de types de coupes suivant un plan d'aménagement écosystémique qui s'inspire des régimes de perturbations naturelles de la forêt et, d'autre part, la zone de conservation dédiée à la recherche et à la conservation de la forêt, qui est caractérisée par 8 feux majeurs survenus dans les 240 dernières années (Dansereau et Bergeron, 1993; Bergeron, 2000; Harvey *et al.*, 2002). Un dispositif de suivi à long terme du réseau d'utilisateurs de cavités a permis de mettre à jour la complexité croissante de la structure des réseaux d'utilisateurs de cavités en fonction du vieillissement de la forêt (Cadieux *et al.*, 2023) Le paysage forestier des terres publiques est caractérisé par des activités d'aménagement forestier, et présente donc une mosaïque forestière très hétérogène, composée d'agglomérations de coupes récentes, de jeunes forêts, de plantations et d'habitats résiduels de forêts matures et âgées dont le suivi de la faune cavicole a fait l'objet de divers travaux (Ouellet-Lapointe *et al.*, 2012; Bédard, 2013; Plouffe-Leboeuf, 2016).

Dans cette région, la succession forestière est marquée par l'apparition après perturbations d'espèces pionnières, telles que le peuplier faux-tremble (*P. tremuloides*), le peuplier baumier (*Populus balsamifera* L.), le bouleau à papier (*Betula papyrifera*) et le pin gris (*Pinus banksiana*). La composition de la voute forestière devient par la suite dominée par des espèces tolérantes à l'ombre, telles que le sapin baumier (*Abies balsamea* L.), l'épinette blanche (*Picea glauca*), l'épinette noire (*Picea mariana*) et le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.) (Bergeron, 2000, Harvey *et al.*, 2002).

1.3.2 Recherche de cavités et de marques d'alimentation du Grand Pic

Les informations concernant les arbres de nidification et les peuplements forestiers utilisés par le Grand Pic de même que les caractéristiques des arbres portant des marques d'alimentation de Grand Pic sont issues de différents travaux réalisés dans la région à l'étude entre 2003 et 2021 (Gasse, 2007; Ouellet-Lapointe, 2010; Cadieux, 2011, 2017; Bédard, 2013; Nappi *et al.*, 2015; Plouffe-Leboeuf, 2016; Antaya,

2019; Cadieux *et al.*, 2023). Les cavités de nidification de Grand Pic ont généralement été découvertes à l'aide de battues systématiques réalisées dans différents paysages forestiers et par la visite ponctuelle de sites présentant une forte concentration de cavités répertoriées au fil des années ou ayant déjà été occupés par un couple nicheur (figure 1.2). La visite des cavités était effectuée à l'aide d'une caméra GoPro (HERO Session) installée à l'extrémité d'une perche télescopique de 50 pieds (TreeTop Peeper(tm), Sandpiper Technologies, Manteca, Californie). Une cavité était considérée comme un nid de Grand Pic si des œufs ou des oisillons étaient présents ou, lorsque trouvée plus tard dans la saison, des indices d'une nidification récente étaient observés (dépôts fécaux, présence de copeaux de nettoyage à la base de l'arbre, excavation récente des parois de la chambre de nidification, présence de plumes ou de la carcasse d'un Grand Pic). Lorsque possible, un suivi de la nidification était effectué par des visites de la cavité faites aux 5 jours. Les arbres portant des marques d'alimentation ont été caractérisés le long de transects linéaires de diverses longueurs (250 à 600 mètres) dans différents paysages forestiers (naturel, aménagé et agricole) du territoire d'étude (Gasse, 2007; Nappi *et al.*, 2015; Antaya, 2019). Seules les caractéristiques des arbres portant des marques récentes d'alimentation ont été utilisées dans les analyses de cette étude.

Les variables suivantes étaient récoltées sur les arbres de nidification et d'alimentation dénombrés : l'essence, le DHP, la hauteur de l'arbre, la quantité d'écorce, la classe de dégradation, la présence de champignons et la présence de marques d'alimentation et de cavités de reproduction. La dégradation des arbres était évaluée selon huit catégories (Bergeron *et al.*, 1997; Imbeau, 2001; Ouellet-Lapointe, 2010) : (1) vivant, avec 95 % du feuillage; (2) en déclin, entre 95 % et 20 % du feuillage, avec signes de détérioration; (3) sénescent, <20 % du feuillage; (4) mort récente, bois dur et écorce ferme, 0 % du feuillage, présence de petites branches; (5) mort, bois dur, absence de petites branches, tronc non tronqué; (6) bois dur, écorce qui décolle, tronc cassé; (7) bois mou, tronc cassé, moins de 50% de la hauteur originale; (8) souche, moins de 2 mètres de hauteur.

1.3.3 Sélection de l'habitat de nidification du Grand Pic et mesure de la qualité des peuplements forestiers à l'échelle du paysage

La sélection de l'habitat du Grand Pic à l'échelle du paysage a été analysée au moyen d'un modèle de qualité d'habitat développé par Cadieux *et al.* (2019) qui fait le lien entre la localisation des quelques 150 arbres sur lesquels des cavités de Grand Pic ont été dénombrées dans notre région d'étude (Gasse, 2007; Cadieux, 2011, 2017; Ouellet-Lapointe *et al.*, 2012; Bédard, 2013; Nappi *et al.*, 2015; Plouffe-Leboeuf, 2016; Antaya, 2019) et les caractéristiques des polygones forestiers des cartes écoforestières et les inventaires forestiers décennaux des placettes temporaires du ministère des forêts de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP). Ce modèle a d'abord permis d'établir, à l'échelle de chaque peuplement forestier de

la carte écoforestière, la correspondance entre d'une part, la composition et la fermeture des couverts forestiers des peuplements et, d'autre part, la densité des arbres propices pour la nidification du Grand Pic. Le modèle associe la densité par hectare des arbres propices à l'excavation d'une cavité qui devraient se retrouver dans chacun des peuplements forestiers du secteur d'étude (voir Figure 1.1). Les trois variables retenues pour établir cette caractérisation sont la surface terrière de peupliers faux-trembles, la hauteur du peuplement et le nombre de tiges de plus de 30 centimètres de diamètre à hauteur de poitrine (diamètre critique des arbres de nidification provenant des travaux de Cadieux, 2011, 2017; Ouellet-Lapointe *et al.*, 2012) mesurée dans les placettes d'inventaires forestiers du gouvernement du Québec de la région de l'Abitibi. Les peuplements forestiers ont ensuite été regroupés en cinq (5) classes en fonction de la densité d'arbres propices à la nidification estimée selon un classement par seuils naturels (Jenks, 1967). Le classement par seuil naturel permet la répartition des données au sein d'un nombre optimal de classes visant à réduire la variance intra-classe et maximiser la variance inter-classe (Jenks, 1967). Ainsi, cinq classes de densité ont été identifiées : 1) nulle (0 à 0.01 cavité/hectare), 2) faible (0.01 à 0.034 cavité/hectare), 3) moyenne (0.034 à 0.078 cavité/hectare), 4) élevée (0.078 à 0.172 cavité/hectare) et 5) très élevée (0.172-0.239 cavité/hectare).

1.3.4 Répartition des arbres de reproduction et d'alimentation à l'intérieur des sites de nidification

En 2020, pour cinq (5) sites de nidification actifs de Grand Pic, un inventaire systématique de la végétation a permis d'évaluer la répartition des arbres propices à l'alimentation et la reproduction à l'intérieur de domaines d'activités estimés de 500 ha. Pour ce faire, 50 placettes de 0,04 hectare ont été réparties dans des zones de 500 hectares autour de chacun des nids, pour un total de 250 placettes d'échantillonnage. Les placettes étaient réparties sur deux lignes de 1,25 km centrées sur chacun des nids (25 placettes par ligne, 2 lignes par nid). Les lignes d'une même paire ont été placées aussi perpendiculairement que possible de manière à éviter les plans d'eau et selon l'accès aux sites. Les placettes d'une même ligne étaient distancées de 100 m et aucune placette de lignes différentes n'était superposée. À l'intérieur des placettes, une caractérisation des arbres de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) supérieur ou égal à 20 cm où l'essence, le DHP, la hauteur de l'arbre, la quantité d'écorce, la classe de dégradation (évaluée selon les huit catégories décrites précédemment), la présence de champignons ainsi que la présence de marques d'alimentation et de cavités de reproduction ont été notés.

La méthode de point central de Mitchell (2001) a été utilisée pour l'échantillonnage. Cette méthode consiste à diviser la placette en quatre quadrants égaux, afin de mesurer la distance du premier arbre retrouvé dans chaque quadrant par rapport au point central de la placette et de caractériser ce dernier, pour un maximum de quatre tiges caractérisées par placette. Ces mesures de distance ont ensuite permis

d'estimer la densité de tiges pour la placette. À noter qu'une limite maximale de distance du point central de 11,2 mètres a été utilisée durant l'échantillonnage, ce qui implique l'ajout d'un facteur de correction pour l'estimation de la densité des arbres correspondant à la proportion de quadrants vacants dans une placette (Warde et Petranka, 1981).

Nous avons ensuite déterminé si chacune des tiges représentait un substrat adéquat pour l'alimentation et/ou la nidification du Grand Pic en nous basant sur les données empiriques récoltées depuis 15 ans dans notre région d'étude sur les arbres d'alimentation et de nidification du Grand Pic. Pour l'alimentation, un arbre était considéré propice selon 3 variables : son essence, sa classe de dégradation et son DHP (Gasse, 2007; Nappi *et al.*, 2015; Antaya, 2019). Toutefois, suite à l'observation préliminaire des données, ces variables ont été utilisées de manière hiérarchique, puisque certaines essences sont utilisées seulement à partir d'un certain DHP et selon leur niveau de dégradation. Par exemple, le DHP des tiges de bouleau à papier utilisées par le Grand Pic était plus variable pour les tiges mortes (19 à 60 cm), alors que l'utilisation de tiges vivantes ou peu dégradées pour cette même essence était uniquement observée sur des arbres de plus de 50 cm de DHP. Ainsi, les tiges caractérisées durant l'échantillonnage étaient considérées adéquates pour l'alimentation du Grand Pic si elles avaient un DHP supérieur ou égal au minimum observé à l'intérieur des 8 classes de dégradation respectivement et en fonction des différentes essences utilisées par l'oiseau dans notre région à l'étude. Pour la nidification en forêt boréale mixte, les Grands Pics nichent presque exclusivement dans le peuplier faux-tremble de fort DHP, présentant un minimum de dégradation (classe 2). Ainsi, les peupliers faux-trembles de plus de 30 cm de DHP (Ouellet-Lapointe *et al.*, 2012; Cadieux, 2017), d'une hauteur minimale de 9 mètres et d'une classe de dégradation entre 2 et 7 étaient jugés adéquats. La densité de tiges propices de chacune des placettes pour la reproduction et l'alimentation fut ensuite calculée.

1.3.5 Analyses statistiques

1.3.5.1 Qualité de l'habitat à l'échelle du paysage

Pour déterminer si le Grand Pic sélectionne des territoires dont la qualité (mesurée par la correspondance entre le type de couvert forestier et la densité des arbres propices à la nidification) est supérieure à ce qui est disponible sur l'ensemble du territoire d'étude, nous avons comparé des secteurs de 500 hectares (rayon de 1250 m) centrés autour des 30 sites de nidification répertoriés sur notre territoire d'étude à l'aide du logiciel QGIS 3.10.1 avec GRASS 7.8.1. Le choix de cette superficie est basé sur la relation allométrique entre la taille des domaines d'activités de couples nicheurs de Grands Pics et la latitude des sites de nidification mesurée sur l'ensemble des travaux menés sur l'écologie spatiale du Grand Pic, qui ont documenté la taille de leur domaine vital annuel et/ou saisonnier dans leur aire de

répartition (Tomasevic et Marzluff, 2018b). À une latitude correspondant à notre aire d'étude, cette superficie est estimée à 500 hectares, soit une superficie supérieure à la taille de 268 hectares estimée pour des domaines vitaux dans les forêts feuillues du sud du Québec mesurée par Savignac *et al.* (1996) au 46° degré de latitude.

La densité des tiges propices pour la nidification, à l'intérieur d'une zone de 500 hectares centrée sur des sites de nidification où un couple de Grand Pic s'est reproduit, a été comparée à celle observée dans des zones équivalentes autour de 30 sites répartis aléatoirement qui ne comportaient pas d'arbres de nidification de Grand Pic. Plus précisément, ces 30 sites ont été répartis au hasard dans des territoires forestiers ayant été évalués avec au moins une faible densité d'arbres susceptibles de contenir des cavités de Grand Pic selon le modèle de Cadieux *et al.* (2019) sur le territoire couvert par l'étude. De plus, les sites aléatoires étaient distribués à une distance d'au moins 100 mètres les uns des autres et des sites de nidification. Pour évaluer si le Grand Pic sélectionne des secteurs dans lesquels la proportion des peuplements forestiers dont la densité des arbres propices à la nidification est supérieure à la disponibilité de ceux-ci sur le territoire d'étude, des modèles linéaires à effet mixte (« LMER ») ont été utilisés pour comparer ces peuplements entre les domaines vitaux autour des sites de nidification répertoriés à des superficies équivalentes centrées sur des sites aléatoires dans notre région d'étude, où l'identifiant des sites a été inclus comme variable aléatoire dans les modèles.

1.3.5.2 Répartition des peuplements propices pour la nidification au sein des domaines d'activité

Nous avons ensuite subdivisé les 30 domaines d'activité de 500 ha centrés autour des nids de Grand Pic en 3 superficies équivalentes (166,66 hectares) pour évaluer si les peuplements forestiers les plus propices à la reproduction du Grand Pic sont centrés autour des nids ou s'ils sont répartis sur l'ensemble du domaine d'activité. Nous avons subdivisé les domaines vitaux en trois zones concentriques exclusives de plus en plus éloignées du nid : à proximité (soit de 0 à 166 ha), à une distance intermédiaire (soit de 167 à 334 ha) et éloignée du nid (soit de 335 à 500 ha) (figure 1.3). Les proportions des différents peuplements forestiers retrouvés dans chacune de ces zones ont ensuite été calculées. Des modèles linéaires à effet mixte (« LMER ») ont permis de comparer les proportions de peuplements quant à leur potentiel d'héberger des arbres pour la reproduction du Grands Pic. Pour l'ensemble des modèles, la variable explicative testée repose sur les zones concentriques autour des domaines d'activité dans lesquelles les identifiants des sites de nidification ont été inclus comme variable aléatoire. Des tests de Tukey ont ensuite été faits pour déterminer statistiquement les différences entre les 3 zones.

1.3.5.3 Répartition fine des arbres propices à l'alimentation et à la reproduction à l'intérieur des domaines d'activité avec des nids actifs

La disponibilité des arbres propices à la reproduction et à l'alimentation, dans les 50 placettes d'échantillonnage de 0,04 hectare de chacun des 5 nids actifs de Grand Pic en 2020, a été analysée en fonction de leur distance par rapport au nid, pour déterminer leur répartition spatiale au sein des domaines vitaux. Le regroupement des placettes s'est fait de manière à obtenir des groupes rassemblant autant que possible le même nombre de placettes, soit « à proximité » regroupant les 18 placettes les plus proches de chacun des nids, « intermédiaire » regroupant les 16 placettes suivantes ou « éloigné » regroupant les 16 placettes les plus éloignées de chacun des nids. Ainsi, vu le nombre total de placettes échantillonnées, le groupe regroupant les placettes à « proximité » possédait 10 placettes de plus que les autres groupes. Les valeurs de densité d'arbres propices à l'alimentation et à la reproduction dans les différents peuplements forestiers retrouvés dans chacune de ces zones ont ensuite été calculées. Des modèles linéaires à effet mixte (« LMER ») ont ensuite été utilisés afin de comparer la densité moyenne de tiges propices à l'alimentation et à la reproduction du Grand Pic en fonction de la distance selon les 3 regroupements par rapport au nid. L'identifiant des sites de nidification ont été inclus comme variable aléatoire. Des tests de Tukey ont ensuite été faits pour identifier les différences entre les 3 distances.

L'ensemble des modèles développés dans cette étude ont été réalisés à l'aide de la procédure « lme4 » et les tests de Tukey ont été faits au moyen de la procédure « multcomp » du logiciel R studio version 4.1.2. La distribution des résidus a été vérifiée graphiquement avant la réalisation des analyses et des transformations racines carrées ont été appliquées lorsque requises.

1.4 Résultats

1.4.1 Sélection de l'habitat de nidification à l'échelle du paysage

À l'échelle du paysage, l'habitat qui caractérise les 30 domaines vitaux des sites de nidification du Grand Pic se démarque de celui des 30 sites aléatoires sans sites de nidification par la présence d'une plus grande proportion de peuplements à densité « nulle » d'arbres propices à la nidification (valeur $t = 3.243$) aux sites comportant des arbres de nidification de Grand Pic (Tableau 1.1). De plus, on retrouve une plus grande proportion de peuplements à « faible » densité d'arbres propices à la nidification du Grand Pic autour des sites aléatoires (valeur $t = - 3.386$) (Tableau 1.1). Les domaines vitaux des sites de nidification comportent cependant une plus grande proportion de peuplements forestiers à densité « élevée » (valeur $t = 2.157$) et « très élevée » (valeur $t = 2.373$) d'arbres propices à la nidification (voir tableau 1.1). Toutefois, la proportion de ces types de peuplement reste faible (Tableau 1.1).

1.4.2 Répartition des peuplements propices à la reproduction à l'intérieur des 30 domaines d'activités du Grand Pic

À l'intérieur des mosaïques d'habitats constituant les domaines vitaux potentiellement exploitables par les couples nicheurs de Grand Pic, une plus grande proportion de peuplements avec une densité « élevée » d'arbres propices à la reproduction est située à proximité du nid (premier 166 hectares) par rapport aux zones plus distantes du point central d'un arbre porteur d'un nid ou d'un point aléatoire (valeur t pour la zone intermédiaire = -2,775, valeur t pour la zone éloignée = -2,368) (Tableau 1.2).

Le test de Tukey révèle que plus l'on s'éloigne du site de nidification, plus la superficie relative de peuplements dont la densité d'arbres propices à la reproduction est « nulle » augmente (Tableau 1.2). Les peuplements avec une densité d'arbres propices à la reproduction « nulle » représentent la grande majorité des peuplements retrouvés dans un rayon de 500 hectares autour du nid (Tableau 1.2). Les différences pour les proportions de peuplements des autres catégories de densité d'arbres propices à la reproduction ne sont pas significatives.

1.4.3 Répartition des arbres propices à la reproduction et à l'alimentation à l'échelle du domaine d'activités des cinq couples nicheurs en 2020

À l'intérieur du domaine vital des Grands Pics nicheurs en 2020, les inventaires systématiques sur le terrain montrent que la densité moyenne de tiges propices pour la nidification du Grand Pic varie en fonction des différentes distances aux nids (valeur t du groupement à distance intermédiaire = -2.180, valeur t du groupement éloigné = -3.326) (Tableau 1.3). Le test de Tukey montre que la densité de tiges propices pour la nidification diminue lorsqu'on s'éloigne des sites de nidification (Tableau 1.3). Une relation similaire est observée pour la densité de tiges d'alimentation (valeur t du groupement à distance intermédiaire = -2,436, valeur t du groupement éloigné = -2,986) alors que cette densité atteint sa plus forte valeur à proximité des sites de nidification (Tableau 1.4). Il est important de noter qu'il y a davantage de tiges propices à l'alimentation que pour la nidification du Grand Pic autour des sites de nidification (Tableaux 1.3 et 1.4).

1.5 Discussion

1.5.1 L'importance des peuplements à forte densité de peupliers faux-trembles pour l'établissement à long terme sur un territoire

Pour les espèces cavicoles, les arbres de nidification sont connus pour être un facteur limitant dans les processus de sélection d'habitats (Newton, 1994; Cadieux, 2017). Bien que le Grand Pic puisse nicher dans des peuplements à faible densité d'arbres propices à leur reproduction et dans des habitats ouverts

(Conner *et al.*, 1975; McClelland, 1977; Bonar, 2001), les résultats présentés suggèrent que le Grand Pic sélectionne des secteurs possédant une plus grande superficie de peuplements présentant des arbres dont le diamètre et l'essence sont associés à ses besoins reproductifs (Tableau 1.1), soit des peuplements forestiers mixtes, matures et âgés, à densité élevée de peupliers faux-trembles de plus de 30 cm de DHP dans le contexte de la forêt boréale mixte (Cadieux, 2011, 2017; Cadieux *et al.*, 2023). Ces résultats vont d'ailleurs dans la même direction que ceux de Bonar (2001) qui avait observé une plus grande quantité d'arbres propices à l'excavation de cavités autour des sites de nidification par rapport à des parcelles aléatoirement distribuées dans son site d'étude. La sélection de peuplements à haute densité d'arbres propices à la nidification aurait l'avantage de permettre aux couples d'établir leur territoire à plus long terme, les Grands Pics étant connus pour conserver le même territoire année après année et pour excaver de nouvelles cavités annuellement (Bull et Meslow, 1988). L'établissement à long terme sur un territoire permet aux individus de se familiariser à l'habitat qu'ils occupent, faisant en sorte qu'ils disposent de plus de connaissances quant à la localisation des arbres d'alimentation et qu'ils se déplacent de manière plus optimale dans leur territoire (Hildén, 1965; Piper, 2011). La familiarisation au site est ultimement associée à un meilleur succès reproducteur (Hildén, 1965; Piper, 2011). La présence de multiples arbres de reproduction permettrait aussi au couple nicheur d'établir un réseau de gîtes, composé de leurs anciennes cavités excavées au fil des années (Bull *et al.*, 1992b; Tomasevic et Marzluff, 2018a). Disposer d'un réseau de gîtes offrirait aux Grands Pics une protection contre les prédateurs, faciliterait leurs déplacements en réduisant la distance de vol à parcourir vers les sites d'alimentation et réduirait les pertes d'énergie, notamment celles associées à la perte de chaleur durant l'hiver (Bull *et al.*, 1992b; Aubry et Raley, 2002b). Les travaux de Bull *et al.* (1992b) ont d'ailleurs montré qu'un Grand Pic utilise en moyenne 4 arbres comme gîtes, ce qui réitère l'importance d'établir son territoire dans des peuplements de qualité pour la reproduction où de tels arbres propices à l'excavation sont abondants, surtout en considérant que les gîtes peuvent être occupés par d'autres espèces animales (Martin et Eadie, 1999; Martin *et al.*, 2004; Ouellet-Lapointe *et al.*, 2012). La sélection de sites entourés d'une plus grande superficie de peuplements aux attributs structurels associés à la présence élevée d'arbres propices à la nidification pour l'espèce s'aligne ainsi avec « l'hypothèse des indices structurels » de Smith et Shugart (1987). Ces indices structurels révéleraient la présence de diverses composantes répondant aux besoins écologiques de l'espèce permettant d'optimiser son succès reproducteur.

La sélection de l'habitat à l'échelle du paysage faite par le Grand Pic que nous observons pourrait également être expliquée par des variations comportementales individuelles, notamment dans le processus de colonisation initiale d'un nouveau site lors de la dispersion. De plus en plus d'études montrent l'importance d'une préférence chez les individus d'espèces diverses pour les caractéristiques retrouvées

dans le milieu natal des animaux dans leurs processus de sélection d'habitats (Davis et Stamp, 2004; Davis, 2019). Un des mécanismes impliqués dans ce phénomène est la reconnaissance des stimuli présents dans l'habitat natal avant la dispersion des individus immatures (Davis, 2019). Dans le cas du Grand Pic, les individus immatures vont suivre leurs parents de leur sortie du nid jusqu'au début de l'automne, moment où ils seront chassés du territoire natal (Bull et Meslow, 1988). La forte densité d'arbres propices à l'excavation de cavités pourrait ainsi agir comme stimuli, signalant le fort potentiel d'un peuplement forestier pour l'établissement d'un territoire aux oiseaux en dispersion, ceux-ci ayant reçu un apprentissage soutenu de la part de leurs parents (Hoyt, 1957). D'ailleurs, durant les recherches de sites de nidification effectuées en 2020 et 2021, 9 des 11 sites de nidification répertoriés étaient situés dans des peuplements forestiers à haute densité d'arbres propices à l'excavation de cavités (classes « élevée » et « très élevée » de notre région d'étude). Cela dit, seuls le marquage et le suivi à long terme des populations permettraient d'établir les liens de parenté entre les individus et ainsi observer si des tendances de sélections d'habitats sont associées à des individus apparentés.

La précision des prévisions faites par notre modèle associant l'identité des peuplements forestiers des cartes écoforestières à la densité des tiges propices à la création de cavités de reproduction et de dortoirs pour le Grand Pic est toutefois à considérer dans l'interprétation de nos résultats, notamment pour les peuplements identifiés comme ayant de faibles densités d'arbres propices à la nidification du Grand Pic. En effet, nos observations sur le terrain ont permis de constater que les peuplements à faible densité d'arbres propices à la nidification identifiés par le modèle contiennent soit 1) quelques tiges de peupliers faux-trembles propices à l'excavation de cavités qui sont toutefois dispersées dans des peuplements très hétérogènes en termes de composition ou soit 2) qu'ils contiennent une forte densité de peupliers un peu trop jeunes (dont le diamètre est de plus de 20 cm, mais en deçà de 30 cm de DHP), dont les caractéristiques ne permettraient pas à un Grand Pic d'excaver une chambre de nidification (manque de dégradation et DHP trop faible). Dans le premier cas, ces peuplements peuvent être occupés par un couple nicheur, mais les individus disposeront alors d'un plus faible nombre de sites propices d'excavation pour faire des cavités (de reproduction et de dortoirs) que dans les peuplements de meilleure qualité et nécessiteront un investissement plus grand afin d'être détectés par un individu, les Grands Pics dépensant un temps considérable dans la recherche de site de nidification et de gîte (Aubry et Raley, 2002b). Somme toute, le modèle de qualité d'habitat s'est avéré hautement efficace pour la recherche de cavité dans notre site d'étude, mais mieux distinguer le potentiel des peuplements à faible densité d'arbres propices pour la reproduction du Grand Pic contribuerait à l'amélioration des prévisions de ce dernier.

1.5.2 Répartition des ressources à l'intérieur des domaines vitaux des Grands Pics aux échelles du paysage et de l'arbre

La répartition spatiale des ressources a une influence déterminante sur le succès reproducteur, le comportement et les coûts énergétiques liés à l'exploitation d'un territoire par un animal (Orians, 1979; Wetterer, 1989; Charnov et Orians, 2006). Dans notre étude, en plus de sélectionner des territoires comportant une plus grande superficie relative de peuplements à densité élevée d'arbres propices à la reproduction (Tableau 1.1), nos résultats montrent, tant pour la répartition spatiale des peuplements à forte densité d'arbres propices à la reproduction du Grand Pic que nos relevés sur le terrain de l'abondance effective des arbres propices à l'excavation, que le Grand Pic fait une sélection fine de son site de nidification en fonction d'une concentration de cette ressource à faible distance de l'emplacement de son nid (Tableaux 1.2 et 1.3). Cette sélection du Grand Pic pour des peuplements à forte densité d'arbres propices à l'établissement d'une cavité de reproduction autour de ses sites de nidification est d'autant plus importante dans le contexte où les forêts matures et âgées mixtes avec des individus de peupliers faux-trembles propices à l'excavation ne constituent qu'une faible proportion des peuplements forestiers disponibles dans les paysages de notre territoire d'étude.

Les avantages écologiques associés à la sélection de sites dans lesquels on retrouve une plus grande superficie de peuplements propices à la nidification ainsi qu'un plus grand nombre d'arbres propices à la nidification sont essentiels pour le Grand Pic. En effet, la sélection de sites présentant plusieurs arbres propices à l'excavation de cavités permet non seulement aux couples nicheurs d'établir leur réseau de dortoirs, discuté précédemment, mais cela permet aussi de disposer d'alternatives immédiates en cas de prédation ou de perturbation du nid afin de tenter une seconde tentative de nidification (Aubry et Raley, 2002b), un phénomène peu décrit dans la littérature traitant du Grand Pic. Durant les suivis de nidification faits entre 2020 et 2021, nous avons observé à trois reprises des interruptions de nidification. Deux « secondes tentatives de nidification » ont pu être confirmées par la suite, celles-ci ayant eu lieu dans d'anciennes cavités à proximité des nids originaux.

Par ailleurs, l'excavation d'une cavité requiert que les arbres atteignent des conditions spécifiques associées à leur vieillissement et à leur dégradation (Bull, 1987; Bonar, 2001; Hartwig *et al.*, 2004; Bunnell, 2013). En plus de devoir être d'une taille suffisante pour accueillir une grande cavité, les arbres dans lesquels les Grands Pics excavent leurs chambres de nidification sont communément infectés par des caries fongiques, principalement *Phellinus tremulae*, ayant infecté l'arbre grâce à une blessure ou par les stress induits de la compétition pour l'espace (Conner *et al.*, 1975; Hart et Hart, 2001; Cadieux, 2017). Dans le cas du peuplier faux-tremble, la seule espèce d'arbre utilisée par le Grand Pic pour sa nidification

dans notre territoire d'étude (Cadieux, 2011; Cadieux *et al.*, 2023), bien que les agents de détérioration des arbres agissent généralement de manière localisée, la structure en clone des peuplements de cette espèce (Namroud *et al.*, 2005; Tremblay, 2015) favorise une infection groupée dans l'espace par les caries fongiques au sein des peuplements âgés (Bull *et al.*, 1997; Aubry et Raley, 2002b).

À notre connaissance, notre étude est la première à décrire spatialement la répartition de la disponibilité des arbres propices à la fois à la reproduction et à l'alimentation du Grand Pic. Elle montre que ces ressources sont davantage concentrées à faible distance (dans les 166 premiers hectares ou 728 mètres) de l'emplacement des nids et ne sont pas dispersées sur l'ensemble de son domaine d'activités estimé à 500 hectares dans notre secteur d'étude. D'autres travaux ont montré une plus grande abondance d'arbres ayant un potentiel pour l'alimentation (arbres dégradés et des chicots) à proximité des sites de nidification par rapport aux sites distribués de façon aléatoire au sein des domaines d'activités de couples nicheurs de Grand Pic (Bonar, 2001; Aubry et Raley, 2002b; Hartwig *et al.*, 2004), mais ces travaux n'ont pas couvert de façon aussi systématique le gradient de distance aux sites de nidification, tel que nous le faisons dans la présente étude. De plus, ces travaux n'ont pas abordé la question de la répartition des arbres qui ont un potentiel pour la nidification. Nos résultats montrent donc que tant les arbres qui ont un potentiel pour l'excavation d'un gîte ou d'un nid que ceux qui peuvent servir de substrat alimentaire sont concentrés à moins de 728 mètres de nos nids (Tableau 1.4).

La plus grande densité d'arbres propices à l'alimentation à proximité des nids peut s'expliquer par le fait que les peuplements les plus propices à la nidification du Grand Pic présentent également des caractéristiques propices à leur alimentation soit une densité plus élevée d'arbres sénescents et morts (Conner *et al.*, 1975; Nappi *et al.*, 2015). En effet, la dégradation des arbres de grandes tailles, causée par les caries fongiques et la compétition pour l'espace, permet l'excavation des cavités, mais procure aussi les conditions nécessaires à la colonisation des fourmis charpentières (Sander, 1964). En plus d'être observées sur les chicots, des excavations d'alimentation de Grand Pic sont aussi observées sur les grosses branches maîtresses les plus basses des peupliers faux-trembles sénescents (classes de dégradation 2 et 3) (Bilodeau-Colbert, observations personnelles), un type d'utilisation peu décrit dans la littérature. Bonar (2001) a aussi noté une utilisation des branches et de la partie supérieure des arbres durant la période de nidification en Alberta. La présence d'opportunité d'alimentation à proximité du nid peut être particulièrement bénéfique considérant l'augmentation des besoins énergétiques pendant la période de nidification et de nourrissage des jeunes. Une réduction de la taille du domaine vital est notamment observée durant cette période par rapport à celle du domaine vital annuel (Bonar, 2001).

Même si une concentration des ressources alimentaires est observée autour des nids dans notre site d'étude, les différents travaux sur le Grand Pic s'entendent généralement pour dire que la disponibilité des ressources alimentaires n'est pas le facteur limitant dans l'établissement de leur territoire, cet oiseau utilisant une plus grande variété d'arbres et d'habitats pour son alimentation que pour sa nidification (Newton, 1994; Bonar, 2001; Tomasevic et Marzluff, 2018b). Par contre, la disponibilité et l'abondance des ressources alimentaires dans le domaine vital d'un animal peuvent avoir une influence sur sa survie, son succès reproducteur et son comportement (Brown, 1964; Brown et Orians, 1970; Charnov et Orians, 2006). Dans le cas du Grand Pic, dont l'alimentation repose sur la disponibilité d'arbres sénescents et morts à des stades de dégradation variés, il serait pertinent dans le futur d'évaluer quantitativement cette disponibilité et son effet dans la sélection des sites de nidification du Grand Pic et la localisation de son domaine d'activités. Et cela, particulièrement dans le contexte où l'aménagement forestier peut non seulement altérer la disponibilité d'arbres propices à sa reproduction, mais peut également affecter la dynamique de recrutement du bois mort (Drapeau *et al.*, 2009; Nappi *et al.*, 2015). Par ailleurs, nous observons une grande variabilité en ce qui a trait à l'abondance des ressources à l'intérieur des domaines d'activités des couples nicheurs étudiés (Tableau 1.4). C'est le cas de l'un d'eux situé dans un séparateur de coupe, un milieu particulièrement pauvre en ressources alimentaires (37 des 50 placettes échantillonnées ne présentant aucune opportunité d'alimentation), car entouré de coupes totales récentes (moins de 20 ans). L'absence presque totale de réaction territoriale face aux repasses de cris et de tambourinement et à la présence d'un leurre a été observée chez les membres de ce couple nichant dans un séparateur de coupe, et ce même à 150 mètres de leur nid. L'augmentation des dépenses énergétiques et du temps de voyage consacré à la recherche de nourriture pourrait expliquer le faible comportement territorial de ce couple nicheur.

1.5.3 Conséquences pour l'aménagement forestier

En plus d'être des habitats de qualité pour le Grand Pic, les forêts matures et âgées possèdent des attributs essentiels pour la diversité biologique (Drapeau *et al.*, 2009; Drapeau *et al.*, 2016; Cadieux, 2017; Mendia *et al.*, 2019). En effet, dans la forêt boréale mixte, les forêts matures et âgées contiennent généralement une plus grande quantité de bois sénescents et morts à divers stades de dégradation qui accueillent des milliers d'espèces de champignons et d'invertébrés, tels les insectes saproxyliques (St-Germain *et al.*, 2007) qui constituent des ressources alimentaires importantes pour les pics, dont le Grand Pic (Nappi *et al.*, 2015). Les cavités excavées par les pics dans les structures dégradées ou mortes permettent aussi à de nombreuses espèces d'oiseaux et de mammifères cavicoles, qui ne peuvent toutefois excaver leurs propres cavités, de mener leurs activités de reproduction (Bonar, 2001; Cadieux, 2011, 2017; Edworthy *et al.*, 2018). De plus, les forêts matures et âgées rendent d'importants services

écologiques aux sociétés humaines, notamment la plus importante accumulation de carbone à l'hectare comparativement aux autres types de forêt, la purification de l'eau et la rétention des sols (Krieger, 2001; Mendia *et al.*, 2019).

Dans ce contexte, il devient primordial de conserver ces habitats non seulement pour le Grand Pic, mais pour l'ensemble de la diversité biologique qui est associé aux processus écologiques de sénescence et de mortalité des arbres dans ces types de forêts (Drapeau *et al.*, 2009, 2016; Cadieux et Drapeau, 2017; Cadieux *et al.*, 2023). Ainsi, dans notre région d'étude, les plans d'aménagement forestier devraient assurer la conservation, le renouvellement et la connectivité des forêts matures et âgées mixtes selon une perspective multiscalaire (Savignac *et al.*, 2000; Antaya, 2019). À l'échelle du peuplement forestier, les peuplements composés d'une grande densité de peupliers faux-trembles matures et sénescents (≥ 70 ans) représentent des environnements de qualité qui sont propices à la nidification et à l'alimentation du Grand Pic. La conservation intégrale d'une proportion de ces peuplements devrait être envisagée pour favoriser le maintien de la biodiversité faunique et végétale de ces forêts et limiter les effets de bordure (Murcia, 1995; Worboys *et al.*, 2010; Thorn *et al.*, 2020). Toutefois, si seulement une portion du peuplement ne pouvait être préservée, une évaluation des structures sur pieds devrait être faite afin de localiser les secteurs ayant davantage de tiges propices à l'alimentation et à la nidification du Grand Pic. Les agglomérations de peupliers faux-trembles de plus de 35 cm de DHP présentant des signes de détérioration (présence de caries fongiques, présence de cicatrices profondes, perte d'une partie du feuillage) et les chicots devraient ainsi être retenues. Dans notre site d'étude, des couples nicheurs (Grand Pic et grands utilisateurs secondaires de cavités) ont été observés à plusieurs reprises dans des habitats linéaires résiduels de qualité pour le Grand Pic contenant des peuplements mixtes de peupliers faux-trembles matures et sénescents avec des conifères (Bédard, 2012; Ouellet-Lapointe *et al.*, 2012; Plouffe-Leboeuf, 2016), ce qui montre l'utilité d'une rétention ciblée des meilleurs attributs forestiers associés à la nidification du Grand Pic et des autres pics (Cadieux, 2017; Cadieux *et al.*, 2023).

Enfin, l'aménagement forestier devrait aussi tenir compte des besoins futurs des espèces cavicoles (Drapeau *et al.*, 2009) au moyen d'une planification à long terme. Celle-ci devrait inclure à la fois la création d'aires protégées centrées autour de la protection des peuplements mixtes de forêts matures et âgées de même que le déploiement plus extensif de pratiques sylvicoles qui maintiennent les composantes structurelles clés de forêts âgées (arbres matures et sénescents de fort diamètre et bois mort à divers stades de dégradation) étant non seulement propices à la nidification et à l'alimentation du Grand Pic, mais également à la diversité d'espèces associées aux processus écologiques de sénescence des arbres (Drapeau

et al., 2016; Cadieux et Drapeau, 2017) ainsi que de la diversité fonctionnelle des réseaux complexes d'espèces utilisatrices de cavités d'arbres en forêt boréale (Cadieux *et al.*, 2023).

1.6 Remerciements

Nous remercions Réjean Deschênes, Mathieu Bernier et Matthieu Weiss-Blais pour leur travail et leur dévouement exceptionnels durant les travaux de terrain. Nous remercions aussi le ministère des Forêts de la Faune et des Parcs, pour l'accès aux données numériques des cartes écoforestières et à la Forêt d'enseignement et de recherche du lac Duparquet, pour leur support sur le terrain. Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (subvention CRSNG Découverte # RGPIN-2019-07075 octroyée à Drapeau), le Fonds de recherche du Québec - Nature et technologies du programme des regroupements stratégiques (#2020-RS4-265087) octroyées au Centre d'étude de la forêt (CEF) ont contribué au financement de ce projet.

1.7 Littérature citée

- Addicott, J. F., Aho, J. M., Antolin, M. F., Padilla, D. K., Richardson, J. S. et Soluk, D. A. (1987). Ecological neighborhoods: scaling environmental patterns. *Oikos*, 49: 340-346.
- Antaya, A. (2019). La connectivité de l'habitat du Grand Pic (*Dryocopus pileatus*) favorise-t-elle son occupation dans un paysage agroforestier boréal? *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal*. Montréal. 126 p.
- Aubry, K. B. et Raley, C. M. (2002) a. The pileated woodpecker as a keystone habitat modifier in the Pacific Northwest. *USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-181*, 257-274.
- Aubry, K. B. et Raley, C. M. (2002) b. Selection of nest and roost trees by pileated woodpeckers in coastal forests of Washington. *The Journal of wildlife management*, 66(2): 392-406.
- Avgar, T., Betini, G. et Fryxell, J. M. (2020). Habitat selection patterns are density dependent under the ideal free distribution. *Journal of Animal Ecology*, 89(12): 2777-2787.
- Beckwith, R. C. et Bull, E. L. (1985). Scat analysis of the arthropod component of pileated woodpecker diet. *The Murrelet*, 66(3): 90-92.
- Bédard, S. (2013). Qualité des parcelles d'habitat résiduel des paysages aménagés en forêt boréale mixte pour la reproduction et l'alimentation du Pic Maculé (*Sphyrapicus varius*). *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal*. Montréal. 132 p.
- Bergeron, D., Darveau, M., Desrochers, A. et Savard, J.-P. L. (1997). Impact de l'abondance des chicots sur les communautés aviaires et la sauvagine des forêts conifériennes et feuillues du Québec méridional. *Service canadien de la faune, région du Québec, Environnement Canada, Sainte-Foy, Série de rapports techniques 271F*. 41 p.
- Bergeron, Y. (2000). Species and stand dynamics in the mixed woods of Quebec's southern boreal forest. *Ecology*, 81(6): 1500-1516.
- Blake, D. M. (2018). Foraging habitat of pileated woodpeckers in relation to a managed landscape on the Hoopa Valley reservation, Northwestern California. *M. Sc. Thèse. Humboldt State University: Arcata*. 77 p.
- Bledsoe, E. K. et Ernest, S. M. (2019). Temporal changes in species composition affect a ubiquitous species' use of habitat patches. *Ecology*, 100(11): e02869.

- Blouin, J. et Berger, J.-P. (2002). Guide de reconnaissance des types écologiques de la région écologique 5a – Plaine de l'Abitibi. *Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction des inventaires forestiers, Division de la classification écologique et productivité des stations*. 180 p.
- Bonar, R. L. (2001). Pileated Woodpecker habitat ecology in the Alberta foothills. *PhD Thesis University of Alberta Edmonton*, 84 p.
- Brown, J. L. (1964). The evolution of diversity in avian territorial systems. *The Wilson Bulletin*, 76(2): 160-169.
- Brown, J. L. et Orians, G. H. (1970). Spacing patterns in mobile animals. *Annual review of ecology and systematics*, 1(1): 239-262.
- Bull, E. L. (1987). Ecology of the pileated woodpecker in northeastern Oregon. *The Journal of wildlife management*, 51(2): 472-481.
- Bull, E. L., Beckwith, R. C. et Holthausen, R. S. (1992) a. Arthropod diet of pileated woodpeckers in northeastern Oregon. *Northwestern Naturalist*, 73(2): 42-45.
- Bull, E. L., Holthausen, R. S. et Henjum, M. G. (1992) b. Roost trees used by pileated woodpeckers in northeastern Oregon. *The Journal of wildlife management*, 64(4): 786-793.
- Bull, E. L. et Holthausen, R. S. (1993). Habitat use and management of pileated woodpeckers in northeastern Oregon. *The Journal of wildlife management*, 57(2): 335-345.
- Bull, E. L., et Jackson, J. A. (2011). Pileated Woodpecker (*Dryocopus pileatus*), version 2.0. In *The Birds of North America* (A. F. Poole, Editor). *Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA*. <https://doi.org/10.2173/bna.148>
- Bull, E. L. et Meslow, E. C. (1988). Breeding biology of the pileated woodpecker: management implications (Vol. 474). *US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station*. 8 p.
- Bull, E. L., Parks, G. et Torgersen, T. R. (1997). Trees and logs important to wildlife in the Interior Columbia River Basin. *U.S. Forest Service General Technical Report PNW-GTR-391. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station*. 55 p.
- Bunnell, F. L. (2013). Sustaining cavity-using species: patterns of cavity use and implications to forest management. *International Scholarly Research Notice*. 33 p.
- Burt, W. H. (1943). Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of Mammalogy*, 24: 436-352.
- Bush, P. G., Naylor, B. J. et Duinker, P. N. (2009). Characteristics of habitat used by pileated woodpeckers in Great Lakes–St. Lawrence forest region of Ontario. *Prairie Perspectives*, 12: 97-114.
- Cadieux, P. (2011). Dynamique de la faune cavicole le long d'un gradient d'âge en forêt boréale mixte de l'est de l'Amérique du Nord. *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal*. 85 p.
- Cadieux, P. (2017). Diversité et fonction de la faune cavicole à la transition de la forêt boréale mixte et résineuse de l'est du Canada. *PhD Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal*. 196 p.
- Cadieux, P. et Drapeau, P. (2017). Are old boreal forests a safe bet for the conservation of the avifauna associated with decayed wood in eastern Canada? *Forest Ecology and Management*, 385: 127-139.
- Cadieux, P., Drapeau, P., Leduc, A. et Imbeau, L. (2019). Identification de sites pour la conservation de la faune cavicole en forêt boréale dans la MRC de la Baie-James. *Rapport scientifique préparé dans le cadre du programme Fonds d'initiatives du Plan Nord (FIPN)*. 43 p.

- Cadieux, P., Drapeau, P., Ouellet-Lapointe, U., Leduc, A., Imbeau, L., Deschênes, R. et Nappi, A. (2023). Old forest structural development drives complexity of nest webs in a naturally disturbed boreal mixedwood forest landscape. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6:1084696. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1084696>
- Charnov, E. et Orians, G. H. (2006). Optimal foraging: some theoretical explorations. *UNM Digital Repository, University of New Mexico*. 162 p.
- Conner, R. N., Hooper, R. G., Crawford, H. S. et Mosby, H. S. (1975). Woodpecker nesting habitat in cut and uncut woodlands in Virginia. *The Journal of Wildlife Management*, 39(1): 144-150.
- Cooke, H. A. et Hannon, S. J. (2012). Nest-site selection by old boreal forest cavity excavators as a basis for structural retention guidelines in spatially-aggregated harvests. *Forest Ecology and Management*, 269: 37-51.
- Dansereau, P.-R. et Bergeron, Y. (1993). Fire history in the southern boreal forest of northwestern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(1): 25-32.
- Davis, J. M. (2019). Habitat Imprinting and Natal Habitat Preference Induction. In J. C. Choe (Ed.), *Encyclopedia of Animal Behavior (Second Edition)*, Academic Press, 3: 301–305.
- Davis, J. M. et Stamps, J. A. (2004). The effect of natal experience on habitat preferences. *Trends in ecology et evolution*, 19(8): 411-416.
- Drapeau, P., Nappi, A., Imbeau, L. et Saint-Germain, M. (2009). Standing deadwood for keystone bird species in the eastern boreal forest: managing for snag dynamics. *The Forestry Chronicle*, 85(2): 227-234.
- Drapeau, P., Villard, M. A., Leduc, A. et Hannon, S. J. (2016). Natural disturbance regimes as templates for the response of bird species assemblages to contemporary forest management. *Diversity and Distributions*, 22(4): 385-399.
- Edworthy, A. B., Trzcinski, M. K., Cockle, K. L., Wiebe, K. L. et Martin, K. (2018). Tree cavity occupancy by nesting vertebrates across cavity age. *The Journal of Wildlife Management*, 82(3): 639-648.
- Flemming, S. P., Holloway, G.L., Watts, E. J. et Lawrance, P. S. (1999). Characteristics of foraging trees selected by pileated woodpeckers in New Brunswick. *The Journal of wildlife management*, 63(2): 461-469.
- Fryxell, J. M., Sinclair, A. R. et Caughley, G. (2014). Wildlife ecology, conservation, and management. *John Wiley et Sons*. 528 p.
- Gasse, A. (2007). Importance des arbres de grande taille en forêt boréale mixte sur la distribution des oiseaux cavicoles ainsi que sur les patrons d'alimentation du Grand Pic (*Dryocopus pileatus*). *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal*. 102 p.
- Hart, J. H. et Hart, D. L. (2001). Heartrot fungi's role in creating picid nesting sites in living aspen. In: Shepperd, W. D., Binkley, D., Bartos, D. L., Stohlgren, T. J. et Eskew, L. G. (Eds), *Proceedings of the Symposium on the Sustaining aspen in western landscapes (Grand Junction, CO, June 13-15, 2000)*. *USDA Forest Service*: 207-213.
- Hartwig, C., Eastman, D. et Harestad, A. (2004). Characteristics of pileated woodpecker (*Dryocopus pileatus*) cavity trees and their patches on southeastern Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 187(2-3): 225-234.
- Harvey, B. D., Leduc, A., Gauthier, S. et Bergeron, Y. (2002). Stand-landscape integration in natural disturbance-based management of the southern boreal forest. *Forest ecology and management*, 155(1-3): 369-385.

- Hildén, O. (1965). Habitat selection in birds: a review. *Annales Zoologici Fennici*, 2(1): 53-75.
- Hoyt, S. F. (1957). The ecology of the pileated woodpecker. *Ecology*, 38(2) : 246-256.
- Imbeau, L., Mönkkönen, M. et Desrochers, A. (2001). Long-term effects of forestry on birds of the eastern Canadian boreal forests: a comparison with Fennoscandia. *Conservation Biology*, 15(4): 1151-1162.
- Jenks, G. F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7: 186–190.
- Johnson, D. H. (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, 61(1): 65-71.
- Jones, J. (2001). Habitat selection studies in avian ecology: a critical review. *The auk*, 118(2): 557-562.
- Krieger, D. J. (2001). Economic value of forest ecosystem services: a review. *The Wilderness Society*. 40 p.
- Lafontaine, A., Drapeau, P., Fortin, D. et St-Laurent, M. H. (2017). Many places called home: the adaptive value of seasonal adjustments in range fidelity. *Journal of Animal Ecology*, 86(3): 624-633.
- Lewis, J. et Azerrad, J. (2003). Pileated Woodpecker (Volume IV: Birds). *Washington Department of Fish and Wildlife*, 29: 1-9.
- Martin, K., Aitken, K. et Wiebe, K. (2004). Nest Sites And Nest Webs For Cavity-Nesting Communities In Interior British Columbia, Canada: Nest Characteristics And Niche Partitioning. *The Condor*, 106: 5–19.
- Martin, K. et Eadie, J. M. (1999). Nest webs: a community-wide approach to the management and conservation of cavity-nesting forest birds. *Forest Ecology and Management*, 115(2-3): 243-257.
- Mayor, S. J., Schneider, D. C., Schaefer, J. A. et Mahoney, S. P. (2009). Habitat selection at multiple scales. *Ecoscience*, 16(2): 238-247.
- McClelland, B. R. (1977). Relationships between hole-nesting birds, forest snags, and decay in western larch-Douglas-fir forests of the northern Rocky Mountains. *M. Sc. Thesis, University of Montana, Missoula, Montana. USA*. 107 p.
- McLoughlin, P. et Ferguson, S. (2000). A hierarchical pattern of limiting factors helps explain variation in home range size. *Ecoscience*, 7(2): 123-130.
- McLoughlin, P. D., Morris, D. W., Fortin, D., Vander Wal, E. et Contasti, A. L. (2010). Considering ecological dynamics in resource selection functions. *Journal of animal ecology*, 79(1): 4-12.
- Mellen, T. K. (1987). Home range and habitat use of pileated woodpeckers, western Oregon. *PhD Thesis. Oregon State University*, 107 p.
- Mellen, T. K., Meslow, E. C. et Mannan, R. W. (1992). Summertime home range and habitat use of pileated woodpeckers in western Oregon. *The Journal of wildlife management*, 56(1): 96-103.
- Mendia, S. M., Johnson, M. D. et Higley, J. M. (2019). Ecosystem services and disservices of bear foraging on managed timberlands. *Ecosphere*, 10(7): e02816.
- Mitchell, K. (2010). Quantitative analysis by the point-centered quarter method. *New York: Hobart and William Smith Colleges*. 56 p.
- Morris, D. W. (1987). Tests of density-dependent habitat selection in a patchy environment. *Ecological Monographs*, 57(4): 269-281.
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in ecology et evolution*, 10(2): 58-62.

- Namroud, M. C., Park, A., Tremblay, M. F. et Bergeron, Y. (2005). Clonal and spatial genetic structures of aspen (*Populus tremuloides* Michx.). *Molecular Ecology*, 14(10): 2969-2980.
- Nappi, A., Drapeau, P. et Leduc, A. (2015). How important is dead wood for woodpeckers foraging in eastern North American boreal forests? *Forest Ecology and Management*, 346: 10-21.
- Newell, P. J. (2008). Pileated woodpeckers (*Dryocopus pileatus*) and saproxylic beetles in partial cut and uncut bottomland hardwood forests. *M. Sc. Thesis. Louisiana State University. Louisiana*. 103 p.
- Newell, P., King, S. et Kaller, M. (2009). Foraging behavior of Pileated Woodpeckers in partial cut and uncut bottomland hardwood forest. *Forest Ecology and Management*, 258(7): 1456-1464.
- Newton, I. (1994). The role of nest sites in limiting the numbers of hole-nesting birds: a review. *Biological conservation*, 70(3): 265-276.
- Orians, G. H. et Pearson, N. E. (1979). On the theory of central place foraging. *Analysis of ecological systems*: 157-177.
- Ouellet-Lapointe, U. (2010). Le maintien des espèces cavicoles dans les paysages aménagés en forêt boréale mixte de l'est du Canada. *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal*. 89 p.
- Ouellet-Lapointe, U., Drapeau, P., Cadieux, P. et Imbeau, L. (2012). Woodpecker excavations suitability for and occupancy by cavity users in the boreal mixedwood forest of eastern Canada. *Écoscience*, 19(4): 391-397.
- Piper, W. H. (2011). Making habitat selection more “familiar”: a review. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 65(7): 1329-1351.
- Plouffe-Leboeuf, A. (2016). Persistance temporelle de l'avifaune cavicole dans les habitats linéaires en forêt boréale aménagée. *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal*. 152 p.
- Raley, C. M. et Aubry, K. B. (2006). Foraging Ecology of Pileated Woodpeckers in Coastal Forests of Washington. *The Journal of Wildlife Management*, 70(5): 1266-1275.
- Ranc, N., Moorcroft, P. R., Hansen, K. W., Ossi, F., Sforza, T., Ferraro, E., Brugnoli, A. et Cagnacci, F. (2020). Preference and familiarity mediate spatial responses of a large herbivore to experimental manipulation of resource availability. *Scientific reports*, 10(1): 1-11.
- Renken, R. et Wiggers, E. (1993). Habitat Characteristics Related to Pileated Woodpecker Densities in Missouri. *The Wilson Bulletin*, 105(1): 77-83.
- Sanders, C. J. (1964). The biology of carpenter ants in New Brunswick. *The Canadian entomologist*, 96(6): 894-909.
- Savignac, C., Huot, J. et Desrochers, A. (1996). Validation de l'indice de qualité de l'habitat du grand pic (*Dryocopus pileatus*) en Mauricie. *Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction générale de la ressource faunique et des parcs*, 61p.
- Savignac, C., Desrochers, A. et Huot, J. (2000). Habitat use by pileated woodpeckers at two spatial scales in eastern Canada. *Canadian Journal of Zoology*, 78(2): 219-225.
- Shackelford, C. et Conner, R. (1997). Woodpecker Abundance and Habitat Use in Three Forest in Eastern Texas. *The Wilson Bulletin*, 109(4): 614-629.
- Smith, T. M. et Shugart, H. H. (1987). Territory size variation in the ovenbird: the role of habitat structure. *Ecology*, 68(3): 695-704.
- Thorn, S., Chao, A., Georgiev, K. B., Müller, J., Bäessler, C., Campbell, J. L., Castro, J., Chen, Y. H., Choi, C. Y., Cobb, T., Donato, D. C., Durska, E., Macdonald, E., Feldhaar, H., Fontaine, J. B., Fornwalt, P. J., Hernández, R. M., Hutto, R. L., Koivula, M., Lee, E., Lindenmayer, D.,

- Mikusiński, G., Obrist, M. K., Perlík, M., Rost, J., Waldron, K., Wermelinger, B., Weiß, I., Żmihorski, M. et Leverkus, A. B. (2020). Estimating retention benchmarks for salvage logging to protect biodiversity. *Nature Communication*, 11: 4762.
- Tomasevic, J. A. et Marzluff, J. M. (2018) a. Space use of suburban Pileated Woodpeckers (*Dryocopus pileatus*): Insights on the relationship between home range, core areas, and territory. *Oecologia*, 187(1): 15-23.
- Tomasevic, J. A. et Marzluff, J. M. (2018) b. Use of suburban landscapes by the Pileated Woodpecker (*Dryocopus pileatus*). *The Condor: Ornithological Applications*, 120(4): 727-738.
- Tomasevic, J. A. et Marzluff, J. M. (2020). Roosting, reproduction, and survivorship of Pileated Woodpeckers (*Dryocopus pileatus*) in a suburban setting. *Avian Conservation and Ecology*, 15(1): 13.
- Tremblay, M. F. (2015). Tree Genetic Diversity and Gene Flow in Forest Ecosystems. (Chap. 11) *In Routledge Handbook of Forest Ecology. (Peh, K.S.-H. and Corlett, R.T. and Bergeron, Y., Eds.) Routledge, Oxford, UK.* 656 p.
- Vaillancourt, M., Drapeau, P., Robert, M. et Gauthier, S. (2009). Origin and availability of large cavities for Barrow's Goldeneye (*Bucephala islandica*), a species at risk inhabiting the eastern Canadian boreal forest. *Avian Conservation and Ecology - Écologie et conservation des oiseaux*, 4(1): 6.
- Warde, W. et Petranka, J. W. (1981). A correction factor table for missing point-center quarter data. *Ecology*, 62(2): 491-494.
- Wetterer, J. K. (1989). Central place foraging theory: when load size affects travel time. *Theoretical population biology*, 36(3): 267-280.
- Wiens, J. A., Rotenberry, J. T. et Van Horne, B. (1986). A lesson in the limitations of field experiments: shrubsteppe birds and habitat alteration. *Ecology*, 67(2): 365-376.
- Worboys, G., Francis, W. L. et Lockwood, M. (2010). Connectivity conservation management: a global guide (with particular reference to mountain connectivity conservation). *Earthscan*. 382 p.

1.8 Figures

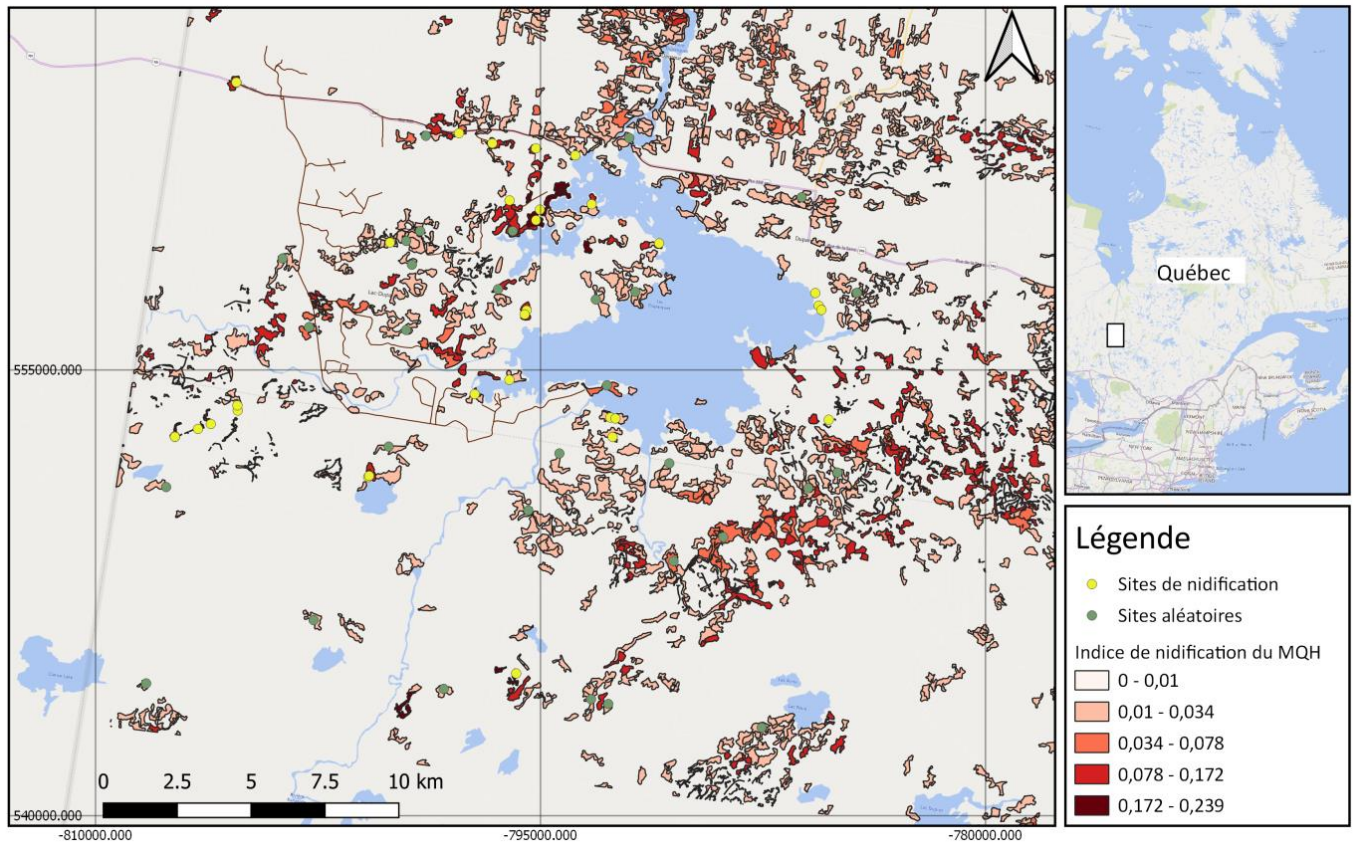


Figure 1.1 : Carte de la zone d'étude ainsi que de la distribution des sites de nidification de Grand Pic répertoriés depuis 2003 et des sites aléatoires. Les polygones de différentes couleurs représentent les peuplements forestiers issus des cartes écoforestières. Leur coloration fait référence à l'estimation du nombre de cavités retrouvées à l'hectare par l'indice de nidification du modèle de qualité d'habitats de Cadieux *et al.* (2019). Les peuplements ayant un indice de « 0-0.01 cavités à l'hectare » ont été retirés de la carte afin de faciliter sa lecture, puisqu'ils remplissent l'ensemble des espaces vides.

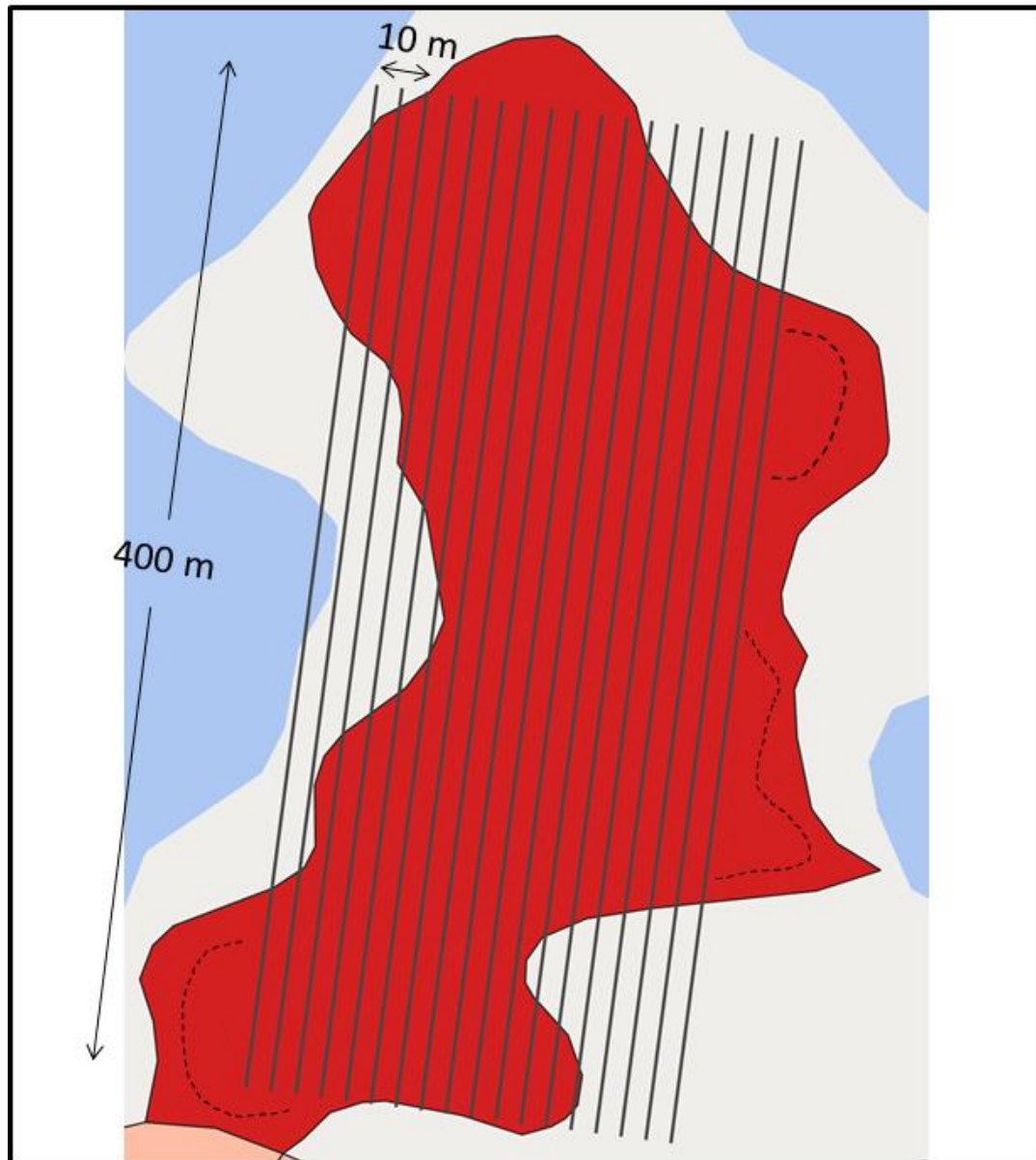


Figure 1.2 : Exemple de la procédure de recherche de cavités de nidification et d’excavations d’alimentation durant les saisons de terrain 2020 et 2021. Le polygone rouge représente un peuplement forestier et les lignes noires représentent les lignes suivies par les observateurs durant les battues. Les observateurs étaient positionnés de manière à suivre des lignes espacées de 10 mètres et étaient responsables de couvrir une zone de visuel de 5 m de chaque côté. Lorsque les dimensions des peuplements étaient irrégulières, les observateurs devaient couvrir les zones non couvertes par les lignes de battues en se fiant à la carte des peuplements intégrés à leur GPS, représentée par les lignes pointillées. Les lignes de battues n’étaient marchées qu’une seule fois par souci d’efficacité et parce que les observateurs étaient expérimentés en détection de cavités.

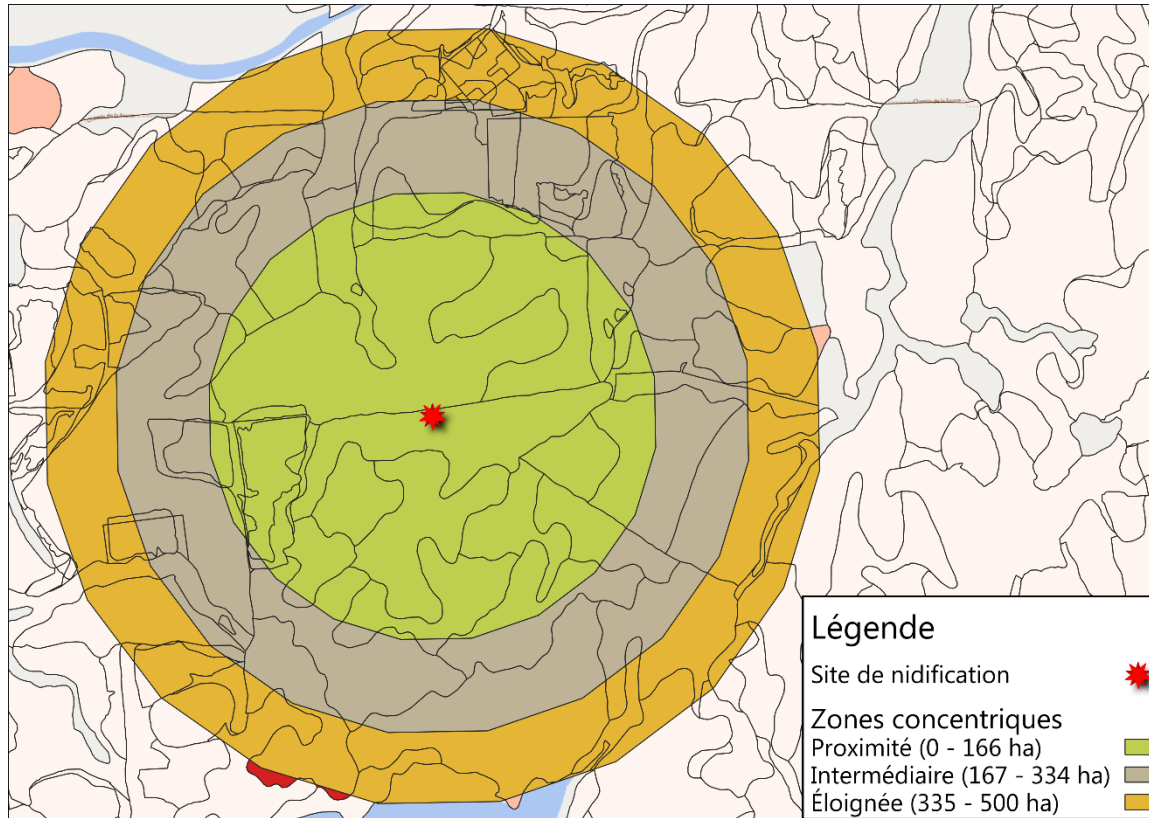


Figure 1.3 : Représentation des zones concentriques de superficie de 166,66 hectares issues de la subdivision des domaines vitaux théoriques de 500 hectares en 3 zones de superficies équivalentes. Ces zones ont été circonscrites autour de l'ensemble des sites de nidification et de sites aléatoires pour les analyses à l'échelle du paysage. La superficie des différents peuplements forestiers, représentés par les contours des polygones irréguliers, dans chacune des zones concentriques fut ajustée en fonction de la portion présente dans les zones concentriques. Les valeurs entre les parenthèses des zones concentriques dans la légende ont été arrondies pour simplifier la distinction des zones.

1.9 Tableaux

Tableau 1.1 : Comparaison de territoires de 500 hectares de Grand Pic en forêt boréale mixte utilisés (nids) et non utilisés (sites aléatoires) par le Grand Pic quant à la densité d'arbres propices à l'excavation de cavités de Grand Pic dans la région de la Forêt d'enseignement et de recherche du lac Duparquet en Abitibi-Témiscamingue, Québec.

Densité d'arbres propices pour la nidification	Type de site	Moyenne (%)	Écart-type	Valeur t
Nulle (0-0,01 ^a)	Aléatoire	77,45	13,35	3.243
	Site de nidification	85,61	9,48	
Faible (0,01-0,034)	Aléatoire	17,19	12,62	-3.386
	Site de nidification	7,83	7,83	
Moyenne (0,034-0,078)	Aléatoire	2,39	5,92	-1.754
	Site de nidification	0,72	1,85	
Élevé (0,078-0,172)	Aléatoire	1,99	4,32	2.157
	Site de nidification	3,50	4,47	
Très Élevé (0,172-0,239)	Aléatoire	0,18	0,91	2.373
	Site de nidification	1,20	3,20	

Légende : ^a = nombre d'arbres propices à l'excavation de cavités estimé à l'hectare par le modèle de qualité d'habitat de Cadieux *et al.* (2019)

Tableau 1.2 : Comparaison de la répartition des peuplements propices à la nidification du Grand Pic trouvés entre 2003 et 2021 en Abitibi-Témiscamingue en fonction de 3 classes de distances par rapport aux nids. Les tests de Tukey ont été réalisés avec un seuil de signification de $p < 0,05$.

Densité des arbres propices à la nidification	Superficie autour des nids (ha)	Moyenne (%)	Écart-Type	Groupe de Tukey
Nulle (0-0,01 ^a)	0 - 166	83.12	9.26	A
	167- 334	87.06	9.76	B
	335- 500	86.64	9.22	B
Faible (0,01-0,034)	166	9,23	8,97	Non significatif
	332	7,81	8,21	
	500	8,41	6,37	
Moyenne (0,034-0,078)	166	0,28	1,07	Non significatif
	332	0,58	1,43	
	500	1,28	2,58	
Élevée (0,078-0,172)	166	4,49	4,44	A
	332	3,06	5,24	B
	500	2,95	4,51	B
Très élevée (0,172-0,239)	166	1,83	4,79	Non significatif
	332	0,74	1,62	
	500	0,96	2,30	

Légende : ^a = nombre d'arbres propices à l'excavation de cavités estimé à l'hectare par le modèle de qualité d'habitat de Cadieux *et al.* (2019)

Tableau 1.3 : Comparaison de la densité moyenne de tiges (> 20 cm de DHP) propices à l'excavation d'une cavité de nidification par le Grand Pic à différentes distances de 5 sites de nidification trouvés en 2020 en forêt boréale mixte de l'Abitibi-Témiscamingue, Québec. Les tests de Tukey ont été réalisés avec un seuil de signification de $p < 0,05$.

Distance des placettes par rapport aux nids	Densité moyenne (tiges à l'hectare)	Écart-Type	Groupe de Tukey
Proximité	539	1343,45	A
Intermédiaire	246,5	944,18	AB
Éloigné	76,44	388,38	B

Tableau 1.4 : Comparaison au sein de 250 placettes d'échantillonnage de la densité moyenne de tiges propices à l'alimentation (> 20 cm de DHP) du Grand Pic à différentes distances de 5 sites de nidification actifs en 2020 en forêt boréale mixte de l'Abitibi-Témiscamingue, Québec. Les tests de Tukey ont été réalisés avec un seuil de signification de $p < 0,05$.

Distance des placettes par rapport aux nids	Densité moyenne (tiges à l'hectare)	Écart-Type	Groupe de Tukey
Proximité	1374,82	2125,64	A
Intermédiaire	716,24	1536,76	B
Éloigné	641,45	1420,75	B

CONCLUSION GÉNÉRALE

La présente étude avait pour objectif de mieux comprendre les facteurs associés à la sélection de l'habitat pour l'établissement des territoires du Grand Pic en forêt boréale mixte de l'ouest du Québec. Deux saisons de cueillette de données (étés 2020 et 2021) orientées sur la recherche de sites de nidification et d'excavations d'alimentation du Grand Pic ont permis de bonifier une base de données réunissant les données récoltées sur la nidification des pics de plusieurs travaux menés depuis 2003 sur notre site d'étude (Gasse, 2007; Cadieux, 2011, 2017; Ouellet-Lapointe, *et al.*, 2012; Bédard, 2013; Nappi *et al.*, 2015; Plouffe-Leboeuf, 2016; Antaya, 2019; Cadieux *et al.*, 2023). À l'aide d'un modèle empirique de qualité d'habitat basé sur nos connaissances des arbres de reproduction du Grand Pic pour notre secteur d'étude (Cadieux, 2017), il a ensuite été possible de mesurer la sélection des peuplements forestiers faite à l'échelle de la mosaïque des paysages forestiers par l'espèce et la sélection fine des ressources que sont les arbres propices à l'alimentation et à la reproduction à l'intérieur de domaines d'activités estimés (basés sur la littérature) des couples nicheurs actifs recensés en 2020.

2.1 L'importance des peuplements propices à la nidification du Grand Pic

Nos résultats montrent que les Grands Pics établissent leurs sites de nidification, et en corolaire leurs domaines d'activités, au sein de peuplements forestiers mixtes matures et âgés comportant une forte densité d'arbres propices à leur reproduction. Qui plus est, la superficie relative de ces peuplements forestiers de qualité est plus élevée à proximité des sites de nidification et diminue à mesure qu'on s'en éloigne. Nos inventaires sur le terrain montrent également que les arbres propices à la reproduction et à l'alimentation de l'espèce sont plus abondants à proximité des sites de nidification qu'en périphérie des domaines d'activités des couples nicheurs actifs. Les cavités excavées par les Grands Pics étant essentielles pour leur reproduction et leurs activités diurnes (Bonar, 2001; Hartwig *et al.*, 2004), elles sont retrouvées presque exclusivement dans de gros peupliers faux-trembles sénescents infectés par la carie blanche du peuplier (*Phellinus tremulae*) dans les forêts boréales mixtes matures et âgées (Bonar, 2001; Martin *et al.*, 2004; Vaillancourt *et al.*, 2009; Cadieux, 2011, 2017; Cooke et Hannon, 2012). Ces conditions spécifiques des arbres de reproduction sont principalement retrouvées dans les peuplements forestiers mixtes matures et âgés qui sont peu abondants dans notre territoire d'étude. Cela fait en sorte que les arbres propices à la nidification du Grand Pic sont un facteur limitant fondamental à l'établissement d'un couple nicheur sur un territoire (Newton, 1994; Cadieux, 2017). Dans notre territoire d'étude, l'utilisation par le Grand Pic de sites de nidification dans des peuplements forestiers contenant davantage d'arbres propices à l'excavation de cavités de même que la répartition agrégée de ces

peuplements autour des sites de nidification indique que, malgré la faible disponibilité de ces peuplements, le Grand Pic a une forte capacité à sélectionner les meilleures conditions d'habitat pour y établir son domaine d'activités. La préservation de peuplements forestiers mixtes matures devrait ainsi être considérée dans les plans d'aménagement forestier pour protéger l'habitat du Grand Pic et, par ricochet, celui des autres espèces cavicoles qui utilisent ses cavités. Nos travaux menés sur les réseaux d'utilisateurs de cavités (Cadieux, 2011, 2017; Ouellet-Lapointe *et al.*, 2012; Drapeau et Cadieux, 2016) confirment d'ailleurs que la protection de peuplements à haute densité d'arbres pouvant accueillir des cavités de Grand Pic permet à un nombre important d'utilisateurs secondaires de grandes cavités de mener leurs activités de reproduction, des couples nicheurs de plusieurs espèces cavicoles ayant été observés plusieurs fois dans des cavités creusées initialement par le Grand Pic (Cadieux, 2011, 2017; Drapeau *et al.*, 2016).

Par ailleurs, les peuplements âgés présentant une plus faible densité de peupliers faux-trembles sénescents peuvent aussi permettre l'établissement d'un couple nicheur de Grand Pic. Ces peuplements sont généralement plus hétérogènes et il est nécessaire de visiter ceux-ci pour s'assurer qu'ils disposent réellement d'arbres adéquats pour la nidification du Grand Pic dans le contexte d'un aménagement forestier qui vise la protection d'habitats favorisant cette espèce. Cette démarche est d'autant nécessaire si l'on vise la conservation d'une fraction du peuplement, pour en faire un habitat résiduel après coupe par exemple, de manière à localiser les structures d'importance et à ajuster l'aménagement en conséquence afin de réellement atteindre les objectifs de conservation de l'habitat du Grand Pic en territoire aménagé.

2.2 Travaux futurs et recommandations

Bien que les processus de sélection de l'habitat puissent être observés par l'occurrence disproportionnée de caractéristiques de l'habitat autour des sites de nidification, cette méthode ne permet pas de dresser un portrait complet des mécanismes de sélection d'habitats du Grand Pic. Ainsi, il faudra dans le futur poursuivre les efforts de recherche de sites de nidification et instaurer un protocole de capture et de baguage pour faire le suivi à long terme de la population de Grand Pic qui occupe notre site d'étude. Les suivis de nidification des nids répertoriés dans les prochaines années pourraient permettre d'évaluer le succès reproducteur des individus et mettre ce paramètre démographique en relation avec la qualité de l'habitat à l'intérieur des domaines d'activités estimés.

Lorsque possible, le suivi télémétrique des individus devrait aussi être envisagé (Savignac *et al.*, 2000). En plus de permettre de circonscrire les limites du domaine d'activités des individus, les données télémétriques permettront de déterminer avec précisions les secteurs essentiels (core area) et la fréquence

d'utilisation des différents types d'habitats (Cagnacci *et al.*, 2010; Hebblewhite et Haydon, 2010; Tomasevic et Marzluff, 2018b). De plus, l'échantillonnage des sites utilisés par les individus suivis permettra de raffiner notre base de données par rapport aux substrats d'alimentation et de nidification sélectionnés par le Grand Pic à l'intérieur de leurs domaines d'activités. Ultiment, ces informations quant aux processus de sélection d'habitats aux différentes échelles spatiales permettront de créer un modèle prévisionnel de l'occupation de l'espace, applicable à la forêt boréale mixte, qui inclura l'identification de la qualité et de l'utilité des peuplements forestiers pour l'espèce.

Pour terminer, l'intensification des activités de foresterie, qui a favorisé l'augmentation de la proportion de jeunes forêts et la diminution des forêts matures et âgées de plus de 100 ans, est au cœur des changements du couvert forestier observé au Québec (Bergeron *et al.*, 2002; Drapeau *et al.*, 2009) et est responsable du déclin de l'habitat de plusieurs espèces d'oiseaux, dont les oiseaux cavicoles (Regos *et al.*, 2018). Pourtant, les forêts matures et âgées jouent des rôles écologiques de grande importance, autant en termes de services écologiques que pour le maintien de la biodiversité (Kneeshaw et Gauthier, 2003; Drapeau *et al.*, 2009; Drapeau *et al.*, 2016; Cadieux, 2017; Mendia *et al.*, 2019; Cadieux *et al.*, 2023). Les résultats de notre étude sur la sélection de l'habitat du Grand Pic, viennent une fois de plus réitérer l'importance d'augmenter dans les paysages aménagés la représentation des forêts matures et âgées en conservant d'une part de grands massifs de forêts matures (Maxwell *et al.*, 2016; Scheffers *et al.*, 2016; Titeux *et al.*, 2016, 2017; Chaudhary et Mooers, 2018; Newbold, 2018; IPBES, 2019) et en déployant des pratiques sylvicoles de récolte ligneuse sous couvert forestier où les arbres matures et sénescents sont maintenus sur plusieurs rotations permettant leur recrutement continu pour les espèces qui y sont associées, dont le Grand Pic (Bergeron *et al.*, 2002; Kneeshaw et Gauthier, 2003; Gauthier *et al.*, 2008; Drapeau *et al.*, 2016). Enfin, assurer le maintien d'une meilleure représentation des forêts matures et âgées risque d'être une clé pour la résilience future des forêts aux changements climatiques alors que la crise de la biodiversité est de plus en plus associée à la crise des changements climatiques (Gauthier *et al.*, 2016; IPBES, 2019; Drapeau *et al.*, 2022).

ANNEXE A : FIGURES DE L'INTRODUCTION GÉNÉRALE

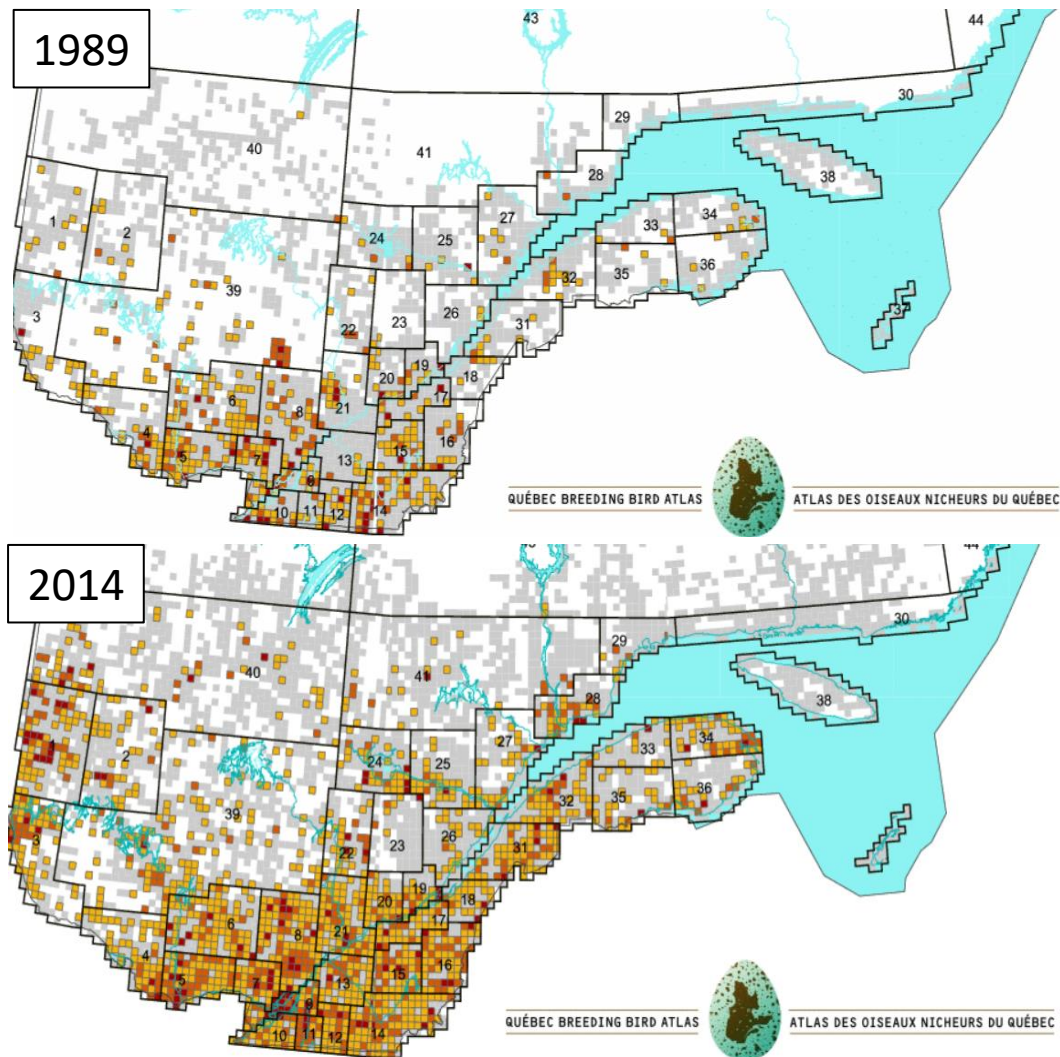


Figure 0.1 : Comparaison de la répartition du Grand Pic au Québec entre le premier (1984-1989) et le deuxième (2010-2014) recensement des oiseaux nicheurs de la province du Québec. La coloration des carrés représente la probabilité de nidification d'un grand pic dans la zone : le rouge indique une nidification confirmée; l'orange indique une nidification probable; le jaune indique une nidification possible; le gris indique que l'espèce n'a pas été observée et le blanc indique une zone non visitée. Les cartes ont été récupérées des atlas des oiseaux nicheurs du Québec (Gauthier et Aubry, 1995; Robert *et al.*, 2019).

ANNEXE B : TABLEAU DE L'INTRODUCTION GÉNÉRALE

Tableau 0.1 : Estimations du domaine vital du Grand Pic et informations complémentaires des travaux retrouvés dans la littérature.

Lieux	Nombre d'individus suivis	Durée des suivis	Taille moyenne des domaines vitaux	Période	Note	Auteur.es
Oregon	14	5-10 mois	407 (321–630) ha	Annuel	Les 2 membres de 7 nids.	Bull et Holthausen, 1993
Oregon	9	5-10mois	597 (200–1,464) ha	Annuel	Oiseaux seuls ou si leur partenaire est mort dans les 3 premiers mois du suivi.	Bull et Holthausen, 1993
Oregon	11	3 mois	478 (267–1,056) ha – MCP	Nidification	Les 2 membres de 7 nids où 3 individus ont perdu leur émetteur.	Mellen <i>et al.</i> , 1992
Missouri	13	½ - 2 mois	87.5 (52.9–160.1) ha – MCP	Nidification	1 des deux membres de 12 nids, sauf pour un site de nidification où les deux membres ont été capturés.	Renken et Wiggers, 1989
Alberta	32	1-3 ans	1,360.2 (299–3,185) ha – MCP 186.4 (11-596) ha – MCP	Annuel Nidification	14 territoires suivis où les 2 membres des couples étaient suivis. Les membres qui mourraient étaient remplacés par les nouveaux partenaires.	Bonar, 2001
Arkansas	41	15 jours - 2 ans	46.3 (19.6–115.1) ha – Fixe 95% Kernel 45.7 (12.8-147.8) ha – MCP	Non indiqué	Individus avec un territoire établi.	Noel, 2011
Arkansas	7	4 ans	1208.1 (158.3–5527.) ha – 95% fixed kernel	Non indiqué	Individu en dispersion ou « floater ».	Noel, 2011
Québec (Mauricie)	3	2-3 mois	249.3 (178-313) ha – MCP 95%	Nidification		Savignac <i>et al.</i> , 1996
Washington (Seattle)	13	11-14 mois	178 +/- 29 – MPC 292.6 +/- 37.2 – Fixed-Kernel	Annuel		Tomasevic et Marzluff, 2018b
California (The Hoopa Valley Reservation)	9	1 an	210 +/-20.3 ha – MPC 244 +/- 29.3 ka – Kernel Density Estimates	Annuel		Blake, 2018

RÉFÉRENCES CITÉES DANS L'INTRODUCTION ET LA CONCLUSION GÉNÉRALE

- Antaya, A. (2019). La connectivité de l'habitat du Grand Pic (*Dryocopus pileatus*) favorise-t-elle son occupation dans un paysage agroforestier boréal? *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal.* 126 p.
- Aubry, K. B. et Raley, C. M. (2002) a. The pileated woodpecker as a keystone habitat modifier in the Pacific Northwest. *USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-181*, 257-274.
- Aubry, K. B. et Raley, C. M. (2002) b. Selection of nest and roost trees by pileated woodpeckers in coastal forests of Washington. *The Journal of wildlife management*, 66(2): 392-406.
- Avgar, T, Betini, G. et Fryxell, J. M. (2020). Habitat selection patterns are density dependent under the ideal free distribution. *Journal of Animal Ecology*, 89(12): 2777-2787.
- Blake, D. M. (2018). Foraging habitat of pileated woodpeckers in relation to a managed landscape on the Hoopa Valley reservation, Northwestern California. *M. Sc. Thesis. Humboldt State University, Arcata.* 77 p.
- Beckwith, R. C. et Bull, E. L. (1985). Scat analysis of the arthropod component of pileated woodpecker diet. *The Murrelet*, 66(3): 90-92.
- Bédard, S. (2013). Qualité des parcelles d'habitat résiduel des paysages aménagés en forêt boréale mixte pour la reproduction et l'alimentation du Pic Maculé (*Sphyrapicus varius*). *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal.* 132 p.
- Bergeron, Y., Leduc, A., Harvey, B. H. et Gauthier, S. (2002). Natural fire regime: a guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva Fennica*, 36: 81-95.
- Bledsoe, E. K. et Ernest, S. M. (2019). Temporal changes in species composition affect a ubiquitous species' use of habitat patches. *Ecology*, 100(11): e02869.
- Bonar, R. L. (2001). Pileated Woodpecker habitat ecology in the Alberta foothills. *PhD Thesis. University of Alberta Edmonton.* Edmonton. 84 p.
- Bull, E. L. (1987). Ecology of the pileated woodpecker in northeastern Oregon. *The Journal of wildlife management*, 51(2): 472-481.
- Bull, E. L., Beckwith, R. C. et Holthausen, R. S. (1992) a. Arthropod diet of pileated woodpeckers in northeastern Oregon. *Northwestern Naturalist*, 73(2): 42-45.
- Bull, E. L., Holthausen, R. S. et Henjum, M. G. (1992) b. Roost trees used by pileated woodpeckers in northeastern Oregon. *The Journal of wildlife management*, 64(4): 786-793.
- Bull, E. L. et Holthausen, R. S. (1993). Habitat use and management of pileated woodpeckers in northeastern Oregon. *The Journal of wildlife management*, 57(2): 335-345.
- Bull, E. L. et Jackson, J. A. (2011). Pileated Woodpecker (*Dryocopus pileatus*), version 2.0. In *The Birds of North America* (A. F. Poole, Editor). *Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA.* <https://doi.org/10.2173/bna.148>
- Bull, E. L. et Meslow, E. C. (1988). Breeding biology of the pileated woodpecker: management implications (Vol. 474). *US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.* 8 p.

- Bunnell, F. L. (2013). Sustaining cavity-using species: patterns of cavity use and implications to forest management. *International Scholarly Research Notices*.
- Burt, W. H. (1943). Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of mammalogy*, 24(3): 346-352.
- Bush, P. G., Naylor, B. J. et Duinker, P. N. (2009). Characteristics of habitat used by pileated woodpeckers in Great Lakes–St. Lawrence forest region of Ontario. *Prairie Perspectives*, 12: 97-114.
- Cadieux, P. (2011). Dynamique de la faune cavicole le long d'un gradient d'âge en forêt boréale mixte de l'est de l'Amérique du Nord. *M. Sc. Thèse. Université du Québec à Montréal. Montréal*. 85 p.
- Cadieux, P. (2017). Diversité et fonction de la faune cavicole à la transition de la forêt boréale mixte et résineuse de l'est du Canada. *PhD Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal*. 196 p.
- Cadieux, P., Drapeau, P., Ouellet-Lapointe, U., Leduc, A., Imbeau, L., Deschênes, R. et Nappi, A. (2023). Old forest structural development drives complexity of nest webs in a naturally disturbed boreal mixedwood forest landscape. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6:1084696. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1084696>
- Cagnacci, F., Boitani, L., Powell, R. A. et Boyce, M. S. (2010). Animal ecology meets GPS-based radiotelemetry: a perfect storm of opportunities and challenges. *Philosophical transaction of the royal society*, 365: 2157-2162.
- Chaudhary, A. et Mooers, A. O. (2018). Terrestrial vertebrate biodiversity loss under future global land use change scenarios. *Sustainability*, 10(8): 2764.
- Cheveau, M. (2015). Démarche ayant mené à la sélection des espèces sensibles à l'aménagement forestier d'intérêt provincial. *Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Gouvernement du Québec*, 16 p.
- Cockle, K. L., Martin, K., et Wesołowski, T. (2011). Woodpeckers, decay, and the future of cavity-nesting vertebrate communities worldwide. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(7): 377-382.
- Conner, R. N., Hooper, R. G., Crawford, H. S. et Mosby, H. S. (1975). Woodpecker nesting habitat in cut and uncut woodlands in Virginia. *The Journal of Wildlife Management*, 39(1): 144-150.
- Cooke, H. A. et Hannon, S. J. (2012). Nest-site selection by old boreal forest cavity excavators as a basis for structural retention guidelines in spatially-aggregated harvests. *Forest Ecology and Management*, 269: 37-51.
- The Cornell Lab (2019). Pileated Woodpecker: Range Map. Consulté le 8 mai 2022. Récupéré de https://www.allaboutbirds.org/guide/Pileated_Woodpecker/maps-range
- Dahle, B., Støen, O. G. et Swenson, J. E. (2006). Factors influencing home-range size in subadult brown bears. *Journal of Mammalogy*, 87(5): 859-865.
- Drapeau, P., Nappi, A., Imbeau, L. et Saint-Germain, M. (2009). Standing deadwood for keystone bird species in the eastern boreal forest: managing for snag dynamics. *The Forestry Chronicle*, 85(2): 227-234.
- Drapeau, P., Villard, M. A., Leduc, A. et Hannon, S. J. (2016). Natural disturbance regimes as templates for the response of bird species assemblages to contemporary forest management. *Diversity and Distributions*, 22(4): 385-399.
- Drapeau, P., Leduc, A., Gauthier, S., Boulanger, Y., Kneeshaw, D. et Bergeron, Y. (2022). L'avenir incertain de la forêt boréale commerciale et de sa biodiversité dans un contexte de changements climatiques; le rôle clé des forêts âgées. Chapitre 5, *In Une économie écologique pour le Québec :*

- comment opérationnaliser une nécessaire transition. Dupras, J., Bissonnette, J.-F., et Zaga Mendez, A. (éditeurs). *Presses de l'Université du Québec (PUQ)*. Pages, 105–132.
- Duncan, C., Nilsen, E. B., Linnell, J. D. et Pettorelli, N. (2015). Life-history attributes and resource dynamics determine intraspecific home-range sizes in Carnivora. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 1(1): 39-50.
- Edworthy, A. B., Trzcinski, M. K., Cockle, K. L., Wiebe, K. L. et Martin, K. (2018). Tree cavity occupancy by nesting vertebrates across cavity age. *The Journal of Wildlife Management*, 82(3): 639-648.
- Erskine, A. J. (2008). Pileated Woodpeckers, *Dryocopus pileatus*, foraging in suburban habitats in New Brunswick. *The Canadian Field-Naturalist*, 122(3): 226-229.
- Flemming, S. P., Holloway, G. L., Watts, E. J. et Lawrance, P. S. (1999). Characteristics of foraging trees selected by pileated woodpeckers in New Brunswick. *The Journal of wildlife management*, 63(2): 461-469.
- Franzblau, M. A. et Collins, J. P. (1980). Test of a hypothesis of territory regulation in an insectivorous bird by experimentally increasing prey abundance. *Oecologia*, 46(2): 164-170.
- Gasse, A. (2007). Importance des arbres de grande taille en forêt boréale mixte sur la distribution des oiseaux cavicoles ainsi que sur les patrons d'alimentation du Grand Pic (*Dryocopus pileatus*). *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal*. 102 p.
- Gauthier, J. et Aubry, Y. (1995). Les oiseaux nicheurs du Québec: Atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional. *Association québécoise des groupes d'ornithologues, Société québécoise de protection des oiseaux et le Service canadien de la faune, Environnement Canada, région du Québec*. 1295 p.
- Gauthier, S., Vaillancourt, M. A., Leduc, A., Grandpré, L., Kneeshaw, D., Morin, H., Drapeau, P. et Bergeron, Y. (2008). Aménagement écosystémique en forêt boréale. *Presses de l'Université du Québec, Québec, Canada*. 604 p.
- Gauthier, S., Bernier, P., Kuuvulainen, T., Shvidenko, A. Z. et Schepaschenko, D. G. (2015). Boreal forest health and global change. *Science*, 349: 819–822.
- Gouvernement du Canada (2021) a. Oiseaux protégés au Canada. Consulté le 24 Novembre. Récupéré de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/protection-legale-oiseaux-migrateurs/liste.html>
- Gouvernement du Québec (2021) b. Les aires protégées au Québec. (En ligne) Consulté le 24 Novembre 2021. Récupéré de : https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/aires_quebec.htm#reseau
- Gregory, T. (2017). Home range estimation. *The International encyclopedia of primatology*, 1-4.
- Hansen, B. B., Herfindal, I., Aanes, R., Sæther, B.-E. et Henriksen, S. (2009). Functional response in habitat selection and the tradeoffs between foraging niche components in a large herbivore. *Oikos*, 118: 859–872.
- Harestad, A. S. et Bunnell, F. L. (1979). Home Range and Body Weight-A Reevaluation. *Ecology*, 60(2): 389-402.
- Hartwig, C. L., Eastman, D. S. et Harestad, A. S. (2004). Characteristics of pileated woodpecker (*Dryocopus pileatus*) cavity trees and their patches on southeastern Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 187(2-3): 225-234.
- Haugen, A. O. (1942). Home range of the cottontail rabbit. *Ecology*, 23(3): 354-367.

- Hayne, D. W. (1949). Calculation of size of home range. *Journal of mammalogy*, 30(1): 1-18.
- Hebblewhite, M. et Haydon, D. T. (2010). Distinguishing technology from biology: a critical review of the use of GPS telemetry data in ecology. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1550): 2303-2312.
- Herfindal, I., Linnell, J. D., Odden, J., Nilsen, E. B. et Andersen, R. (2005). Prey density, environmental productivity and home-range size in the Eurasian lynx (*Lynx lynx*). *Journal of Zoology*, 265(1): 63-71.
- Hoyt, S. F. (1957). The ecology of the pileated woodpecker. *Ecology*, 38(2): 246-256.
- IPBES (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. *IPBES secretariat, Bonn, Germany*. 56 p.
- Imbeau, L., Mönkkönen, M. et Desrochers, A. (2001). Long-term effects of forestry on birds of the eastern Canadian boreal forests: a comparison with Fennoscandia. *Conservation Biology*, 15(4): 1151-1162.
- Johnson, D. H. (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, 61(1): 65-71.
- Johnson, M. D. (2007). Measuring habitat quality: a review. *The Condor*, 109(3): 489-504.
- Jones, J. (2001). Habitat selection studies in avian ecology: a critical review. *The auk*, 118(2): 557-562.
- Kellam, J. S. (2003). Pair bond maintenance in Pileated Woodpeckers at roost sites during autumn. *The Wilson Bulletin*, 115(2): 186-192.
- Kilham, L. (1959). Behavior and methods of communication of Pileated Woodpeckers. *The Condor*, 61(6): 377-387.
- Kilham, L. (1976). Winter foraging and associated behavior of Pileated Woodpeckers in Georgia and Florida. *The Auk*, 93(1): 15-24.
- Kneeshaw, D. et Gauthier, S. (2003). Old growth in the boreal forest: a dynamic perspective at the stand and landscape level. *Environmental reviews*, 11(S1): S99-S114.
- Kodric-Brown, A. et Brown, J. H. (1978). Influence of economics, interspecific competition, and sexual dimorphism on territoriality of migrant rufous hummingbirds. *Ecology*, 59(2): 285-296.
- Lafleur, P.-É. et Blanchette, P. (1993). Développement d'un indice de qualité de l'habitat pour le Grand Pic (*Dryocopus pileatus* L.) au Québec. *Gouvernement du Québec, Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction générale de la ressource faunique, Gestion intégrée des ressources, document technique*. 36 p.
- Lafontaine, A., Drapeau, P., Fortin, D. et St-Laurent, M. H. (2017). Many places called home: the adaptive value of seasonal adjustments in range fidelity. *Journal of Animal Ecology*, 86(3): 624-633.
- Lemaître, J. et Villard, M. A. (2005). Foraging patterns of pileated woodpeckers in a managed Acadian forest: a resource selection function. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(10): 2387-2393.
- Lesmerises, R. et St-Laurent, M. H. (2017). Not accounting for interindividual variability can mask habitat selection patterns: a case study on black bears. *Oecologia*, 185(3): 415-425.
- Lima, S. L. (1993). Ecological and evolutionary perspectives on escape from predatory attack: a survey of North American birds. *The Wilson Bulletin*, 105(1): 1-47.
- Martin, K., Aitken, K. et Wiebe, K. (2004). Nest Sites And Nest Webs For Cavity-Nesting Communities In Interior British Columbia, Canada: Nest Characteristics And Niche Partitioning. *The Condor*, 106: 5-19.

- Martin, K. et Eadie, J. M. (1999). Nest webs: a community-wide approach to the management and conservation of cavity-nesting forest birds. *Forest Ecology and Management*, 115(2-3): 243-257.
- Massei, G., Genov, P. V., Staines, B. W. et Gorman, M. L. (1997). Factors influencing home range and activity of wild boar (*Sus scrofa*) in a Mediterranean coastal area. *Journal of Zoology*, 242(3): 411-423.
- Maxwell, S. L., Fuller, R. A., Brooks, T. M. et Watson, J. E. (2016). Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature News*, 536(7615): 143.
- Mayor, S. J., Schneider, D. C., Schaefer, J. A. et Mahoney, S. P. (2009). Habitat selection at multiple scales. *Ecoscience*, 16(2): 238-247.
- McLoughlin, P. D. et Ferguson, S. H. (2000). A hierarchical pattern of limiting factors helps explain variation in home range size. *Ecoscience*, 7(2): 123-130.
- McLoughlin, P. D., Morris, D. W., Fortin, D., Vander Wal, E. et Contasti, A. L. (2010). Considering ecological dynamics in resource selection functions. *Journal of animal ecology*, 79(1): 4-12.
- McNab, B. K. (1963). Bioenergetics and the determination of home range size. *The American Naturalist*, 97(894): 133-140.
- Mellen, T. K. (1987). Home range and habitat use of pileated woodpeckers, western Oregon. *PhD Thesis. Oregon State University*, 107 p.
- Mellen, T. K., Meslow, E. C. et Mannan, R. W. (1992). Summertime home range and habitat use of pileated woodpeckers in western Oregon. *The Journal of wildlife management*, 56(1): 96-103.
- Mendia, S. M., Johnson, M. D. et Higley, J. M. (2019). Ecosystem services and disservices of bear foraging on managed timberlands. *Ecosphere*, 10(7): e02816.
- MFFP. (2015). Stratégies d'aménagement durable des forêts. *Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs*. 56 p.
- Morris, D. W. (1987). Tests of density-dependent habitat selection in a patchy environment. *Ecological Monographs*, 57(4): 269-281.
- Nappi, A., Drapeau, P. et Leduc, A. (2015). How important is dead wood for woodpeckers foraging in eastern North American boreal forests? *Forest Ecology and Management*, 346: 10-21.
- Newbold, T. (2018). Future effects of climate and land-use change on terrestrial vertebrate community diversity under different scenarios. *Proceedings of the Royal Society B*, 285(1881): 20180792.
- Newell, P. J. (2008). Pileated woodpeckers (*Dryocopus pileatus*) and saproxylic beetles in partial cut and uncut bottomland hardwood forests. *M. Sc. Thesis. Louisiana State University. Louisiana*. 103 p.
- Newell, P., King, S. et Kaller, M. (2009). Foraging behavior of Pileated Woodpeckers in partial cut and uncut bottomland hardwood forest. *Forest Ecology and Management*, 258(7): 1456-1464.
- Newton, I. (1994). The role of nest sites in limiting the numbers of hole-nesting birds: a review. *Biological conservation*, 70(3): 265-276.
- Noel, B. L. (2011). Breeding ecology of the Pileated Woodpecker (*Dryocopus pileatus*) in bottomland forests of eastern Arkansas, with reference to the conservation of the Ivory-billed Woodpecker (*Campephilus principalis*). *PhD Thesis. Arkansas State University*. 312 p.
- Ouellet-Lapointe, U. (2010). Le maintien des espèces cavicoles dans les paysages aménagés en forêt boréale mixte de l'est du Canada. *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal*. 89 p.
- Ouellet-Lapointe, U., Drapeau, P., Cadieux, P. et Imbeau, L. (2012). Woodpecker excavations suitability for and occupancy by cavity users in the boreal mixedwood forest of eastern Canada. *Ecoscience*, 19(4): 391-397.

- Piper, W. H. (2011). Making habitat selection more “familiar”: a review. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 65(7): 1329-1351.
- Plouffe-Leboeuf, A. (2016). Persistance temporelle de l'avifaune cavicole dans les habitats linéaires en forêt boréale aménagée. *M. Sc. Thesis. Université du Québec à Montréal. Montréal*. 152 p.
- Ranc, N., Moorcroft, P. R., Hansen, K. W., Ossi, F., Sforna, T., Ferraro, E., Brugnoli, A. et Cagnacci, F. (2020). Preference and familiarity mediate spatial responses of a large herbivore to experimental manipulation of resource availability. *Scientific reports*, 10(1): 1-11.
- Raley, C. M. et Aubry, K. B. (2006). Foraging ecology of pileated woodpeckers in coastal forests of Washington. *The Journal of Wildlife Management*, 70(5): 1266-1275.
- Regos, A., Imbeau, L., Desrochers, M., Leduc, A., Robert, M., Jobin, B., Brotons, L. et Drapeau, P. (2018). Hindcasting the impacts of land-use changes on bird communities with species distribution models of Bird Atlas data. *Ecological Applications*, 28(7): 1867-1883.
- Renken, R. B. et Wiggers, E. P. (1989). Forest characteristics related to pileated woodpecker territory size in Missouri. *The Condor*, 91(3): 642-652.
- Renken, R. B. et Wiggers, E. P. (1993). Habitat Characteristics Related to Pileated Woodpecker Densities in Missouri. *The Wilson Bulletin*, 105(1): 77-83.
- Robert, M., Hachey, M.-H., Lepage, D. et Couturier, A. R. (2019). Second atlas of the breeding birds of southern Québec. *Regroupement QuébecOiseaux, Canadian Wildlife Service (Environment and Climate Change Canada), and Bird Studies Canada, Montréal, Québec, Canada*. 694 p.
- Rosenzweig, M. L. (1981). A theory of habitat selection. *Ecology*, 62(2): 327-335.
- Samuel, M. D., Pierce, D. J. et Garton, E. O. (1985). Identifying areas of concentrated use within the home range. *The Journal of Animal Ecology*, 54(3): 711-719.
- Savignac, C., Huot, J. et Desrochers, A. (1996). Validation de l'indice de qualité de l'habitat du grand pic (*Dryocopus pileatus*) en Mauricie. Québec. *Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction générale de la ressource faunique et des parcs*, 61p.
- Savignac, C., Desrochers, A. et Huot, J. (2000). Habitat use by pileated woodpeckers at two spatial scales in eastern Canada. *Canadian Journal of Zoology*, 78(2): 219-225.
- Scheffers, B. R., De Meester, L., Bridge, T. C., Hoffmann, A. A., Pandolfi, J. M., Corlett, R. T., Butchart, S. H., Pearce-Kelly, P., Kovacs, K. M., Dudgeon, D., Pacifici, M., Rondinini, C., Foden, W. B., Martin, T. G., Mora, C., Bickford, D. et Watson, J. E. (2016). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, 354(6313): aaf7671.
- Schwab, I. R. (2002). Cure for a headache. *British Journal of Ophthalmology*, 86(8): 843-843.
- Shields, A. (2021, 13 février). Aires protégées : une occasion manquée pour les caribous. *Le Devoir*. En ligne : <https://www.ledevoir.com/environnement/595181/aires-protgees-une-occasion-manquee-pour-les-caribous>
- Stenger, J. (1958). Food habits and available food of ovenbirds in relation to territory size. *The Auk*, 75(3): 335-346.
- Taitt, M. J. et Krebs, C. J. (1981). The effect of extra food on small rodent populations: II. Voles (*Microtus townsendii*). *The Journal of Animal Ecology*, 50(1): 125-137.
- Titeux, N., Henle, K., Mihoub, J. B., Regos, A., Geijzendorffer, I. R., Cramer, W., Verburg, P. H. et Brotons, L. (2016). Biodiversity scenarios neglect future land-use changes. *Global change biology*, 22(7): 2505-2515.

- Titeux, N., Henle, K., Mihoub, J. B., Regos, A., Geijzendorffer, I. R., Cramer, W., Verburg, P.H. et Brotons, L. (2017). Global scenarios for biodiversity need to better integrate climate and land use change. *Diversity and Distributions*, 23(11): 1231-1234.
- Tomasevic, J. A. et Marzluff, J. M. (2018) a. Space use of suburban Pileated Woodpeckers (*Dryocopus pileatus*): Insights on the relationship between home range, core areas, and territory. *Oecologia*, 187(1): 15-23.
- Tomasevic, J. A. et Marzluff, J. M. (2018) b. Use of suburban landscapes by the Pileated Woodpecker (*Dryocopus pileatus*). *The Condor*, 120(4): 727-738.
- Tomasevic, J. A. et Marzluff, J. M. (2020). Roosting, reproduction, and survivorship of Pileated Woodpeckers (*Dryocopus pileatus*) in a suburban setting. *Avian Conservation and Ecology*, 15(1): 13.
- Tufto, J., Andersen, R. et Linnell, J. (1996). Habitat use and ecological correlates of home range size in a small cervid: the roe deer. *Journal of Animal Ecology*, 65(6): 715-724.
- Vaillancourt, M., Drapeau, P., Robert, M. et Gauthier, S. (2009). Origin and availability of large cavities for Barrow's Goldeneye (*Bucephala islandica*), a species at risk inhabiting the eastern Canadian boreal forest. *Avian Conservation and Ecology - Écologie et conservation des oiseaux*, 4(1): 6.
- Wilson, K. S., Pond, B. A., Brown, G. S. et Schaefer, J. A. (2019). The biogeography of home range size of woodland caribou *Rangifer tarandus caribou*. *Diversity and Distributions*, 25(2): 205-216.
- Worton, B. J. (1989). Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, 70(1): 164-168.