Intégration de la technologie lidar aéroporté dans la création d'un indice de qualité de l'habitat pour la Paruline du Canada à Kenauk, Outaouais



Présenté à

Table régionale de gestion intégrée des ressources et du territoire public de l'Outaouais Raymond Barrette, coordonnateur

Εt

Société canadienne pour la conservation de la nature Marie-Andrée Tougas-Tellier, chargée de projets

Préparé par

Carl Savignac, M.Sc. biologiste de la faune aviaire Dendroica Environnement et Faune 11 chemin Carnochan, Chelsea, Québec



4 février 2020

Résumé

La Paruline du Canada (*Cardellina canadensis*) est une espèce d'oiseau forestier désignée comme menacée au Canada et est susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable au Québec. L'absence de modèles d'habitat intégrant des composantes essentielles de son habitat de nidification et la difficulté de mesurer à grande échelle certains de ces paramètres, notamment la densité de la strate de végétation basse située sous le couvert forestier, sont deux facteurs expliquant la difficulté de proposer des mesures ciblées pour favoriser le rétablissement de cette espèce.

Les objectifs de l'étude étaient premièrement d'utiliser la technologie lidar aéroporté pour développer un modèle de segmentation pour estimer le pourcentage de recouvrement de la strate de végétation basse 0,2-2m situé sous le couvert forestier (MLRVB) sur le territoire de Kenauk, une zone de 260 km² située dans l'érablière à bouleau jaune en Outaouais. Deuxièmement, le projet visait à développer et valider un modèle d'indice de qualité d'habitat (IQH) pour la Paruline du Canada en fonction de la littérature scientifique provenant de l'est de l'Amérique du Nord et de leur facilité à être mesurés à grande échelle.

Les résultats de validation du MLRVB indiquent que le modèle lidar est corrélé de façon importante ($R^2 = 30$ %) avec le % de recouvrement en arbustes 0-2m et le % de recouvrement en herbacées, suggérant que cette technologie ainsi que notre méthode de segmentation du nuage de points lidar correspondent à une approche adéquate pour estimer le recouvrement de la strate de végétation basse situé sous le couvert forestier.

Plusieurs paramètres de l'habitat prédisant l'occurrence de la Paruline du Canada existent dans la littérature. Trois paramètres ont été sélectionnés pour faire partie du modèle IQH pour la Paruline du Canada:

- 1. Le pourcentage de recouvrement en végétation basse (ou MLRVB)
- 2. Le groupement d'essences
- 3. La présence de milieu humide ou riverain (ou la mesure de la distance à un milieu humide forestier ou à une rive)

Nos résultats de validation du modèle IQH démontrent qu'il prédit de façon satisfaisante l'occurrence de la Paruline du Canada dans les différentes classes d'IQH soit : IQH élevé = 52%, IQH moyen= 35%, IQH faible et nul = 0%.

Plusieurs facteurs ont pu affecter la performance du modèle dont : 1) le déclin de l'espèce faisant en sorte qu'il y a de grandes superficies d'habitat potentiel non occupé, 2) des biais dans l'estimation des trois paramètres sélectionnés initialement dans le modèle qui tendent à surestimer le nombre de parcelles d'habitat de valeur IQH élevée et 3) l'absence, dans le modèle IQH proposé, de certains paramètres d'habitat importants et spécifiques au site d'étude (p.ex. la surface terrière).

Le modèle IQH présenté ici représente un important outil de gestion pour les gestionnaires forestiers et pour Conservation de la nature œuvrant à Kenauk puisqu'il permet d'identifier l'habitat potentiel (IQH élevé et moyen jumelé) de la Paruline du Canada qui est considérée comme une espèce en péril. Suite à quelques ajustements du modèle IQH, celui-ci pourrait être appliqué dans l'ensemble de l'érablière à bouleau jaune du Québec afin d'aider au rétablissement de l'espèce. Par ailleurs, le modèle pourrait s'appliquer à d'autres domaines bioclimatiques et à d'autres espèces en péril ou être utilisé pour mettre à jour des modèles d'habitat existant pour des espèces gibiers qui à un moment ou l'autre de leur cycle de vie dépendent de la strate de végétation basse situé sous le couvert forestier (p.ex. lièvre d'Amérique, cerf de Virginie).

Table des matières

RÉSUMÉ	
TABLE DES MATIÈRES	III
LISTE DES TABLEAUX	IV
LISTE DES FIGURES	V
INTRODUCTION	
DESCRIPTION DE L'HABITAT DE NIDIFICATION DE LA PARULINE DU CANADA	1
Problématique de conservation	1
APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE LIDAR AÉROPORTÉ DANS LA MODÉLISATION DE L'HABITAT DE LA	
Paruline du Canada	2
OBJECTIFS	2
SITE D'ÉTUDE	2
MÉTHODOLOGIE	
CRÉATION D'UN MODÈLE LIDAR DE RECOUVREMENT EN VÉGÉTATION BASSE 0,2-2M (MLRVB)	
Validation du MLRVB	
Création d'un indice de qualité de l'habitat (IQH) pour la Paruline du Canada	
Sélection des paramètres d'habitat pour inclusion dans le modèle	6
Équation du modèle IQH	
Détermination des valeurs IQH pour chacun des paramètres sélectionnés	
VALIDATION DU MODÈLE IQH	
Validation de la performance du modèle IQH	
Validation des paramètres du modèle IQH	12
RÉSULTATS	
DESCRIPTION DU MLRVB	
Validation du MLRVB	
DESCRIPTION DU MODÈLE IQH	
VALIDATION DE LA PERFORMANCE DU MODÈLE IQH	
VALIDATION DES PARAMÈTRES DU MODÈLE IQH	
DISCUSSION	
LE LIDAR AÉROPORTÉ POUR ESTIMER LA STRATE DE VÉGÉTATION BASSE FORESTIÈRE	
PERFORMANCE DU MODÈLE IQH	
FACTEURS AFFECTANT LA PERFORMANCE DU MODÈLE IQH	
APPLICATION DU MODÈLE IQH À KENAUK	23
APPLICATION DU MODÈLE IQH À L'ENSEMBLE DE L'ÉRABLIÈRE À BOULEAU JAUNE ET À D'AUTRES	
DOMAINES BIOCLIMATIQUES AU QUÉBEC	
CONCLUSION	
REMERCIEMENTS	
RÉFÉRENCES	27

Liste des tableaux

4
ร์ ม 7
e 8
9
9
0
2
7
8
0
a O

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du site d'étude « Kenauk Nature » dans le sud-est de la région de l'Outaouais (modifiée de Goggle Earth, 2019)	3
Figure 2: Représentation de la méthodologie lidar aéroporté (tiré d'ESRi France)	5
Figure 3: Cartographie du MLRVB pour le secteur du lac Benjamin à Kenauk. Le MLRVB est regroupé en quatre classes de valeurs de recouvrement en végétation basse 0,2-2m. Chaque parcelle représente une superficie de 400m2 (20X20m)	9
Figure 4 : Corrélation entre le MLRVB et le % réel de recouvrement en arbustes (haut) et le % de recouvrement réel en herbacées (bas). Les données proviennent de 62 stations échantillonnées en 2019 dans l'ensemble de la vallée de la rivière Kinonge à Kenauk 1	
Figure 5: Comparaison du taux d'occurrence prédit et observé de la Paruline du Canada en fonction des valeurs IQH selon le jeu de données utilisé pour estimer le paramètre DISTMHR (lidar et BDTQ). Le % d'occurrence prédit étant le taux d'occurrence théorique des stations d'écoute par la Paruline du Canada en supposant une saturation complète de tous les habitat disponibles par des couples nicheurs.	ts

Introduction

Description de l'habitat de nidification de la Paruline du Canada

La Paruline du Canada (*Cardellina canadensis*) est un petit passereau forestier migrateur qui niche principalement dans les grands massifs forestiers feuillus et mélangés de la forêt tempérée et du sud de la forêt boréale du Canada et du Québec (COSEPAC, 2008). Dans le sud-est du Canada et en Nouvelle-Angleterre, la Paruline du Canada occupe préférentiellement et de façon plus permanente les forêts humides (marécages arborescents et forêts riveraines) ouvertes ayant une strate arbustive bien développée et une structure du sol complexe (Larue et coll. 1995;



Dendroica Environnement et Faune (DEF), 2011a; Lambert et Faccio, 2005; DEF, 2014; DEF, 2015A; 2015B; 2015C; DEF, 2017; Hallworth et coll., 2008; Westwood et coll., 2017). L'espèce répond également positivement aux pratiques sylvicoles et aux perturbations naturelles qui favorisent le développement d'une strate arbustive dense sous un couvert forestier (Drapeau et coll., 2000; Dendroica Environnement et Faune, 2014; Westwood et al., 2017).

Problématique de conservation

La Paruline du Canada a subi un déclin prononcé de sa population autant au Canada (2,9%/an entre 1970-2012; Environnement Canada, 2016) qu'au Québec (5%/an entre 1980 et 2005; COSEPAC, 2008) et ses effectifs ont été réduits de plus de 80 % depuis 40 ans. Les récents travaux de l'atlas des oiseaux nicheurs du Québec indiquent que la probabilité d'observation de l'espèce a considérablement chuté dans le Québec méridional entre la période 1984 -1989 et 2010-2014 et ce notamment dans les Appalaches, les Basses-Laurentides et au Saguenay – Lac-Saint-Jean (Toussaint, 2019). Cette espèce est actuellement désignée menacée au Canada par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC, 2008) et est susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable au Québec (MRNF, 2011). D'après Environnement Canada (2016), la nécessité de créer des modèles d'habitat performants afin de mieux prédire l'occurrence de l'espèce à grande échelle fait partie des actions prioritaires pour le rétablissement de l'espèce.

Il existe de nombreux modèles d'habitat par la Paruline du Canada en Amérique du Nord (Banner et Schaller, 2001; Hawkes et al. 2006; Vernier et Bunnell, 2008; Dendroica Environnement et Faune, 2011; Bale et coll. 2020). Plusieurs de ces modèles proviennent de l'Ouest canadien et peuvent difficilement être appliqués dans les forêts de l'est du Canada comme dans le sud du Québec en raison de la différence existant dans la sélection de l'habitat par cette espèce entre les différentes régions du pays. Ces derniers modèles sont basés sur des données provenant d'inventaires forestiers récoltées pour fins de gestion de la récolte forestière (p.ex. les données écoforestières du 5° décennal au Québec); des données qui fournissent généralement peu d'information directe concernant certains paramètres essentiels pour la Paruline du Canada tel que le % de recouvrement de la strate de végétation basse située sous le couvert forestier (Banner et Schaller, 2001; Hawkes et al. 2006; Vernier et Bunnell 2008; Dendroica Environnement et Faune, 2011). De plus, l'échelle spatiale utilisée dans les données écoforestières correspond aux peuplements forestiers; une échelle souvent supérieure à celle qui correspond à la taille du domaine vital de la Paruline du Canada (0,7-1,5 ha; Hallworth et coll., 2008). Enfin, généralement peu de modèles d'habitat sont validés

sur le terrain avant d'y être appliqués (Flather et King, 1992), rendant difficile l'évaluation du pouvoir prédictif de l'habitat potentiel.

Application de la technologie lidar aéroporté dans la modélisation de l'habitat de la Paruline du Canada

À l'aide de nouvelles technologies en télédétection telles que le lidar (*light detection and ranging*) aéroporté, il est désormais possible d'obtenir rapidement des données forestières plus précises et ce, à l'échelle spatiale désirée et pour de grands territoires forestiers. Le lidar aéroporté est utilisé en foresterie dans le Québec méridional depuis 2015, notamment par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP) afin d'augmenter la précision dans certaines données écoforestières notamment la hauteur et la densité des arbres, la pente et l'altitude du sol (Gouvernement du Québec, 2015). Plusieurs études récentes ont démontré que la technologie lidar peut également permettre d'estimer d'autres paramètres de la végétation d'importance écologique telle que la densité de recouvrement en végétation basse (c.-à-d. en arbustes bas et en herbacées; Martinuzzi et coll., 2009; Venier et coll., 2019), un paramètre qui est difficilement mesurable à grande échelle. Une estimation lidar de ce dernier paramètre, intégrée à un modèle d'habitat pour la Paruline du Canada, pourrait par conséquent augmenter de façon significative le pouvoir de prédire l'habitat potentiel pour cette espèce sur de grands territoires forestiers aménagés et ainsi aider au rétablissement de l'espèce.

Objectifs

Objectif général

Développer un modèle d'habitat performant pour la Paruline du Canada en intégrant plusieurs paramètres d'habitat essentiel à sa nidification et selon une échelle spatiale correspondant à la superficie moyenne du territoire de l'espèce dans le but de fournir un outil de gestion aux gestionnaires de la forêt de Kenauk et à Conservation de la nature Canada afin de favoriser une meilleure protection de cette espèce à statut précaire.

Objectif spécifique #1:

Segmenter le nuage de points lidar récolté pour le territoire de Kenauk afin de développer un indice de recouvrement de la strate de végétation basse 0,2-2m pour des pixels de 1 ha.

Objectif spécifique # 2 :

Développer un modèle d'indice de qualité d'habitat (IQH) pour la Paruline du Canada en incluant des paramètres jugés essentiels dans la prédiction de l'occurrence de l'espèce dont l'indice lidar de recouvrement de la strate basse 0,2-2m.

Objectif spécifique #3:

Valider le modèle IQH et valider des paramètres sélectionnés dans le modèle à Kenauk

Site d'étude

Le site d'étude était situé à Kenauk Nature (45.750618°; -74.824142°), un paysage forestier d'une superficie de 265 km² caractérisé par une forêt à prédominance d'essences feuillues (Figure 1; Forget et coll., 2006). Ce territoire se situe dans la MRC de Papineau, à proximité des municipalités de Montebello et de Notre-Dame-de-Bonsecours, et fait partie majoritairement du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Ce secteur,

d'altitude moyenne se situant entre 150 et 400 mètres, est caractérisé par une topographie montagneuse, et compte un total de 65 lacs, des centaines de marais et marécages et un cours d'eau majeur : la rivière Kinonge. Cette forêt privée est aménagée pour la foresterie depuis de nombreuses décennies et est principalement aménagée par des coupes partielles et des coupes par bandes depuis le début des années 1990, et ce, sur des unités de gestion de superficies moyennes de 300 ha (Varin et coll., 2016). Récemment, une zone de 60 km² a été acquise, pour fin de conservation de la biodiversité, par la Société canadienne pour la conservation de la nature (CNC).

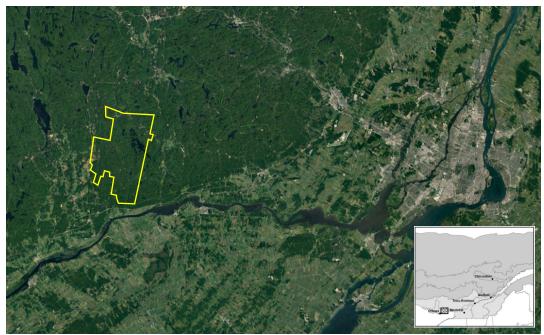


Figure 1 : Localisation du site d'étude « Kenauk Nature » dans le sud-est de la région de l'Outaouais (modifiée de Goggle Earth, 2019).

Méthodologie

Création d'un modèle lidar de recouvrement en végétation basse 0,2-2m (MLRVB)

La technologie lidar aéroporté fut utilisée pour produire un modèle lidar de recouvrement en végétation basse 0,2-2m (MLRVB) pour l'ensemble du territoire de Kenauk. À l'aide d'un appareil lidar qui, fixé sous un avion, émet des impulsions laser de type infrarouge vers le couvert forestier, la segmentation de données lidar permet l'acquisition d'informations verticales de haute résolution spatiale (Figure 2). Au contact de tout objet tel que le feuillage, ces impulsions renvoient une proportion de l'émission initiale (appelée « Retour ») au capteur. Ainsi, le premier retour correspond généralement à la première surface rencontrée (ex. : couvert forestier) alors que le dernier correspond à la dernière surface rencontrée telle que des objets situés sous le couvert forestier (p. ex. arbustes, plantes herbacées ou le sol). Le lidar permet ainsi de déterminer les coordonnées x, y et z de chacun des « retours » qui se traduit en données altimétriques. On obtient ainsi, pour un territoire forestier donné, une représentation tridimensionnelle de l'ensemble des strates de la végétation.

L'acquisition des données lidar fut effectuée par l'entreprise Géolocalisation inc. en juin 2015 (CERFO, 2017a). La hauteur de l'avion et du capteur lidar était de 1200m et l'angle du capteur de 60 degrés. Lors de la prise de données, la densité de points a été calibrée en tenant compte du type de capteur lidar, de la vitesse et la hauteur de vol, des angles de balayage et du recouvrement désiré (CERFO, 2017a). Le nombre de retours captés du signal était de sept et la densité d'acquisition prescrite de huit points/m² (CERFO, 2017a; Tableau 1). Cette densité de points est jugée comme relativement élevée pour permettre d'obtenir une estimation sur la végétation intermédiaire ici appelée végétation basse. Les données, en projection NAD83 MTM zone 8, ont été classifiées par l'entreprise Géolocalisation selon 6 classes : Non classifiées, Sol, Végétation haute, Bâtiments, Eau et Extérieur du périmètre (Tableau 1; CERFO, 2017a).

Tableau 1: Information sur la collecte de données lidar à Kenauk

Items	Données
Type d'aéronef	Cessna 172
Hauteur moyenne de vol (m)	1200
Type de système laser	Riegel Q-780
Nombre de retours	7
Densité (points/m2)	8

Le MLRVB est basé sur l'analyse de segmentation du nuage de points lidar bruts provenant de la récolte de données lidar sur l'ensemble de Kenauk afin d'y extraire uniquement les points se trouvant à l'intérieur de la strate 0,2-2m (se référer à l'annexe 1 pour plus de détails concernant les principales étapes du MLRVB). Cette strate de végétation fut choisie parce qu'elle inclut à la fois une partie du recouvrement des plantes herbacées hautes (p. ex. certaines espèces de fougères) et des arbustes bas, deux paramètres importants dans le choix d'un habitat de nidification par la Paruline du Canada (Westwood et coll., 2017). Afin d'obtenir un MLRVB, nous avons premièrement généré un modèle numérique du terrain (MNT) avec une résolution de 1 m² en utilisant la classe sol du nuage de points lidar. Il est à noter que la hauteur des points lidar correspond à une altitude par rapport au niveau de la mer. Nous avons normalisé la hauteur du nuage de points en utilisant le MNT généré précédemment ce qui a permis de rapporter la hauteur par rapport au sol. Ensuite, nous avons converti les données lidar (données d'altitude) en matrice raster pour des pixels de 1m² en moyennant les valeurs d'altitude des points lidar se trouvant à l'intérieur de chacun des pixels (chaque pixel pouvait contenir plusieurs points dans l'espace tridimensionnel). Ce processus a permis de sélectionner les pixels ayant été touchés au moins à une reprise par l'onde lidar. Dans le cadre du présent MLRVB, on considère qu'un pixel sélectionné dans la strate ciblée de 0,2-2m est égal à 100% de recouvrement pour cette unité de surface (1 m2). Ensuite, seuls les pixels du MLRVB se situant sous un couvert forestier (> 7 m) ont été conservés puisque l'habitat de la Paruline du Canada se trouve généralement en milieu forestier. Ceci a eu pour effet d'éliminer les zones non forestières ayant un fort couvert en herbacées et en arbustes tels que les marais et les coupes totales en régénération. Nous avons également réduit le biais que cause la présence de points lidar situés à la surface des troncs d'arbres dans la strate ciblée, en éliminant la surface terrière associée à chacune des

cimes d'arbres. Pour ce faire, nous avons identifié la cime de chaque arbre à l'aide des données lidar et avons soustrait leur surface terrière associée (incluant une zone tampon de 10 cm). Nous avons présumé que le diamètre moyen des arbres était de 20 cm. Finalement, le pourcentage de recouvrement en végétation basse pour la strate 0,2-2m a été calculé en divisant le nombre de pixels de 1m² touchés par l'onde lidar dans une parcelle de 100 X100m (1 ha) et en multipliant par 100.

Les travaux de segmentation ont été effectués par le Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Le package lidar du logiciel R fut utilisé pour estimer le % lidar de recouvrement de la strate de végétation basse. Les données lidar ont été traitées à l'aide d'ArcGIS (ESRI, 2013).

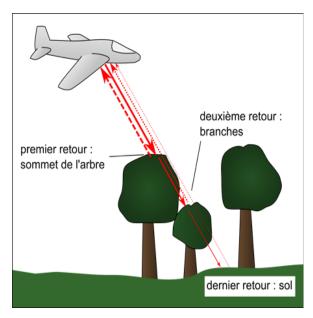


Figure 2: Représentation de la méthodologie lidar aéroporté (tiré d'ESRi France)

Validation du MLRVB

Le MLRVB a été validé sur le terrain en étudiant la relation entre le MLRVB et le % observé de recouvrement en arbustes 0-2m et le % observé de recouvrement en herbacées. Les données de ces deux derniers paramètres provenaient d'un échantillon de 62 stations récolté en 2019 à travers la vallée de la rivière Kinonge et répartie selon un gradient de type de forêts (Annexe 2). Au centre de chacune de ces stations, le % relatif de recouvrement en arbustes 0-2m et le % relatif observé de recouvrement en herbacées étaient estimés visuellement dans une parcelle de 3X3m (9m²) (se référer à la section « Validation de la performance du modèle IQH » pour plus de détails sur le protocole d'échantillonnage).

Création d'un indice de qualité de l'habitat (IQH) pour la Paruline du Canada

Un Indice de qualité de l'habitat (IQH) est une représentation simplifiée de l'habitat d'une espèce en intégrant, dans une équation, des paramètres jugés essentiels dans la sélection de son habitat (Cheveau et Dussault, 2013). L'objectif premier d'un IQH est de déterminer spatialement la qualité de l'habitat d'une espèce afin de mieux prédire son occurrence, son abondance, sa survie ou son succès reproducteur (Cheveau et Dussault, 2013). Une première

étape dans ce processus est de sélectionner, à partir de la littérature scientifique, les paramètres de l'habitat qui sont reconnus comme étant importants dans la prédiction de l'abondance de l'espèce. Ainsi, chacun des paramètres sélectionnés qui font partie du modèle IQH se voit assigner une valeur de qualité de l'habitat basée sur les données de la littérature scientifique, valeurs situées entre 0 et 3. Lorsque ces dernières valeurs sont considérées dans une équation de moyenne géométrique (équation 1), par exemple, on obtient une valeur d'IQH total qui varie entre 1, pour une qualité élevée et 0, pour une qualité d'habitat nulle. Dans ce type de modèle, l'assignation d'une valeur IQH nulle à un des paramètres du modèle fait en sorte que la valeur finale de l'IQH calculé devient nulle. On assigne généralement une valeur IQH finale pour chaque unité d'habitat présélectionnée (p.ex. peuplements forestiers, parcelle d'une superficie équivalente à un domaine vital d'une espèce animale...).

Sélection des paramètres d'habitat pour inclusion dans le modèle

Les paramètres de l'habitat jugés essentiels pour la Paruline du Canada qui ont été sélectionnés dans la réalisation du présent modèle IQH proviennent de plusieurs études effectuées dans l'est de l'Amérique du Nord (Tableau 2). La sélection des paramètres a été réalisée en fonction de trois critères : 1) leur pertinence à prédire l'occurrence, l'abondance ou le succès reproducteur de la Paruline du Canada, 2) la possibilité de les mesurer rapidement sur de grandes superficies de territoires à partir des données écoforestières disponibles actuellement au Québec et selon le budget disponible pour analyser les données lidar et 3) le maintien d'un nombre maximal de quatre paramètres dans le modèle.

Selon les paramètres listés au tableau 2, le modèle IQH pour la Paruline du Canada inclut les trois paramètres suivants :

- 1) Groupement en essences (GRES)
- 2) % de recouvrement de la strate de végétation basse (MLRVB) (c.-à-d. les arbustes bas et les herbacées). Dans le présent IQH, ce paramètre correspond au MLRVB estimé.
- 3) Présence d'un milieu humide ou riverain (DISTMHR), ici représenté par la distance minimale à un milieu humide forestier (marécages, marais, tourbières, étangs vernaux) ou à une rive d'un plan d'eau ou d'un cours d'eau (c.-à-d. lacs, étangs, rivières et ruisseaux permanents ou intermittents). Cette dernière mesure provient de la mesure de la distance entre le centroïde d'une parcelle de 1 ha et d'une rive d'après la plus petite distance existante entre les données de la BDTQ (qui contient tous les plans d'eau et les cours d'eau) et celles d'un modèle lidar identifiant tous les milieux humides forestiers, toutes tailles confondues (CERFO, 2017a).

Tableau 2: Liste de paramètres d'habitat jugés essentiels pour prédire l'occurrence, la densité ou le taux de reproduction de la Paruline du Canada dans le nord-est et l'est de l'Amérique du Nord. Classés en ordre d'importance selon le nombre de fois apparaissant dans la littérature.

Paramètres d'habitat	Sélection de l'habitat	Auteur
Proximité de milieux humides forestiers	Favorise les forêts situées à moins de 50 m de milieux humides, les marécages arborescents (cédrières, érablières à érable rouge) et les bordures de cours d'eau forestiers	Robbins et coll., 1989; Larue et coll. 1995; Banner et Schaller 2001; Lambert et Faccio, 2005; Hallworth et coll., 2008; Reistma et col. 2010; Dendroica Environnement et Faune (2011a; 2014; 2015a; 2015b; 2015c; 2020); Zlonis et Niemi, 2014; Westwood et coll. 2017; Bale et coll. 2020
% de recouvrement en végétation basse	Favorise un recouvrement élevé	Lambert et Faccio 2005; COSEPAC, 2008; Banner et Schaller (2001); Westwood et coll., 2017; Dendroica Environnement et Faune (2011b); Welsh et Fillman 1980; Robbins et coll., 1989; Hagan et Meehan, 2002; Becker et coll. 2012
Degré d'hétérogénéité du sol forestier	Favorise des sites ayant un pourcentage élevé de recouvrement du sol en mousses et en fougères, en débris ligneux ainsi qu'un nombre élevé de perchoirs près du sol	Laughlin et Kibbe,1985; Robbins et coll. 1989; Lambert et Faccio, 2005; Hallworth et al. 2008a, b; Chase et coll. 2009; Goodnow et Reitsma, 2011; Chase et coll. 2009
Groupement en essences	Favorise les forêts de feuillus ou mixtes	Lambert et Faccio, 2005; Chase et al. 2009; DEF, 2011b; Westwood et coll. 2017; Banner et Schaller (2001); Haché et coll. 2014, Bale et coll. 2020
Age de la forêt/surface terrière	Favorise les peuplements jeunes de 5-20 ans ou les peuplements matures et surannés (≥90 ans) ayant subi une perturbation naturelle	Robbins et coll., 1989; Lambert et Faccio, 2005; Hallworth et coll., 2008b; Hagan et Meehan, 2002
% de recouvrement en arbres	Favorise un % faible	Dendroica Environnement et Faune, 2014; Westwood et al., 2017; Faccio, 2003
Hauteur de la strate arborescente	Favorise des sites ayant une hauteur moyenne faible de la strate arborescente	Hallworth et coll., 2008a; Chase et coll., 2009
Nombre de tiges d'arbustes	Favorise un nombre de tiges élevé	Hallworth et al. 2008a; Becker et coll. 2012
Densité foliaire de la strate arbustive 2-2,5m	Favorise une densité foliaire élevée	Hallworth et coll., 2008a

Densité de perchoirs (gaulis) pour le chant	Favorise une densité élevée de gaulis	Hallworth et coll., 2008a
Volume de débris ligneux au sol	Favorise un volume élevé	Becker et coll. 2012
Complexité verticale de la végétation	Favorise une complexité élevée	Becker et coll. 2012; Bale et coll. 2020

Équation du modèle IQH

Nous avons utilisé l'équation de la moyenne géométrique pour formuler le modèle IQH de la Paruline du Canada suivant :

IQH = (GRES * MLRVB* DISTMHR)^{0,33} / 3

(équation 1)

Où GRES est la valeur attribuée au groupement en essence, MLRVB la valeur attribuée à l'indice lidar de recouvrement en végétation basse 0,2-2m et DISTMHR, la valeur attribuée à la distance d'un milieu humide ou d'un cours d'eau le plus près. Nous divisons la moyenne géométrique par 3 afin de ramener la valeur de l'IQH entre 0 et 1 (Tableau 3). Une valeur IQH a été attribuée à chacune des parcelles de 1 ha dans l'ensemble de Kenauk.

Tableau 3: Valeur de l'habitat pour la Paruline du Canada en fonction du résultat de l'indice de qualité de l'habitat.

Valeur IQH	Valeur d'habitat
0,81 à 1	Élevée
0,64 à 0,80	Moyenne
0,33 à 0,63	Faible
0 à 0,32	Nulle

Détermination des valeurs IQH pour chacun des paramètres sélectionnés

Nous nous sommes basés sur les valeurs déjà fournies par Dendroica Environnement et Faune (2011b) pour déterminer les différentes valeurs IQH pour chacun des paramètres d'habitat retenus dans le modèle IQH. Nous avons toutefois effectué certains ajustements en fonction des données récentes décrites dans les études écologiques concernant la Paruline du Canada. Il convient de noter que les valeurs IQH ont été assignées pour chacun des centroïdes des parcelles de 1 ha couvrant le territoire de Kenauk selon les données provenant de la norme de stratification forestière du 5^e inventaire écoforestier du MFFP.

Type de couvert

L'habitat de la Paruline du Canada dans le nord-est de l'Amérique du Nord correspond généralement à des peuplements forestiers dont le groupement en essence est à dominance de feuillus ou mixte (Lambert et Faccio, 2005; Chase et al. 2009; DEF, 2011; Westwood et coll. 2017) et correspondent à de valeur IQH élevée (Tableau 4). Les peuplements mixtes résineux correspondent pour leur part à une valeur IQH moyenne et les peuplements résineux et feuillus intolérants ont une valeur faible (Tableau 4). Les terrains non forestiers (sans groupements forestiers) ont une valeur IQH nulle.

Tableau 4: Qualité de l'habitat Paruline du Canada selon le groupement d'essence.

Qualité de l'habitat	Groupement d'essence
3	Feuillu tolérant, mixte-feuillus
2	Mixte-résineux
1	Résineux, feuillu intolérant
0	Autres (ex : terrains non- forestiers)

% de recouvrement végétation basse 0,2 à 2 m (ou MLRVB)

Le couvert de la végétation basse incluant la strate arbustive est un paramètre essentiel pour la nidification, le couvert (abri) et l'alimentation de la Paruline du Canada (Lambert et Faccio 2005; COSEPAC, 2008; Westwood et coll. 2017). Nous avons intégré le MLRVB dans le modèle IQH puisqu'il est associé au % de recouvrement en arbustes bas (0-2m) et en herbacées hautes. Nous avons établi la valeur de la qualité de l'habitat élevée (3) comme étant un MLRVB supérieur à 31 % (Hawkes et coll. 2006; Tableau 5). Bien qu'il n'existe pas de données pour les valeurs IQH plus basses, nous avons déterminé les classes moyenne, faible et nulle en divisant les valeurs comprises entre 0 et 30 par 3 pour former trois classes incrémentées de 10 %. À l'inverse, une valeur située entre 0 et 10 % est considérée comme de valeur IQH nulle (Tableau 5).

Tableau 5: Qualité de l'habitat Paruline du Canada selon % de recouvrement végétation basse 0,2 à 2 m

Qualité de l'habitat	% lidar de recouvrement en végétation basse
3	>31
2	21-30
1	11-20
0	0-10

Plusieurs travaux d'inventaires aviaires récents effectués en Outaouais et dans les Maritimes indiquent que la Paruline du Canada occupe préférentiellement les milieux humides forestiers et les forêts riveraines (Dendroica Environnement et Faune, 2011a; 2014; 2015A; 2015B; 2015C; Westwood et coll., 2017). Dans le sud de l'Outaouais, entre 70 et 100% des mentions de Paruline du Canada se situent à moins de 50 m de milieux humides forestiers ou de rives de plans d'eau ou de cours d'eau, suggérant que la proximité de forêts humides ou riveraines est une composante de l'habitat importante pour cette espèce (Dendroica Environnement et Faune, 2011a; 2014; 2015A; 2015B; 2015C). Dans le présent modèle, on assume donc qu'une distance de moins de 50 m d'un cours d'eau ou d'un milieu humide correspond à la valeur IQH optimale pour la Paruline du Canada (IQH élevé; Tableau 6). Les valeurs IQH pour les classes subséquentes ont été déterminées en maintenant des tranches de 50 m et en supposant que plus un habitat forestier s'éloigne d'un milieu humide ou d'un plan d'eau, la qualité de l'habitat diminue de façon linéaire (Tableau 6). Ainsi, à plus de 150m, on estime que ce paramètre a une valeur nulle pour prédire l'occurrence de la Paruline du Canada (Tableau 6).

À l'aide du logiciel ARCGIS, nous avons mesuré la distance entre le centroïde de chacune des parcelles de 1 ha couvrant Kenauk à un milieu humide ou une rive (DISTMHR). Nous avons fait le calcul pour les deux bases de données et intégré l'information dans deux variantes du modèle IQH dans le but d'évaluer comment le fait d'utiliser les données lidar peut affecter la performance du modèle. La première concerne la BDTQ, qui à l'échelle de 1/20 000, permet d'identifier la présence des cours et plans d'eau (p. ex. ruisseaux permanents et intermittents, rivières, lacs) et d'identifier les forêts riveraines. La deuxième base de données provient de la fusion des données provenant du projet de modélisation lidar des milieux humides forestiers à Kenauk, incluant tous ceux situés sous le couvert forestier (CERFO, 2017a), et de la BDTQ. Nous avons jumelé ces deux bases de données parce que le lidar aéroporté a la capacité d'identifier tous les milieux humides (peu importe la taille) se trouvant sous un couvert forestier (étangs vernaux, marécages arborescents), mais ne contient aucune information sur la présence des plans d'eau et des cours d'eau. À l'inverse, la BDTQ fournit des données précises concernant les rives des plans d'eau et des cours d'eau. mais est peu précise pour identifier tous les milieux humides forestiers. Nous avons considéré tous les milieux humides comme étant de même valeur comme habitat pour la Paruline du Canada.

Tableau 6: Catégories de qualité de l'habitat pour le paramètre « DISTMHR »

Qualité de l'habitat	Distance à un milieu humide ou rive (m)
3	≤ 50m
2	51-100m
1	101-150m
0	> 151m

Validation du modèle IQH

Validation de la performance du modèle IQH

La validation de la performance du modèle IQH a été effectuée en premier lieu en comparant le taux d'occurrence observé de la Paruline du Canada entre les guatre classes de valeurs IQH ainsi qu'avec le taux d'occurrence théorique associé à chacune des classes (où l'on suppose une saturation complète par des couples nicheurs de tous les habitats disponibles à Kenauk). Le taux d'occurrence observé pour chacune des classes IQH a été obtenu selon les résultats d'un inventaire d'oiseaux nicheurs effectué en 2019 à l'intérieur de la vallée de la rivière Kinonge à Kenauk (c.-à-d. sud du lac Papineau jusqu'au sud du lac Maholey). Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode du dénombrement à rayon limité (DRL) (Bibby et coll., 2000) de 50 m pour dénombrer tous les oiseaux chanteurs nicheurs incluant la Paruline du Canada présent à l'intérieur de 62 stations d'écoute répartie de facon égale dans les quatre classes IQH (Annexe 2). Les points d'écoute étaient localisés au centre de parcelles de 1 ha et espacés d'au moins 250 m afin d'éviter le dédoublement des individus dans les décomptes. L'échantillonnage des stations s'est fait de facon que chacune des parcelles soit située à au moins 100m d'un chemin carrossable. Afin de réduire le temps de transport entre les visites aux stations, un effort a été entrepris pour regrouper plusieurs stations par secteurs.

Les stations étaient visitées entre le lever du soleil et 9h00 lorsque les conditions étaient propices (aucune pluie et faible vent). Les points d'écoute étaient d'une durée de 10 minutes et divisée en sections de 5 minutes. Toutes les espèces d'oiseaux y étaient dénombrées de facon visuelle et auditive par un ornithologue expérimenté l'identification de toutes les espèces potentiellement présente à Kenauk. Les stations ont été visitées à deux occasions durant la période de nidification (c.-à-d. en juin), et ce, à au moins 7 jours d'intervalle afin d'obtenir des indices de nidification probants. Lors des inventaires, le statut de nidification (c.-à-d. possible, probable ou confirmé) était déterminé selon les indices comportementaux de nidification définis dans le cadre des travaux de l'atlas des oiseaux nicheurs du Québec (Toussaint, 2019). Lorsqu'aucune Paruline du Canada n'était détectée à une station donnée durant le premier 5 min d'une visite, la repasse du chant était utilisé pendant une période de 1 min. (c.à-d. 2 périodes de 30 secondes) afin de s'assurer de son absence. Les conditions climatiques (température, vitesse du vent, couverture nuageuse, précipitation et niveau de nuisance sonore) ainsi que plusieurs caractéristiques de l'habitat (p.ex. % de recouvrement en arbustes 0-2m) étaient notées à chacune des stations. Aucun inventaire n'était conduit par temps de forte pluie ou de grand vent (échelle de beaufort > 3).

Afin de réduire l'effet du temps d'observation à une station donné, les stations visitées tôt en matinée durant la première visite ont été visitées plus tard lors de la seconde visite et vice versa. De plus, afin de réduire le biais d'identification associé à chacun des observateurs, une rotation fut effectuée entre ces derniers afin que les stations ne soient pas visitées deux fois par la même personne.

Pour fin de comparaison, nous avons créé et testé un modèle IQH comprenant dans un premier temps la DISTMHR provenant de la BDTQ uniquement et dans un deuxième temps, avec les données jumelées de la BDTQ et du lidar où la plus petite distance entre un centroïde d'une parcelle d'un hectare à un milieu humide ou une rive étais mesurée.

Nous avons également validé le modèle sur deux autres jeux de données indépendants soit un provenant de 93 stations d'écoute inventoriées en 2018 dans un dispositif de bandes riveraines (Annexe 2) et un second comprenant 76 mentions de Paruline du Canada récoltées à Kenauk de façon fortuite le long de chemins forestiers, sentier ou entre deux stations d'écoute durant les inventaires aviaires de 2018 et 2019.

Validation des paramètres du modèle IQH

L'ensemble des paramètres inclus dans le modèle IQH ont été sélectionnés à partir de la littérature scientifique et peuvent provenir de plusieurs domaines bioclimatiques où la sélection de l'habitat par la Paruline du Canada peut différer avec celle observée à Kenauk (Crosby et coll., 2019). Il est par conséquent impératif de déterminer quels sont les paramètres l'habitat qui prédisent le mieux l'occurrence de cette espèce pour le territoire de Kenauk spécifiquement, et ce afin de pouvoir ajuster le modèle IQH au besoin.

Pour ce faire, nous avons utilisé le jeu de données de 2018 qui comprenait 93 stations d'écoute situés à 50m de milieux humides forestiers dont 44 stations avaient présence de la Paruline du Canada confirmée lors des inventaires. Une série de paramètres d'habitat furent mesurés de facon détaillée à 22 stations où la présence de la Paruline du Canada fut confirmée lors d'inventaire d'oiseaux et à 21 stations où l'espèce était considérée comme absente (Tableau 7; Annexe 3). Dans chacune des stations, les paramètres ont été mesurés à 2 parcelles situées à 5, 25 m le long d'un transect partant de la rive d'un milieu humide et allant perpendiculairement jusqu'au centre d'une station (situé à 50m d'un milieu humide). Les paramètres mesurés sont décrits au tableau 7. Nous avons choisi, pour fin d'analyse, toutes les stations comprenant des mentions confirmées et probables de Paruline du Canada ainsi que quelques stations ou l'indice de nidification était « possible » et autant de stations n'ayant aucune Paruline du Canada (choisi de façon aléatoire parmi un total de 49/93 stations). Des stations ayant des indices de nidification « probables » et/ou « confirmées » sont généralement corrélées avec de plus grandes probabilités de nidification d'une espèce comparativement à celles ayant des indices plus faibles tels que des mentions « possibles » (Gunn et coll., 2000).

Un modèle de régression logistique multiple de type *Stepwise* (au seuil d'entrée de 0,15) fut utilisé pour déterminer les paramètres qui prédisent le mieux l'occurrence de l'espèce (Homer et Lemeshow, 1989). Nous avons effectué l'analyse en prenant la moyenne des valeurs des paramètres provenant des parcelles d'échantillonnage de végétation situées à 5 et 25 m de milieux humides parce que ces parcelles reflétaient mieux les observations de Paruline du Canada détectés lors des inventaires de 2018 (c.-à-d. la plupart des mentions de parulines provenaient des vingt-cinq premiers mètres de bande riveraine; C. Savignac, données non publiées). Enfin, les paramètres fortement corrélés entre eux (c.-à-d. ≥ 0,70) ont été retirés de l'analyse sauf ceux ayant une signification pour la Paruline du Canada. Le test non paramétrique de Mann-Whitney fut utilisé pour comparer individuellement chacun des paramètres d'habitat entre les stations utilisées et non utilisées par la Paruline du Canada au seuil de signification de 0,05.

Tableau 7: Listes des paramètres d'habitat mesurés à 43 stations d'écoute (22 stations occupées et 21 stations non occupées par la Paruline du Canada).

Paramètres	Description
Type forestier	Identification des essences dominantes et co- dominantes
% recouvrementcanopée	Prise de 4 mesures/parcelle au densiomètre
Htcanopée (m)	Hauteur d'un arbre représentatif de la canopée estimée à l'aide d'un clinomètre

Surfaceterrièretot	Mesure du DHP des arbres sélectionnés au prisme # 2
#tigearbustetotal0-2,5cm	Décompte des tiges d'arbustes de 0-2,5 cm de diamètre dans une parcelle de 3x3 m (9 m²) au centre de la station
#tigearbustetotal2,5-8cm	Décompte des tiges d'arbustes de 2,5-8 cm de diamètre dans une parcelle de 7,7 X 7,7m (59 m²) au centre de la station
Densité foliaire de la strate arbustive 0-2,5m	Mesures prises selon la méthode d'un panneau de densité foliaire de 34 cm de largeur par 2,5 m de hauteur et divisé en sections de 0,5 m. Le % du feuillage arbustif couvrant chacune des sections de 0,5 m était noté selon les classes de recouvrement suivantes : 1 :0-20%, 2 :21-40%, 3 : 41-60%5 :81-100%. Prise de lecture à 10 m en face de la personne tenant le carton. Une densité moyenne obtenue pour chacune des classes de recouvrement de la végétation. Un total de 4 mesures prises aux 4 points cardinaux (selon la méthode modifiée de Nudds 1977)
% recouvrement des arbustes de 0-2 m	% relatif estimé visuellement dans une parcelle de 9 m² placée au centre de la parcelle principale
% recouvrement des arbustes de 2-7 m	% relatif estimé visuellement dans une parcelle de 59 m² placée au centre de la parcelle principale
% recouvrement de la strate herbacée	% relatif estimé visuellement pour toutes les espèces ayant plus de 5% de recouvrement dans une parcelle de 9 m²
% recouvrement des paramètres au sol	% de recouvrement de la litière, roches, mousse/sphaigne, eau libre et débris ligneux dans une parcelle de 9 m ²
Orientation	Mesuré à la boussole
Degré de la pente	Mesuré au clinomètre
Présence de signes de castors (O/N)	Présence de tiges coupées dans la parcelle
Présence de signes de coupes (O/N)	Présence de souches ou de sentiers de débardage dans la parcelle

Résultats

Description du MLRVB

Un fichier Excel contenant les données d'estimation du % de recouvrement en végétation basse 0,2-2m pour chacune des parcelles de 400m² (données brutes) a été produit et soumis à CNC en appui avec ce rapport. La figure 3 donne un aperçu cartographique du MLRVB catégorisé en 4 classes de pourcentage dans le secteur du lac Benjamin. On note, entre autres, que les sections dominées par des parcelles 0-25% de recouvrement (la classe la plus faible) sont situées principalement sur de hautes-terres. À l'inverse, les sections ayant le plus grand pourcentage en végétation basse (>51%, parcelles en jaune et orange) sont

concentrées dans les entrebandes de coupes partielles (c.-à-d. au nord-est du lac Benjamin) et en bordure de cours d'eau et de milieux humides (p. ex. directement au nord du lac Benjamin; Figure 3).

Validation du MLRVB

Le MLRVB estimé pour Kenauk concorde généralement bien avec ce qui est observé réellement sous le couvert forestier. L'analyse de régression multiple indique que le MLRVB est associé significativement avec le % réel en recouvrement en arbustes 0-2m et en herbacées et explique 30 % de la variabilité des deux paramètres combinés. Le % de recouvrement en herbacées seraient toutefois mieux prédit par le MLRVB que le % réel en recouvrement en arbustes 0-2m (22% vs 11%, figure 4).

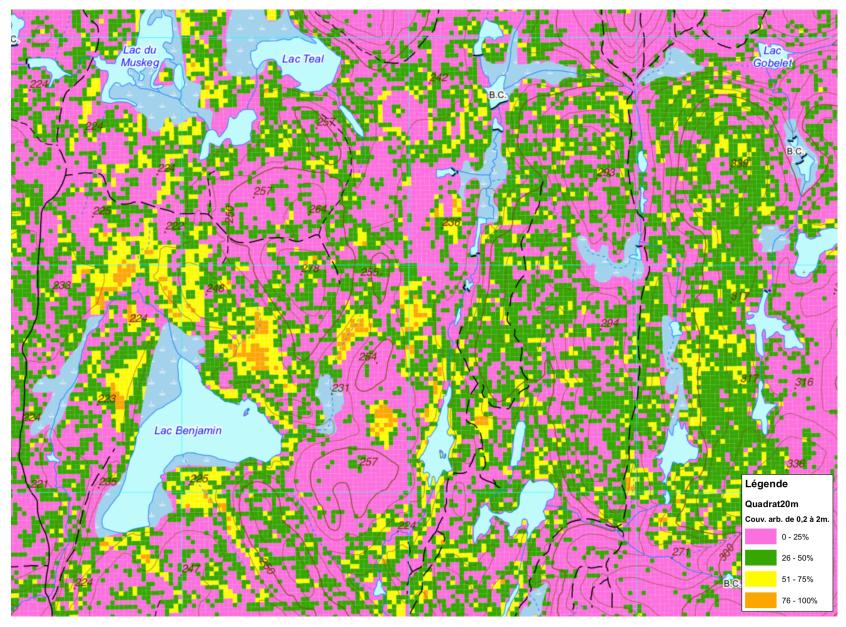


Figure 3: Cartographie du MLRVB pour le secteur du lac Benjamin à Kenauk. Le MLRVB est regroupé en quatre classes de valeurs de recouvrement en végétation basse 0,2-2m. Chaque parcelle représente une superficie de 400m2 (20X20m).

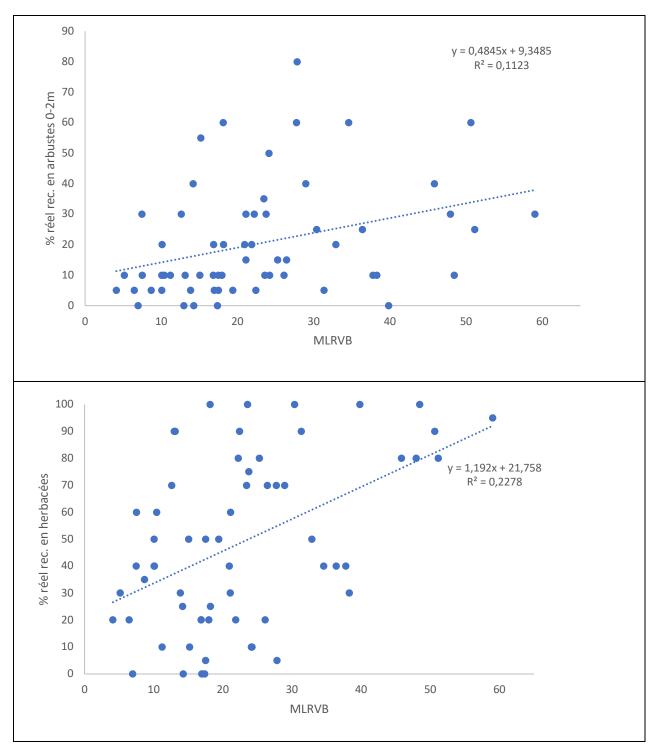


Figure 4 : Corrélation entre le MLRVB et le % réel de recouvrement en arbustes (haut) et le % de recouvrement réel en herbacées (bas). Les données proviennent de 62 stations échantillonnées en 2019 dans l'ensemble de la vallée de la rivière Kinonge à Kenauk.

Description du modèle IQH

Le modèle IQH sous forme cartographique est fourni à l'annexe 4. Pour l'ensemble de Kenauk, les parcelles de valeur IQH élevée représentent 31 % du territoire, tandis que les classes d'IQH moyenne, faible et nulle correspondent respectivement à 28%, 24% et 17% (Tableau 8). Les parcelles de valeur IQH élevée sont généralement concentrées dans les basses-terres tel qu'à proximité de milieux humides ou dans les secteurs ayant subi des coupes partielles (Annexe 3). Les parcelles des classes IQH faible et nulle, pour leur part, se retrouvent généralement dans les peuplements des hautes-terres matures et les peuplements conifériens (Annexe 3).

Tableau 8: Pourcentage de superficie pour chacune des classes de valeurs IQH à Kenauk.

Valeur IQH	Nombre de parcelles total	% du site d'étude
Élevée	10545	31
Moyenne	9695	28
Faible	8384	24
Nulle	5904	17

Validation de la performance du modèle IQH

Lors des travaux de validation du modèle IQH en juin 2019, la Paruline du Canada a été détectée à 29% des stations d'écoute recensées (c.-à-d.- 18/62 stations). Lorsque le modèle IQH tient compte uniquement du paramètre DISTMHR mesuré à partir de la BDTQ (modèle 1, Tableau 9), les classes d'IQH élevé et moyen ont chacun un taux d'occurrence de 50 % (soit 8 stations/16 dans les deux cas), alors qu'il est de 0 % et 14 % dans les classes d'IQH faible et nul respectivement (Tableau 9). Lorsque les deux bases de données sont jumelées, c'est-à-dire que la plus petite distance du centroïde d'une parcelle d'un hectare à un milieu humide ou un plan d'eau est considérée, le taux d'occurrence dans la classe IQH élevé augmente à 52% et baisse à 35 % dans la catégorie d'IQH moyen. Dans la classe « faible », le pourcentage reste nul, mais celui de la classe « nul » qui était à 14% devient nul (Tableau 9). Ce dernier modèle est par conséquent plus performant que le modèle # 1 en ce qui a trait à la prédiction des habitats propices (IQH élevé et moyen) et non propices (IQH faible et nul).

Il convient également de noter que peu importe le type de base de données (BDTQ ou lidar) utilisées pour estimer la DISTMHR, les taux d'occurrence observés sont généralement inférieurs aux taux d'occurrence associés à un modèle IQH théorique, et ce pour toutes les catégories IQH sauf la catégorie « nul » (Figure 5).

Tableau 9: Taux d'occurrence de la Paruline du Canada pour chacune des classes IQH selon deux jeux de données utilisant deux variations du paramètre DISTMHR. Le Modèle # 1 utilise uniquement la base de données BDTD pour estimer les milieux humides forestiers et rives des cours d'eau et plans d'eau, tandis que le modèle # 2 utilise la plus courte distance des centroïdes de parcelles de 1 ha à un milieu humide ou rive des deux jeux de données jumelés.

Classes IQH	Nombre de stations inventoriées	Nombre de stations avec présence de PACA	% d'occurrence de la PACA				
Modèle IQH # 1 : BDTQ (n=62)							
Élevé	16	8	50				
Moyen	16	8	50				
Faible	16	0	0				
Nul	14	2	14				
Modèle IQH # 2 : BDTQ et lidar jumelé (n=62)							
Classes IQH	Nombre de stations inventoriées	Nombre de stations avec présence de PACA					
Élevé	23	12 52					
Moyen	17	6	35				
Faible	14	0	0				
Nul	8	0	0				

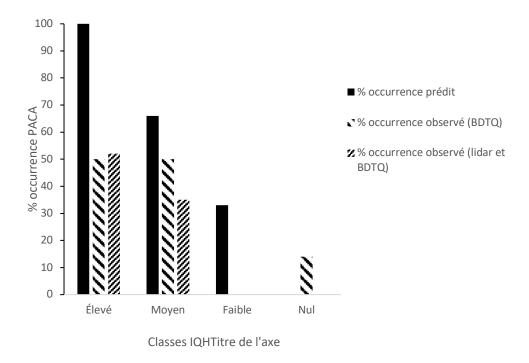


Figure 5: Comparaison du taux d'occurrence prédit et observé de la Paruline du Canada en fonction des valeurs IQH selon le jeu de données utilisé pour estimer le paramètre DISTMHR (lidar et BDTQ). Le % d'occurrence prédit étant le taux d'occurrence théorique des stations d'écoute par la Paruline du Canada en supposant une saturation complète de tous les habitats disponibles par des couples nicheurs.

La validation du modèle IQH selon le jeu de données de 2018 (93 stations) indique que les taux d'occurrence de la Paruline du Canada dans les catégories IQH élevée et moyenne étaient de 48 % et de 42 % respectivement, soit des taux semblables au taux d'occurrence obtenu avec le jeu de données de 2019. Il n'a pas été possible de valider le modèle pour les classes d'IQH faible et nulle du fait que l'échantillonnage ne visait pas à visiter toutes les classes de façon uniforme, mais plutôt à inventorier les oiseaux nicheurs de forêts riveraines.

La validation du modèle en utilisant le jeu de données comprenant 76 mentions de Paruline du Canada récoltées à Kenauk de façon fortuite en 2018 et 2019 indique que cette espèce était également associée à des parcelles de classe d'IQH élevée. En effet, le taux d'occurrence de la Paruline du Canada était de 43%, 29% et 12% dans les catégories IQH élevée, moyenne et faible respectivement. L'assignation à une classe d'IQH précise de 11% des mentions n'a pas pu être effectuée en raison de leur localisation à la limite de parcelles de différentes classes IQH. Cinquante-huit pour cent de ces dernières mentions concernaient des parcelles d'IQH faible et moyenne situées à moins de 10 m de parcelles d'IQH élevé et 42% correspondent à des mentions situées à la limite de parcelles de valeur IQH faible et nulle à proximité de parcelles d'IQH moyen.

Validation des paramètres du modèle IQH

Les valeurs moyennes de chacun des paramètres d'habitat mesurés dans les stations avec et sans présence de Paruline du Canada ainsi que des comparaisons univariées sont présentées en Annexe 5. Seuls le % de recouvrement de la canopée et la surface terrière sont significatifs (Annexe. 5).

Nous avons évalué l'importance de deux des trois paramètres inclus dans le modèle IQH soit la DISTMHR et le MLRVB dans la prédiction de l'occupation d'une parcelle par la Paruline du Canada.

L'analyse de régression logistique multiple indique qu'un modèle incluant ces deux derniers paramètres explique de façon significative l'occurrence de la Paruline du Canada à Kenauk (\mathcal{X}^2 = 10,67, dl=2, p=0,005; R²= 0,14, AIC= 70,44). Les résultats de cette analyse indiquent également que le paramètre DISTMHR a un plus grand pouvoir prédicteur que le MLRVB (Tableau 10).

Tableau 10: Moyenne, écart type et statistiques des valeurs IQH calculées pour les paramètres sélectionnés dans l'analyse de régression logistique multiple

Paramètres	Avec PACA	Sans PACA	X	dl	р
DISTMHR	20,78 ± 28,48	68,78 ± 73,35	3,30	2	0,07
MLRVB	28,92 ± 11,69	19,96 ± 12,17	2,29	2	0,14

L'étude de sélection de l'habitat par modèle de régression logistique multiple comparant tous les paramètres d'habitat mesurés entre des stations avec Paruline du Canada et sans parulines à l'intérieur de forêts riveraines indique que trois paramètres d'habitat prédisent l'occurrence de l'espèce à Kenauk : le % de recouvrement de la canopée, la surface terrière et % de recouvrement en fougères (\mathcal{X} = 11,54, df=2, p=0,009, AIC= 57,1; Tableau 11). En d'autres termes, une parcelle de forêt a plus de chance d'être occupée par la Paruline du Canada si ce site est caractérisé par une forêt jeune ouverte et ayant une strate herbacée dense (Tableau 11).

Par ailleurs, lorsque l'on considère d'autres types de peuplements forestiers dans la comparaison de sites avec et sans paruline à l'aide des inventaires aviaires effectués en 2019, la sélection se fait principalement sur la base du % de recouvrement en arbustes 0-2m (Tableau 11).

Tableau 11: Paramètres de l'habitat prédisant le mieux l'occurrence de la Paruline du Canada à Kenauk selon des analyses de régression logistique et appliquer à deux jeux de données différents. Le symbole entre parenthèse suivant un paramètre indique la direction de la relation.

Paramètres	χ^2	р		
Jeu de données de 2018, n= 43 stations				
Surface terrière (-)	3,43	0,064		
% en recouvrement en fougères (+)	3,37	0,066		
% de recouvrement de la canopée (-)	2,92	0,087		
Jeu de donnée de 2019, n= 62 stations				
% de recouvrement en arbustes 0-2m (+)	5,05	0,025		

Discussion

Le lidar aéroporté pour estimer la strate de végétation basse forestière

Notre étude démontre pour la première fois au Québec qu'il est possible d'appliquer la technologie lidar aéroporté pour estimer le % de recouvrement en végétation basse situé sous le couvert forestier. Nos résultats indiquent que l'estimation du % de recouvrement de la strate de végétation basse 0,2-2m par le lidar aéroporté est à la fois fortement corrélée avec la densité de la strate herbacée haute et la densité en arbustes bas (0-2m), ce qui suggère que le lidar est un outil adéquat pour décrire les strates de végétation basses situées sous le couvert forestier à une grande échelle spatiale. Une étude récente effectuée en Outaouais avait tenté, pour plusieurs terrains forestiers intramunicipaux, d'estimer l'importance de la strate arbustive forestière de nombreux peuplements forestiers en utilisant le paramètre « densité -hauteur » provenant des données écoforestières comme variable proxi de la densité en arbustes (DEF, 2011b). Par exemple, un peuplement ayant une densité-hauteur de B1 (couvert mature ouvert) était jugé avoir une strate arbustive plus dense qu'un peuplement ayant une densité-hauteur de D1 (couvert fermé). Le niveau de précision obtenu avec le MLRVB est par conséquent beaucoup plus élevé puisqu'il estime directement la densité du couvert ciblé. Comme d'autres études l'ont démontré (Venier et coll., 2019), le lidar représente actuellement l'unique façon d'estimer directement les strates de végétation situées sous le couvert forestier à grande échelle..

L'utilisation de la technologie lidar pour estimer des strates de végétation situées sous le couvert forestier ne fait pas consensus dans les études scientifiques à ce sujet. Certaines études ont démontré qu'il existe un biais associé à cette technologie pour estimer des strates de végétation situées sous le couvert forestier, notamment en raison de la réduction de la pénétration des ondes laser à mesure que la densité du couvert forestier augmente (Hill et Broughton, 2009; Morsdorf, 2010). Néanmoins, une étude récente conduite dans une forêt similaire à celle de Kenauk (c.-à-d., Petawawa, ON) et validant de façon très détaillée le lidar aéroporté pour décrire différentes strates de végétation basse situées sous le couvert forestier suggère que cette technologie produit des estimations de la strate arbustive avec une précision de plus de 80% (Venier et coll., 2019). Bien que le niveau de précision de notre MLRVB obtenu dans notre étude ne puisse être comparé avec celui de Venier et coll., (2019) en raison de méthodologies différentes, nous sommes d'avis que notre méthode peu couteuse et requérant peu de temps a su donner des résultats concluants pour les besoins de notre modèle IQH. Nous croyons toutefois que si un gestionnaire de la faune est désireux d'appliquer ce modèle ailleurs au Québec et qu'il n'y a pas de contrainte de temps et de budget, il devrait opter pour une segmentation du nuage de points lidar selon une des méthodologies fournies par Venier et coll. (2019) et en utilisant des strates de végétation distinctes pour décrire les herbacées et les arbustes bas.

Performance du modèle IQH

Nos résultats démontrent que notre modèle IQH, basé sur une sélection de quelques-uns des paramètres d'habitat provenant de la littérature scientifique pour l'est de l'Amérique du Nord, identifie de façon assez juste l'habitat potentiel de la Paruline du Canada à Kenauk. Notre modèle a la capacité d'identifier à 50 % l'habitat potentiel, c'est-à-dire les parcelles de valeur IQH élevée et moyenne et à près de 100% les habitats non propices (c.-à-d. les parcelles d'habitat d'IQH faible et nulle). À Kenauk, l'habitat potentiel correspond principalement à des parcelles de forêts feuillues ou mixtes situées à moins de 50 m de rives de milieux humides, de plans d'eau ou de cours d'eau et ayant une densité de la strate de végétation basse de plus de 30 %. À l'inverse, l'habitat non propice correspond plutôt à des secteurs forestiers situés généralement dans des forêts matures situées en hautes-terres où la strate arbustive est peu développée et/ou les milieux humides ou cours d'eau sont absents ou situés à plus de 200m (voir exemples à l'annexe 6).

Nos résultats suggèrent que l'utilisation de données lidar pour estimer le paramètre « DISTMHR » a fait en sorte d'augmenter la performance du modèle IQH de la Paruline du Canada. En effet, le modèle IQH intégrant les paramètres « DISTMHR » estimés par la technologie lidar fait en sorte que le taux d'occurrence de l'espèce augmente dans la catégorie « élevé » et s'abaisse dans la catégorie IQH « moyen » et « nul », et performe généralement mieux que le modèle IQH utilisant uniquement la base de données BDTQ. Ce qui explique ce résultat est le fait que le lidar a la capacité d'identifier tous les milieux humides se trouvant sous le couvert forestier avec une précision que ne peut atteindre la BDTQ.

Contrairement à la plupart des modèles IQH produits au Québec qui sont appliqués à l'échelle du peuplement forestier (Cheveau et Dussault, 2013), nous avons opté pour un modèle IQH s'appliquant à une échelle beaucoup plus fine soit l'échelle du territoire moyen de nidification de notre espèce ciblée (c.-à-d. 1 ha). De cette façon, il est possible d'obtenir une image beaucoup plus précise de la localisation de l'habitat potentiel. Dans le cas de la Paruline du Canada, une espèce qui occupe principalement les bandes étroites de forêts riveraines ou des secteurs ayant été aménagés par certaines pratiques sylvicoles récentes (p.ex. coupes partielles), l'extrapolation d'une valeur IQH unique pour l'ensemble d'un peuplement forestier de grande dimension (p.ex. >8 ha) comme le propose DEF (2011b) a donc peu de sens en raison de la nature très localisée de l'habitat de cette espèce.

Facteurs affectant la performance du modèle IQH

Nos résultats indiquent que presque 50 % de l'habitat potentiel (parcelles d'IQH élevé et moyen) n'est pas occupé par la Paruline du Canada à Kenauk. Ce taux d'inoccupation élevé de bons habitats peut s'expliquer, entre autres, par le déclin important qu'a subi la Paruline du Canada depuis les années 1970 au Québec (c.-à-d. > 80 %). Ce déclin ferait donc en sorte que l'habitat potentiel de nidification à Kenauk n'est présentement pas saturé. Le fait que près de 50 % de l'habitat potentiel à Kenauk semble disponible, mais présentement inoccupé par l'espèce, suggère que des facteurs limitatifs survenant à l'extérieur de Kenauk et probablement en dehors de l'aire de reproduction canadienne affectent négativement la population de l'espèce (p. ex. la perte et la dégradation de l'habitat dans l'aire d'hivernage; ECCC, 2016) et influencent directement le taux d'occupation des habitats propices. Nous sommes toutefois d'avis que même si seulement 50 % de l'habitat potentiel est présentement occupé par l'espèce à Kenauk, la protection de l'ensemble de cet habitat reste essentielle en raison de la nature dynamique de la forêt et de la distribution des oiseaux nicheurs forestiers. Par exemple, un habitat potentiel qui n'est pas occupé actuellement par la Paruline du Canada en raison de facteurs tels qu'une faible densité en insectes ou la présence d'un prédateur pourrait devenir occupé d'ici quelques années suivant un changement dans ces derniers facteurs.

L'absence de la Paruline du Canada à plus de 50% des parcelles d'habitat potentiel à Kenauk peut également s'expliquer en partie par le phénomène de cohésion sociale qui est présent chez cette espèce (Reitsma et coll., 2008; Westwood et coll., 2017) et plusieurs autres espèces d'oiseaux forestiers en période de nidification (Melles et coll. 2009). Ce phénomène est décrit comme étant la concentration ou le regroupement de plusieurs couples nicheurs dans un habitat propice de la forêt (Melles et coll. 2009). Parmi les avantages de nicher en petits groupes, on note: une meilleure récolte d'information des individus à propos de leurs congénères, de la densité de la nourriture, une meilleure vigilance face aux prédateurs potentiels et une meilleure sélection des mâles par les femelles (Melles et coll. 2009). Pour ces raisons, des individus de la Paruline du Canada pourraient se concentrer dans des sites bien précis de Kenauk et en délaisser d'autres, qui en apparence pourraient sembler de bonne qualité ou d'IQH élevé.

Lors de la création du présent modèle IQH, seulement trois paramètres d'habitat ont été sélectionnés. Or, il n'est pas exclu qu'il y ait un ou plusieurs autres paramètres importants qui n'ont pas été considérés et qui par leur omission auraient pu affecter la performance du modèle. En effet, nos résultats de l'analyse de sélection de l'habitat à Kenauk démontrent que deux paramètres non considérés dans le modèle initialement (c.-à-d. surface terrière et % de recouvrement en arbres) ont une

importance significative pour la Paruline du Canada. Étant donné que le % de recouvrement en arbres est généralement inversement corrélé avec le % de recouvrement de la strate de végétation basse, nous croyons que seul l'ajout de la surface terrière au modèle pourrait permettre de le bonifier. Ce dernier paramètre traduit en quelque sorte l'âge de la forêt et dans le cas de la Paruline du Canada, une valeur faible de la surface terrière affecte positivement l'occupation de l'espèce.

Il est également possible que la performance du modèle IQH de la Paruline du Canada a pu être affectée par la façon dont les paramètres du modèle ont été mesurés. La section qui suit liste les principaux biais potentiels :

- 1. DISTMHR: Dans le modèle IQH présent, nous avons utilisé le lidar aéroporté pour identifier tous les milieux humides forestiers présents à Kenauk afin de bonifier les données de la BDTQ. Nos résultats démontrent que le modèle IQH est plus performant lorsque les deux bases de données sont jumelées comparativement à un modèle intégrant uniquement la base de données de la BDTQ. Bien que le jumelage des deux bases de données ait fait en sorte d'augmenter la précision du modèle, nous soupçonnons que la grande précision du lidar à identifier de très petits milieux humides (c.-à-d. de quelques mètres carrés) peut faire en sorte que ce paramètre surestime la valeur d'habitat, car il est possible que la présence de très petits milieux humides forestiers n'influence pas le choix d'un habitat par la Paruline du Canada. Des études supplémentaires sont par conséquent nécessaires afin de déterminer quelle est la taille minimale des milieux humides occupés par cette espèce.
- 2. MLRVB : Nos résultats ont démontré que le MLRVB est corrélé de façon plus importante avec le % de recouvrement en herbacées qu'avec le % de recouvrement en arbustes 0-2m. À cet effet, il pourrait y avoir un biais de surestimation des valeurs IQH élevées du modèle pour des parcelles dominées par des herbacées (p. ex. carex et graminées) comme c'est souvent le cas dans les emprises de vieux chemins forestiers et de berges riveraines (C. Savignac, obs. pers.). Afin de réduire ce biais potentiel, il serait sans doute souhaitable d'utiliser le lidar pour segmenter le nuage de points lidar pour obtenir deux strates de végétation distinctes : la strate 0-1m pour les herbacées hautes (p. ex. les fougères) et la strate 1-2m afin traiter la strate arbustive basse.
- 3. Groupement en essence : Une des suppositions de base de notre modèle est que tous les peuplements forestiers de feuillus tolérants s'équivalent en termes de qualité d'habitat pour la Paruline du Canada. Or, des observations effectuées à Kenauk en 2018 et 2019 suggèrent cependant que cette espèce est absente des peuplements de feuillus tolérants dominés par le hêtre à grandes feuilles ou par le chêne rouge (C. Savignac, données non-publ.). Ces derniers peuplements sont généralement associés à une très faible densité en végétation basse en souscouvert forestier en raison des effets allopathiques du hêtre et du chêne sur les autres espèces végétales (Hanet et coll., 2003). Ainsi, le fait que nous ayons classifié ces derniers peuplements comme étant de valeur IQH élevée a probablement favorisé l'assignation de nombreuses parcelles comme étant de valeur IQH élevée alors qu'en réalité ces peuplements sont plutôt de valeur faible ou nulle. Ce biais potentiel pourrait donc être réduit à l'aide de données écoforestières d'une plus grande précision ou par l'utilisation du lidar couplé à d'autres techniques de télédétection (CERFO, 2017b).

Application du modèle IQH à Kenauk

Le modèle IQH présenté ici représente un important outil de gestion pour les gestionnaires forestiers et pour le personnel de Conservation de la nature Canada œuvrant à Kenauk afin d'aider au rétablissement de la Paruline du Canada. Le modèle IQH peut être appliqué pour une meilleure conservation de l'espèce dans les secteurs aménagés pour la foresterie. De prime à bord, il est

important de rappeler que la Paruline du Canada est considérée comme une espèce favorisée par le type de pratiques sylvicoles généralement effectué à Kenauk, soit des coupes partielles avec une rétention d'arbres comprise entre 25-35 % (Becker et coll. 2012; Westwood et coll. 2017; DEF, 2020). Elle est donc probablement favorisée par la protection de bandes riveraines de 50m que les gestionnaires de Kenauk préconisent depuis plusieurs décennies. Au vu de ce qui précède, une intégration du modèle IQH au système de gestion forestière actuel à Kenauk pourrait permettre de maintenir dans le temps ou d'augmenter la quantité d'habitats potentiels de la Paruline du Canada dans ce paysage forestier en planifiant des coupes partielles dans des habitats forestiers fermés et/ou en continuant de maintenir des bandes riveraines d'au moins 30 m de largeur.

Les milieux humides et riverains forestiers constituent généralement les habitats les plus riches en termes de diversité aviaire (Knoft et coll., 1988; Larue et coll. 1995; Bud et coll., 2004). Nos résultats de modélisation de l'habitat pour la Paruline du Canada et d'autres études suggèrent que cette espèce pourrait être considérée comme une espèce indicatrice de la biodiversité des milieux humides forestiers et riverains (DEF, 2015a; 2015b). Ainsi, le maintien de l'habitat potentiel tel qu'identifié dans notre modèle IQH pourrait permettre de protéger en même temps une grande partie de la biodiversité forestière incluant certaines espèces à statut précaire. À titre d'exemple, l'érable noir, une espèce vulnérable au Québec (Gouvernement du Québec, 2019) pourrait tirer avantage d'une meilleure protection des bandes riveraines à Kenauk puisque cette espèce semble croître principalement à l'intérieur de ces habitats (C. Savignac. obs pers. 2019).

Les gestionnaires de CNC pourraient, pour leur part, utiliser le modèle IQH comme information de base dans le développement d'un plan de conservation de la biodiversité des forêts humides et riveraines. À ce sujet, il a été noté que contrairement aux secteurs aménagés de Kenauk, l'habitat potentiel de la Paruline du Canada à l'intérieur des terrains de CNC dans la vallée de la rivière Kinonge contient de grandes superficies des forêts feuillues et mixtes humides ou riveraines. Ces derniers habitats offrent un habitat de nidification permanent pour la Paruline du Canada (DEF, 2020) en raison du maintien de la qualité de l'habitat par les activités des castors, des chablis et des inondations (Naiman et coll., 1988; Hooda et Bayleya, 2009). CNC pourrait donc utiliser le modèle IQH afin de mieux planifier la surveillance de l'espèce ou d'effectuer des inventaires dans ces derniers habitats. En parallèle avec ce qui a été mentionné précédemment, un suivi à long terme ciblé sur la Paruline du Canada sur les terrains non aménagés de CNC pourrait permettre de protéger une part importante de la biodiversité de ces secteurs puisque les forêts riveraines constituent les habitats les plus riches pour les oiseaux nicheurs ainsi qu'une multitude d'autres espèces animales.

Application du modèle IQH à l'ensemble de l'érablière à bouleau jaune et à d'autres domaines bioclimatiques au Québec

Au Québec, le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune correspond à une superficie de 65 500 km² et est celui où l'abondance de la Paruline du Canada est à son plus grand au Québec (Toussaint, 2019). Il serait donc judicieux d'appliquer un modèle d'habitat tel que celui présenté ici dans ce domaine si on veut aider au rétablissement de cette espèce au Québec. Nous recommandons les points techniques suivants afin d'appliquer le modèle IQH à l'ensemble du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune :

- 1. Créer un MLRVB à l'aide des données lidar du MFFP (Gouvernement du Québec, 2015) déjà disponibles pour l'ensemble du domaine bioclimatique. Estimer la strate de végétation basse dans une tranche de 0,5-2m au lieu de 0,2-2m afin de considérer la marge d'erreur dans la prise de données lidar (15-30 cm). Si du financement est disponible, il serait recommandé d'estimer un modèle lidar pour les strates en herbacées et en arbustes bas séparément.
- Suivre la méthodologie fournie dans le présent rapport pour formuler le MLRVB ou opter pour de nouvelles analyses de segmentation du nuage de points lidar plus performantes (Voir Venier et coll., 2019).
- 3. Estimer le paramètre DISTMHR à l'aide du lidar (pour identifier tous les milieux humides forestiers et si le budget est disponible) et de la BDTQ ou uniquement de la BDTQ si le budget ne permet pas d'utiliser les données lidar. Il est a noté que si le budget est limité pour segmenter le nuage de points lidar pour identifier les milieux humides forestiers, les données fournies par la BDTQ peuvent toutefois fournir une précision acceptable du paramètre DISTMHR même si la performance du modèle IQH avec ces données est moindre (c.-à-d. prédit l'occurrence de l'espèce à 50% autant dans les parcelles de valeurs IQH élevée et moyenne). Dans ce cas, nous suggérons de jumeler ces deux dernières catégories et de reformuler une catégorie « Habitat potentiel ». Les parcelles de valeurs IQH faible et nulle pourraient également être fusionnées en une catégorie « Habitat non propice »
- 4. Ajouter la « surface terrière » comme quatrième paramètre au modèle IQH en utilisant soit les données écoforestières du 5^e décennal ou du lidar aéroporté si le budget d'analyse le permet. Le lidar permettra d'obtenir une mesure précise à l'échelle voulue, tandis qu'avec les données écoforestières, il faudra extrapoler la valeur d'un peuplement entier pour la reporter à l'échelle d'une parcelle de 1 ha.
- 5. Remettre à jour le modèle IQH incluant le MLRVB à tous les 10 ans afin de tirer avantage des travaux de mise à jour des données écoforestières et des nouvelles données lidar du MFFP.

Advenant une application du modèle IQH de la Paruline Canada à d'autres domaines bioclimatiques au Québec, nous recommandons de reformuler le modèle dans sa totalité étant donné que les paramètres d'habitat essentiel pour la Paruline du Canada dans un domaine bioclimatique ne le sont pas nécessairement dans un autre (Voir Crosby et coll., 2019). Les points suivants sont à considérer:

- Refaire une revue de la littérature pour trouver des études effectuées dans des régions situées à des latitudes similaires, et ce, afin de déterminer les paramètres d'habitat qui prédisent le mieux l'occurrence de la Paruline du Canada dans ces régions
- 2. Comparer les paramètres d'habitat entre des sites occupés et non occupés par la Paruline du Canada afin d'estimer des paramètres (lidar ou données écoforestières) importants pour prédire l'occurrence de l'espèce
- 3. Formuler un modèle IQH en incluant les paramètres d'habitat issus de la revue de la littérature ainsi que de l'étude de sélection de l'habitat (point B)
- 4. Valider le modèle IQH en utilisant les données d'occurrence de Paruline du Canada provenant des travaux d'atlas des oiseaux nicheurs du Québec (Robert et coll., 2019) pour l'ensemble du domaine bioclimatique ciblé.

Conclusion

Dans l'optique d'aider au rétablissement de la Paruline du Canada, une espèce subissant un déclin important dans les forêts du Québec, nous avons démontré qu'il est possible d'estimer, à grande échelle, la densité de recouvrement de la strate de végétation basse située sous le couvert forestier afin d'intégrer cette information dans un modèle IQH. Ceci représente un jalon important dans la conservation future de l'espèce puisque la création d'un modèle habitat considérant les principaux paramètres restait encore à être développé. L'application d'un tel modèle d'habitat permettra de mieux identifier les habitats forestiers qui s'avèrent de qualité optimale pour cette espèce. La connaissance de l'habitat potentiel à Kenauk pourrait, entre autres, être intégrée à la planification de travaux sylvicoles afin que les habitats de nidification de cette espèce soient maintenus à long terme.

Nous sommes d'avis que la méthodologie développée dans le cadre de notre projet pourrait s'appliquer à plusieurs autres espèces animales qui, à un moment ou l'autre de leur cycle de vie, dépendent de la strate de végétation basse pour leur alimentation, la nidification ou la protection. Ceci peut inclure des espèces qui sont actuellement gérées en tant qu'espèces à statut particulier ou des espèces gibiers. Par exemple, un modèle d'habitat intégrant le lidar pourrait permettre de mieux conserver l'habitat de nidification de la Grive des bois, une espèce d'oiseaux un déclin au Canada et au Québec et qui occupe des forêts ayant des strates arbustives hautes denses (COSEPAC, 2012). Par ailleurs, nous croyons que la méthodologie développée pour notre modèle IQH pourrait servir à mettre à jour des modèles d'habitat déjà existants tels que celui de l'orignal, du lièvre d'Amérique et du cerf de virginie (Cheveau et Dussault, 2013), puisque ces dernières espèces peuvent également dépendre de la présence d'une strate de végétation basse dense.

De plus, notre projet suggère que la méthode de segmentation du nuage de points lidar pour estimer la densité de la strate de végétation basse pourrait servir à développer d'autres types de modèles d'habitat potentiellement plus performants que les modèles IQH. Par exemple, le modèle MaxEnt est reconnu comme étant très performant pour prédire l'habitat potentiel d'espèces fauniques à partir d'occurrences uniquement (Jane et coll., 2010 ; Bale et coll. 2020). Comme dans le cas d'un modèle IQH, il serait possible d'estimer plusieurs paramètres d'habitat provenant à la fois de la base de données écoforestières du 5° décennal et du lidar aéroporté afin d'alimenter un modèle MaxEnt pour la Paruline du Canada. Bale et coll. (2020) ont modélisés la distribution de l'habitat potentiel de la Paruline du Canada pour l'ensemble de la Nouvelle-Écosse en utilisant les données des travaux d'atlas des oiseaux nicheurs et de la méthodologie MaxEnt. Il serait ainsi judicieux d'effectuer une analyse des coûts et bénéfices de l'application du modèle IQH et d'un modèle MaxEnt pour la Paruline du Canada afin de choisir celui qui est le plus avantageux pour une application à grande échelle au Québec.

Remerciements

L'auteur remercie premièrement tous les bénévoles du Club des ornithologues de l'Outaouais (COO) pour leur motivation et ténacité durant les deux périodes de terrain de ce projet et sans lesquels les inventaires n'auraient pas pu avoir lieu avec autant de succès : Robert Alvo, Jean-Pierre Artigau, Laurent Bédard, Donald Dallaire et Daniel Toussaint. Merci au personnel de Conservation de la nature Canada dont Marie-Andrée Tougas-Tellier, Catherine Collette-Hachey et leurs stagiaires : Éloise Le Stum-Boivin, Jean-Marie Mondor et Janie Dambremont. Le financement a été rendu possible grâce à la Table régionale de gestion intégrée des ressources et du territoire public de l'Outaouais, Conservation de la nature Canada, le Club des ornithologues de l'Outaouais, Sciences et technologies de l'environnement d'Environnement Canada, Protection des oiseaux du Québec et Kenauk Inc. Enfin, un merci spécial à Liane Nowell de Kenauk Nature pour l'hébergement et le soutien technique lors des

inventaires de végétation et à Mathieu Varin et Bilel Chalghaf du CERFO pour avoir performé l'analyse des données lidar et développé le MLRVB.

Références

Ball, J. R., Sólymos, P., Schmiegelow, F. K. A., Hache, S., Schieck, J., & Bayne, E. (2016). Regional habitat needs of a nationally listed species, Canada Warbler (Cardellina canadensis), in Alberta, Canada. Avian Conservation and Ecology, 11

Bale, S. K.F. Beazley, A. Westwood et P. Bush. 2020. The benefits of using topographic features to predict climate-resilient habitat for migratory forest landbirds: An example for the Rusty Blackbird, Olive-sided Flycatcher, and Canada Warbler. The Condor: Ornithological Applications 122:1–19.

Becker, D.A., P.B. Wood et P.D. Keyser. 2012. Canada Warbler use of harvested stands following timber management in the southern portion of their range. Forest Ecology and Management 276:1–9.

Bub B.R., D.J. Flaspohler, C.J.F. Huckins. 2004. Riparian and upland breeding-bird assemblages along headwater streams in Michigan's upper peninsula. Journal of Wildlife Management 68: 383-392

CERFO. 2017a. Validation d'une méthode semi- automatisée de détection des milieux humides à partir du lidar aéroporté. Rapport méthodologique présenté à la Société canadienne pour la conservation de la nature, Canards illimités Canada et ministère de l'Économie, Science et Innovation. 35 pp.

CERFO. 2017b. Cartographie d'essences forestières à partir d'images multispectrales satellitaires à haute résolution spatiale et du lidar aéroporté. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2017-05. 36 pp.

Chace, J.F., S.D. Faccio et A. Chacko. 2009. Canada Warbler habitat use of northern hardwoods in Vermont. Northeastern Naturalist 16:491-500.

Chalghaf, B. et M. Varin. 2019. Estimation de la couverture de la strate arbustive à partir de données lidar dans le territoire de Kenauk : Notes méthodologiques présentées à Conservation de la nature Canada. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc.

Chance, C.M., N.C. Coops, A. A. Plowright, T.R. Tooke, A. Christen et N. Aven. 2016. Invasive Shrub Mapping in an Urban Environment from Hyperspectral and LiDAR-Derived Attributes. Front Plant Sci. 7: 1528.

Cheveau, M. et C. Dussault. 2013. Guide d'utilisation des modèles de qualité de l'habitat, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Gouvernement du Québec, ISBN 978-2-550-69550-9, 25 p.

COSEPAC. 2008. Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur la Paruline du Canada (Wilsonia canadensis) au Canada, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. vi +35 p. (www.registrelep.gc.ca/status/status_f.cfm)

COSEPAC. 2012. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la Grive des bois (Hylocichla mustelina) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. IX + 51 p.

Crosby A.D., E.M. Bayne, S.G. Cumming, F.K.A. Schmiegelow, F.V. Dénes et J.A. Tremblay. 2019. Differential habitat selection in boreal songbirds influences estimates of population size and distribution. Divers Distrib. 25:1941-1953.

Dendroica Environnement et Faune. 2011a. Inventaire de la faune aviaire sur les lots publics 43-48, rang 3, situé au sud du lac-en-cœur, municipalité de Mulgrave-et-Derry et de Ripon, Outaouais, 2011. Rapport final présenté à l'association des résidents du lac-en-cœur. Chelsea. 25 pp.

Dendroica Environnement et Faune. 2011b. Modélisation de la qualité de l'habitat pour trois espèces fauniques et floristiques en péril dans les lots intramunicipaux de la MRC des Collines-de-l'Outaouais. Rapport produit et rédigé dans le cadre du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier – Volet II. Présenté à la MRC des Collines-de-l'Outaouais. Chelsea. 64 pp.

Dendroica Environnement et Faune. 2014. Programme d'inventaire d'oiseaux et de plantes en péril à l'intérieur de quatre terres publiques intramunicipales de la MRC des Collines-de-l'Outaouais dans le cadre du respect des normes environnementales du Forest stewardship council. Rapport produit et rédigé dans le cadre du Programme de Développement Régional et Forestier. Présenté à la MRC des Collines-de-l'Outaouais. Chelsea. 47 pp.

Dendroica Environnement et Faune. 2015a. Inventaires d'espèces à statut particulier (oiseaux nicheurs et plantes) dans le TPI 35 (secteur nord) de la MRC des Collines-de-l'Outaouais- 2015. Rapport produit et rédigé dans le cadre du Programme de Développement Régional et Forestier. Présenté à la MRC des Collines-de-l'Outaouais. Chelsea. 28 pp.

Dendroica Environnement et Faune. 2015b. Conservation of forest breeding birds. Conservation plan 2015. Participating landowner: Five Lake Fishing Club. Chelsea. 26 pp.

Dendroica Environnement et Faune. 2015C. Conservation volontaire d'oiseaux forestiers prioritaires en Outaouais. Cahier du propriétaire 2015 : Propriétaire participant : Conservation de la nature Canada. Chelsea. 20 pp.

Dendroica Environnement et Faune. 2020. Effet de l'âge des coupes partielles sur la richesse et la structure et composition des communautés d'oiseaux nicheurs à Kenauk, Outaouais. Présenté à la Table régionale en gestion intégrée des ressources et du territoire public de l'Outaouais et à la Société canadienne pour la conservation de la nature. Chelsea, Québec. 20 pp + annexes.

Drapeau, P., A. Leduc, J.F. Giroux, J.P. L. Savard, Y. Bergeron et W.L. Vickery 2000. Landscape-scale disturbances and changes in bird communities of boreal mixed-wood forests. Ecological Monographs 70:423-444.

Environnement Canada. 2016. Programme de rétablissement de la Paruline du Canada (Cardellina canadensis) au Canada, Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril, Environnement Canada, Ottawa, vii + 62 p.

Faccio, S.D. 2003. Effects of ice storm-created gaps on forest breeding bird communities in central Vermont. Forest Ecology and Management 186:133-145.

Flather, C.H., et R.M. King, 1992. Evaluating performance of regional wildlife habitat models: Implications to resource planning, Journal of Environmental Management, vol. 34, p. 31-46.

Forget, É., F. Doyon, et D. Bouffard. 2006. Plan d'aménagement 2006-2015 du territoire Fairmont Kenauk. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue. Rapport technique, 93 p.

Golet, F.C., Y. Wang, J.S. Merrow et W.R. DeRagon. 2001. Relationship between habitat and landscape features and the avian community of Red Maple swamps in southern Rhode Island. Wilson Bulletin 113:217-227.

Goodnow, M., et L. Reitsma. 2011. Nest-site selection in the Canada Warbler (Wilsonia canadensis) in central New Hampshire. Revue canadienne de zoologie 89:1172-1177

Gouvernement du Québec. 2015. Projet d'acquisition de données par le capteur LiDAR à l'échelle provinciale : Analyse des retombées et recommandations. 15 pp.

Gouvernement du Québec. 2019. Espèce vulnérable au Québec; l'érable noir. Site web : http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/acer-nigrum/index.htm. Consulté en décembre 2019.

- Grinde, A. R. et G. J. Niemi, 2016. Influence of landscape, habitat, and species co-occurrence on occupancy dynamics of Canada warblers. The Condor, 118, 513-531.
- Gunn, J. S., A. Desrochers, M. A. Villard, J. Bourque, and J. Ibarzabal. 2000. Playbacks of Black-capped Chickadee calls as a tool to estimate reproductive success of forest birds. Journal of Field Ornithology 71: 472-483.
- Haché, S., P. Solymos, T. Fontaine, E. Bayne, S. Cumming, F. Schmiegelow et D. Stralberg. 2014. Habitat of Olive-sided Flycatcher, Canada Warbler, and Common Nighthawk in Canada. Boreal Avian Modelling Project, Edmonton, AB.
- Hagan, J.M. et A.L. Meehan. 2002. The effectiveness of stand-level and landscape-level variables for explaining bird occurrence in an industrial forest. Forest Science 48:231-242.
- Hallworth, M., P.M. Benham, J.D. Lambert et L. Reitsma. 2008a. Canada Warbler (Wilsonia canadensis) breeding ecology in young forest stands compared to a red maple (Acer rubrum) swamp. Forest Ecology and Management 255: 1353-1358.
- Hallworth, M.A. E. Ueland, J. Anderson, D. Lambert et L. Reitsma. 2008b. Habitat Selection and Site Fidelity of Canada Warblers (Wilsonia canadensis) in Central New Hampshire. The Auk 125:880-888.
- Hane, E.N. S.P. Hamburg, A.L. Barber et Jennifer A. Plaut. 2003. Phytotoxicity of American beech leaf leachate to sugar maple seedlings in a greenhouse experiment. Can. J. For. Res. 33: 814-821
- Hawkes V.C., G. F. Searing. M. Todd, M. W. Demarchi, J. Muir, and M. K. McNicholl. 2006. Peace River Wildlife Surveys: 2005 Habitat Suitability Modeling and Wildlife Inventory. Draft Final Report Prepared for BC Hydro, Engineering Services. Contract No. 00016459 Prepared by LGL Limited environmental research associates. Sidney, BC. Pp. 206.
- Hill R.A. et R.K. Broughton. 2009. Mapping the understory of deciduous woodland from leaf-on and leaf-off airborne LiDAR data: a case study in lowland Britain. ISPRS J Photogramm. 64:223-33.
- Hooda G.A. et S.E. Bayleya. 2009. A comparison of riparian plant community response to herbivory by beavers (Castor canadensis) and ungulates in Canada's boreal mixed-wood forest. Forest Ecology and Management 258: 1979-1989
- Hosmer, D.W. Jr. et S. Lemeshow. 1989. Applied logistic regression. John Wiley & Sons, New York, New York, USA. 307 pp.
- Jane E., S.J. Phillips, T. Hastie, M. Dudı k, Y. Chee et C.J. Yates. 2010. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity Distrib. 1-15
- Knopf F.L., R.R. Johnson, T. Rich, F.B. Samson et R.C. Szaro 1988. Conservation of riparian ecosystems in the United States. Wilson Bull 100:272-284
- Lambert, J.D. et S.D. Faccio. 2005. Canada Warbler population status, habitat use and stewardship guidelines for the northeastern forests. VINS Technical Report 05-4. Vermont Institute of natural Sciences. Woodstock, Vermont.
- LaRue, P., L. Belanger et J. Huot. 1995. Riparian edge effects on boreal balsam fir bird communities. Can. J. For. Res. 25:555-566.
- Laughlin, S.P. et D.P. Kibbe.1985. The Atlas of Breeding Birds of Vermont. University Press of New England, Hanover, NH, USA.
- Martinuzzi S., L.A. Vierling, W.A. Gould, M.J. Falkowski, J.S. Evans, A.T. Hudak et K.T. Vierling. Mapping snags and understory shrubs for a LiDAR-based assessment of wildlife habitat suitability. Remote Sensing of Environment 113: 2533-2546
- Melles, S.J., D. Badzinski, M.-J. Fortin, F. Csillag et K. Lindsay. 2009. Disentangling habitat and social drivers of nesting patterns in songbirds. Landscape Ecol. 24:519-531

Morsdorf F., A. Marell, B. Koetz, N. Cassagne, F. Pimont, E. Rigolot, et coll. 2010. Discrimination of vegetation strata in a multi-layered Mediterranean forest ecosystem using height and intensity information derived from airborne laser scanning. Remote Sens Environ. 114:1404-15.

Naiman R.J., C.A. Johnston et J.C. Kelley. 1988. Alteration of North American streams by beaver: the structure and dynamics of streams are changing as beaver recolonize their historic habitat. BioScience 38: 753-762

Nudds, T.D. 1977. Quantifying the vegetation structure of wildlife cover. Wildl. Soc. Bull. 5: 113-117

Reitsma, L.R., Hallworth, M.T. & Benham, P.M. 2008. Does age influence territory size, habitat selection, and reproductive success of male Canada Warblers in central New Hampshire? Wilson J. Ornithol. 120: 446–454.

Reitsma, L., M. Goodnow, M.T. Hallworth et C.J. Conway. 2010. Canada Warbler (Cardellina canadensis), Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY. Disponible à l'adresse : http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/421

Robert M., M.-H. Hachey, D. Lepage et A. R. Couturier (dir.). 2019. Deuxième atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional. Regroupement QuébecOiseaux, Service canadien de la faune (Environnement et Changement climatique Canada) et Études d'Oiseaux Canada, Montréal, xxv + 694 p.

Robbins, C.S., D.D. Dawson et B.A. Dowell. 1989. Habitat area requirements of breeding forest birds of the Middle Atlantic States. Wildlife Monographs 103:1-34.

Singh K. K., A.J. Davis, R.K. Meentemeyer. 2015. Detecting understory plant invasion in urban forests using LiDAR. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 38 267-279.

Toussaint, D. 2019. « Paruline du Canada », p. 576-577 dans Deuxième atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional (M. Robert, M.-H. Hachey, D. Lepage et A. R. Couturier, dir.) Regroupement QuébecOiseaux, Service canadien de la faune (Environnement et Changement climatique Canada) et Études d'Oiseaux Canada, Montréal, xxv + 694 p.

Van Horne, B.1983. Density as a misleading indicator of habitat quality. The Journal of Wildlife Management, 47, 893.

Varin, M., M. Dupuis, P. Bournival et J. Fink. 2015. Acquisition de connaissances essentielles à l'aménagement intégré des ressources sur le territoire Kenauk en Outaouais. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2015-17. 36 pages.

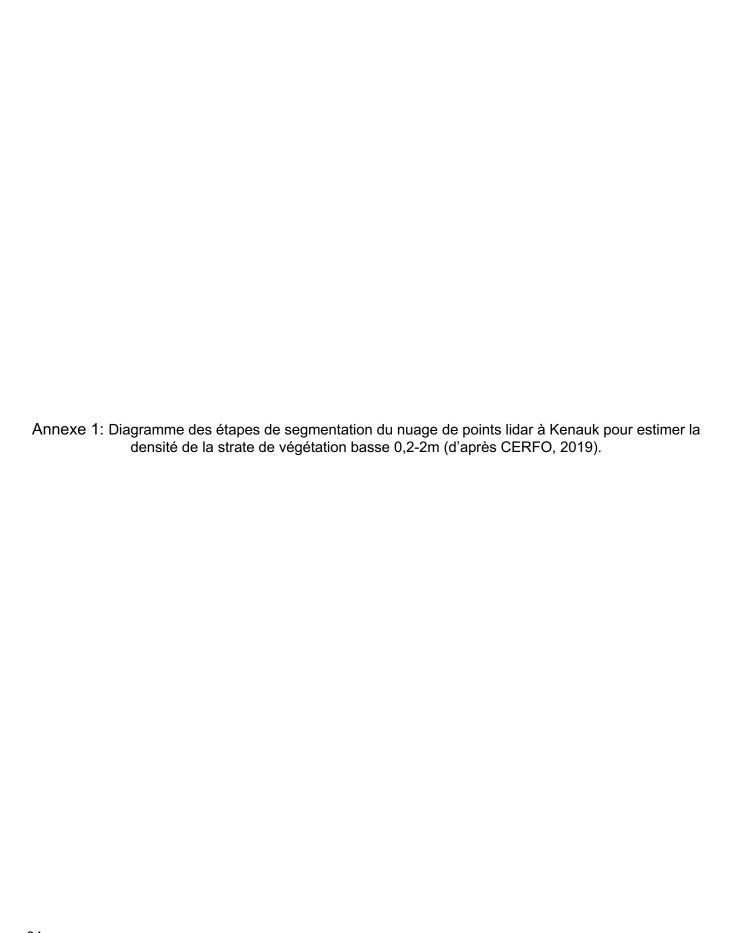
Venier L.A., T. Swystun, M.J. Mazerolle, D.P. Kreutzweiser, K.L. Wainio-Keizer, K.A. McIlwrick, M.E. Woods et X. Wang. 2019. Modelling vegetation understory cover using LiDAR metrics. PLoS ONE 14(11): e0220096. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220096

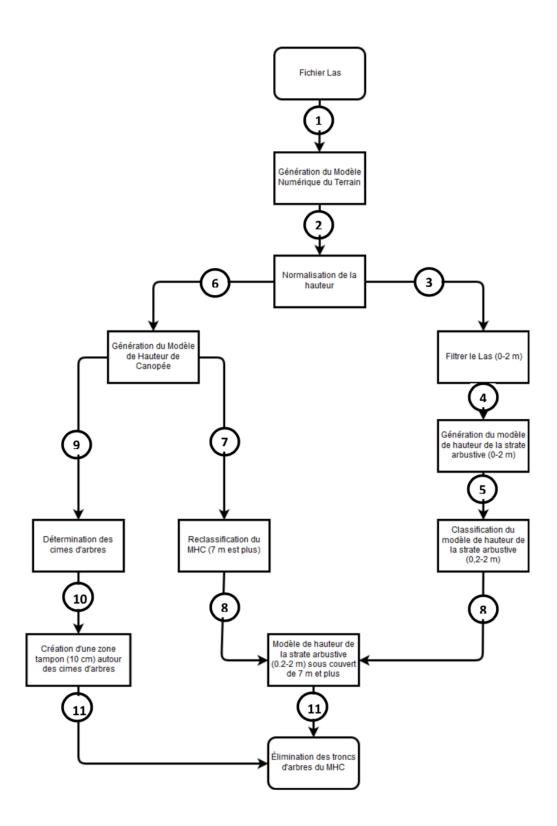
Welsh, D.A. et D.R. Fillman. 1980. The impact of forest cutting on boreal bird populations. American Birds 34:84-94.

Westwood, A., C. Harding, L. Reitsma, and D. Lambert. 2017. Guidelines for Managing Canada Warbler Habitat in the Atlantic Northern Forest of Canada. High Branch Conservation Services. Hartland, VT.

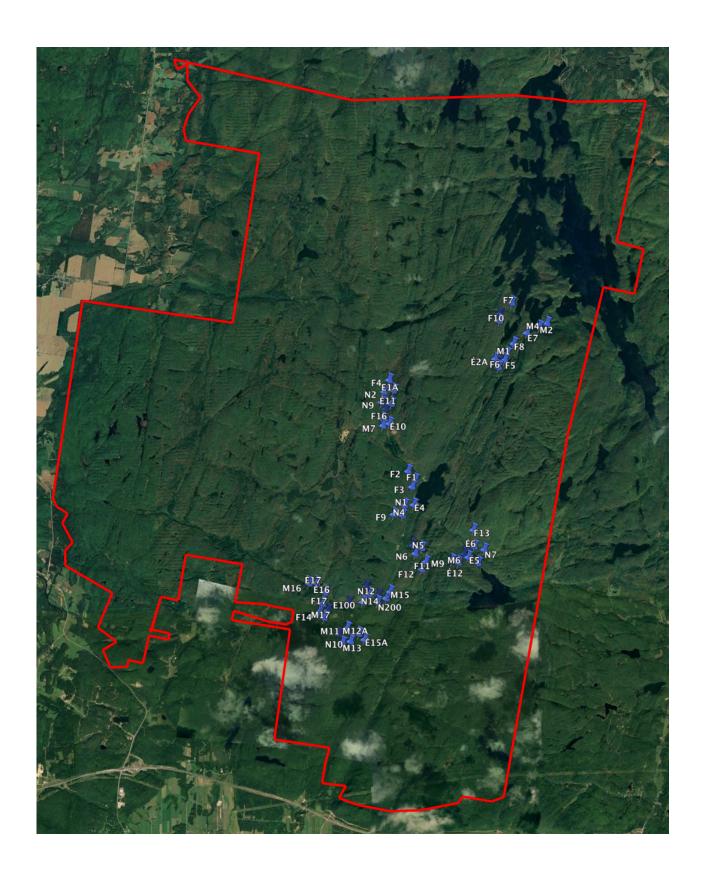
Wing B. M., Ritchie M. W., Boston K., Cohen W. B., Gitelman A., Olsen M. J. 2012. Prediction of understory vegetation cover with airborne lidar in an interior ponderosa pine forest. Remote Sens. Environ 124 730-741.

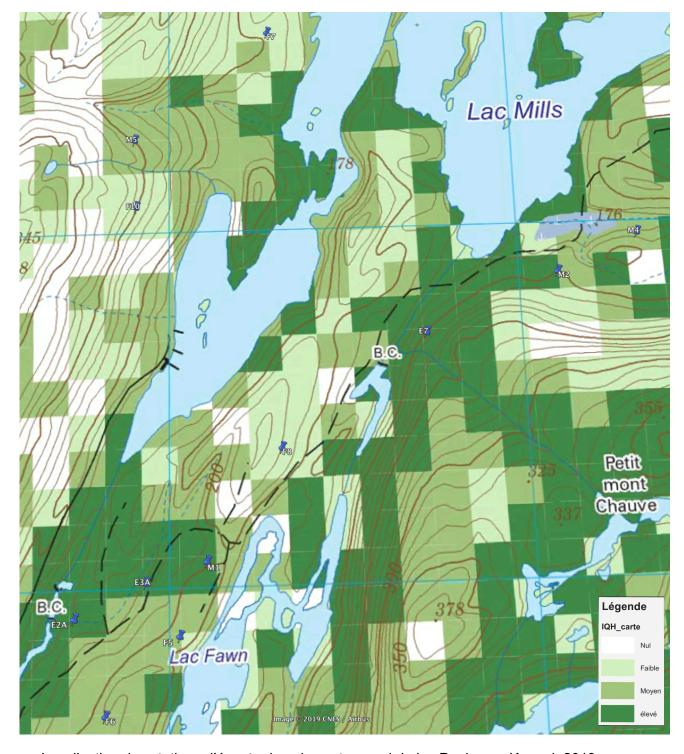
Zlonis, E.J. et G.J. Niemi. 2014. Avian communities of managed and wilderness hemiboreal forests. Forest Ecology and Management 328:26-34.



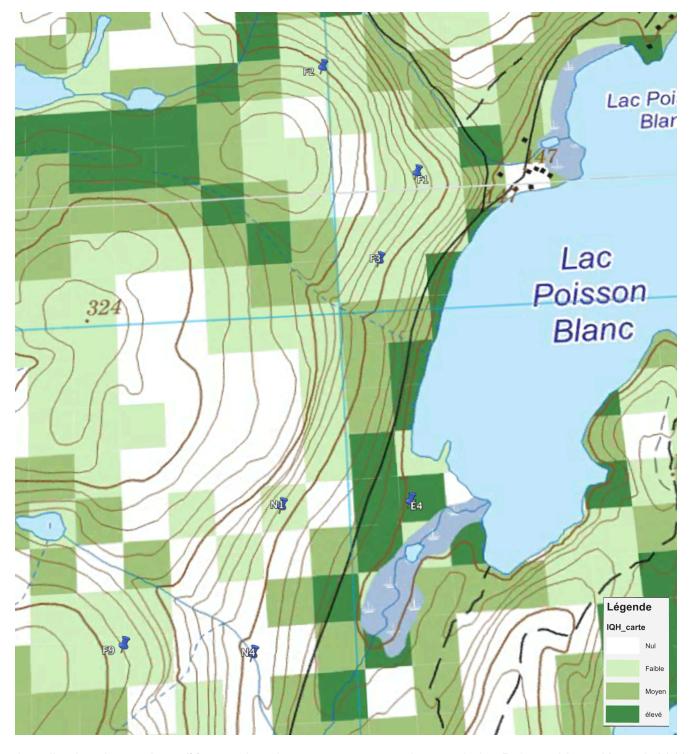


Annexe 2: Localisation des	stations d'écoute (62) modèle IQH de la Pa	à Kenauk dans le ca ruline du Canada, 20	dre des travaux de validation du 19.

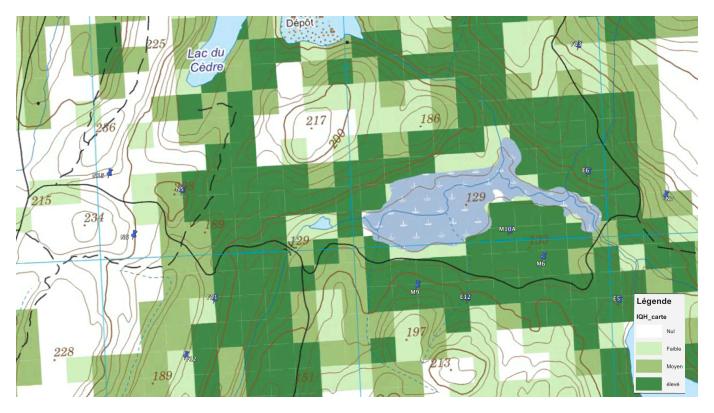




Localisation des stations d'écoute dans le secteur sud du lac Papineau, Kenauk 2019



Localisation des stations d'écoute dans le secteur est et nord-ouest du lac Poisson blanc, Kenauk 2019

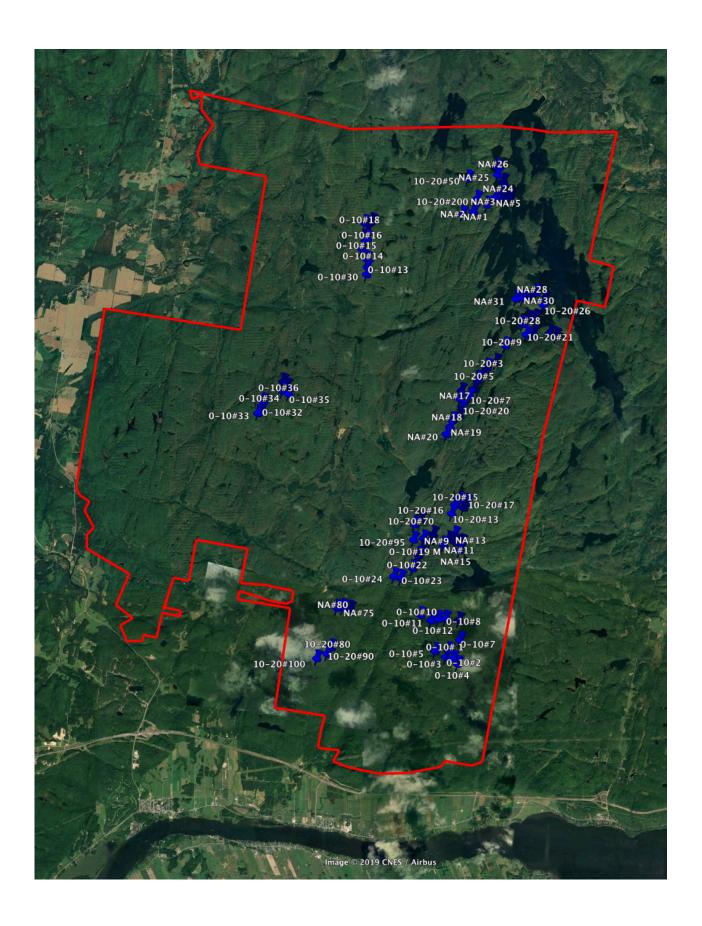


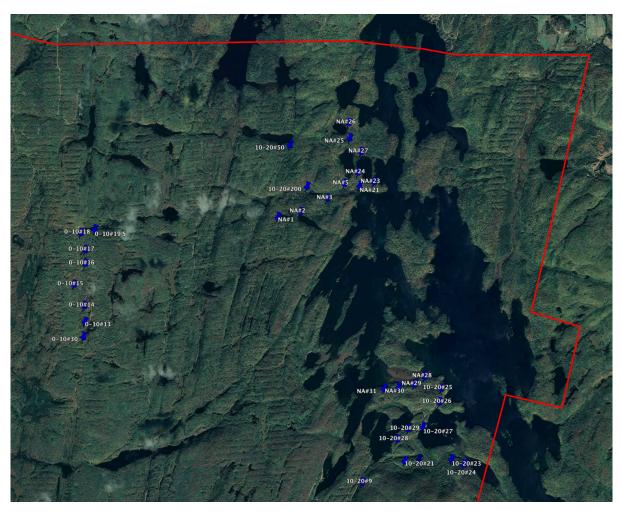
Localisation des stations d'écoute dans le secteur ouest du lac Maholey, Kenauk 2019



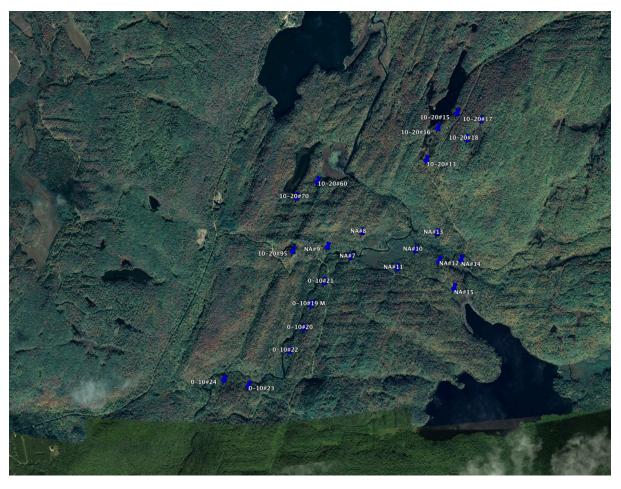
Localisation des stations d'écoute dans le secteur du lac Duck, Kenauk 2019

Annexe 3: Localisation des 93 stations d'écoute recensées dans les forêts riveraine	es à Kenauk en 2018.



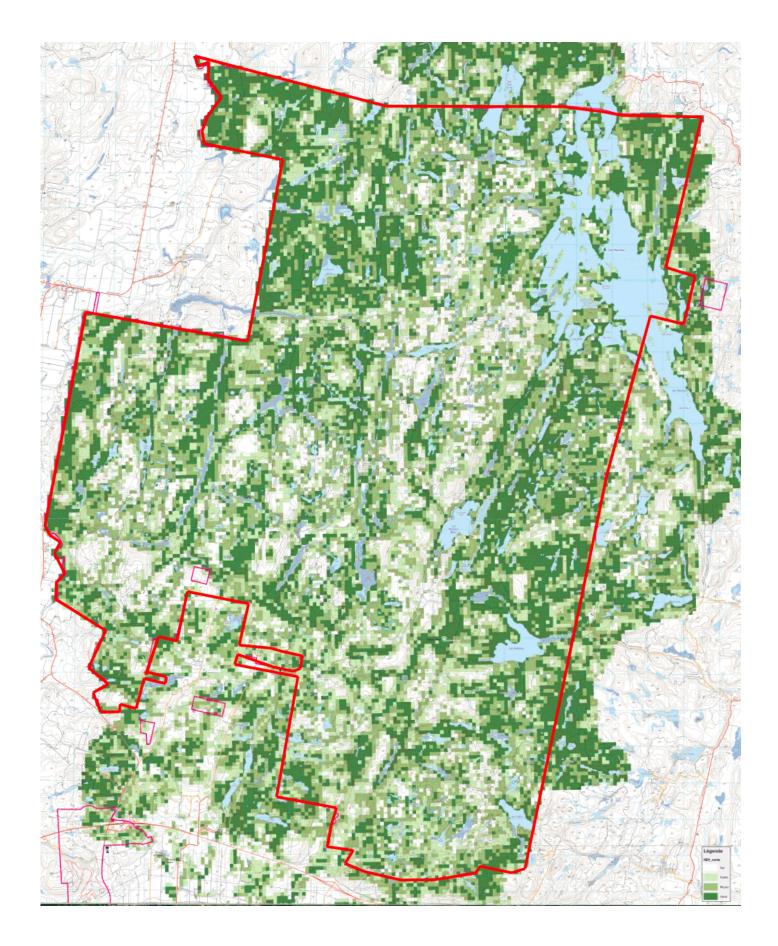












Annaua F. Malau				
d'habitat mesurés a	aux parcelles de 5 et 29 auk en 2018. Les val	5m de chacune des s	sons univariées de chac tations avec et sans pr gras sont celles monti	ésence de Paruline

Paramètres	Avec PACA moyenne ± erreur type n=22	Sans PACA moyenne ± erreur type n=21	Mann- Whitney/ (\mathcal{X}^2)	P
% reccanopée	76,34 ± 3,04	82,78 ± 1,74	4,20	0,04
Htcanopée (m)	19,73 ± 0,58	20,28 ± 0,61	0,30	0,58
Surfaceterrièretot	12,65 ± 1,61	17,73 ± 1,21	8,83	0,003
#tigearb0-2,5cm	40,12 ± 5,00	44,02 ± 10,55	(0,17)	0,68
#tigearb2,5-8cm	5,44 ± 1,03	6,44 ± 1,01	(0,038)	0,84
DenfolMoy0-1,5m	2,51 ± 0,22	2,34 ± 0,17	0,22	0,64
DenfolMoy1,5-2,5m	1,96 ± 0,18	1,77 ± 0,11	0,20	0,64
DenfolMoy0-2,5m	2,28 ± 0,18	2,07 ± 0,12	0,39	0,53
%recarbuste0-2m	34,31 ± 3,96	27,12 ± 2,83	1,24	0,26
%recarbuste2-7m	19,27 ± 3,62	20,50 ± 4,51	1,24	0,26
%recherbacées	47,35 ± 5,28	35,37 ± 4,91	2,15	0,14
%recdébrisligneux	7,69 ± 1,26	7,67 ± 0,91	0,004	0,94
%recmousse	6,48 ± 2,64	5,19 ± 2,92	0,002	0,95
Orientation (% au Nord)	44,4	55,6	0,69	0,40
Présence signes de castors (% de oui)	52,8	47,2	0,36	0,55
Présence de souches de coupes (% de oui)	40	60	0,84	0,36
Pente (°) (% 0-20%)	51,35	48,65	0,094	0,76

Annexe 6 : Sélection photographique



Exemples de forêts de valeur IQH élevée pour la nidification de la Paruline du Canada à Kenauk. Notez la présence d'une strate arbustive basse et/ou herbacée dense sous le couvert forestier et d'une structure du sol complexe comprenant des débris ligneux. Photos: Carl Savignac



Exemples de forêts de valeur IQH faible ou nulle pour la nidification de la Paruline du Canada à Kenauk. Notez l'absence d'une strate arbustive basse et d'herbacée sous le couvert forestier (photos A, B et C) en raison du manque de lumière et/ou du broutement intensif par les cerfs de Virginie, ou la présence d'arbustes et des herbacées, mais l'absence d'arbres vivants (photo D)