



Identification de secteurs prioritaires pour la création de grandes aires protégées pour le caribou forestier

Analyses réalisées pour le groupe de mise en œuvre sur les aires protégées pour le caribou forestier par :

Mathieu Leblond, Université du Québec à Rimouski (UQAR)
Christian Dussault, Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs (MFFP)
Dominic Boisjoly, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (MDDELCC)
Julien Mainguy, MFFP
Pierre Drapeau, Université du Québec à Montréal
Martin-Hugues St-Laurent, UQAR
Pier-Olivier Boudreault, Société pour la nature et les parcs du Canada, section Québec
Sophie Gallais, Nature Québec

Présenté à l'Équipe de rétablissement
du caribou forestier au Québec

Avril 2015

AVERTISSEMENT

Un des mandats des équipes de rétablissement est de conseiller le ministre responsable en matière de rétablissement des espèces. Ces avis peuvent prendre diverses formes telles que des plans de rétablissement, des bilans, des rapports ou des revues de littérature. Dans ce contexte, le présent document constitue une réalisation de l'Équipe de rétablissement et ne reflète pas la position officielle ou l'initiative du ministère et des organismes présents.

Référence à citer :

Leblond, M., Dussault, C., Boisjoly, D., Mainguy, J., Drapeau, P., St-Laurent, M.-H, Boudreau, P.-O, et Gallais, S. 2015. Identification de secteurs prioritaires pour la création de grandes aires protégées pour le caribou forestier. Pour le Groupe de mise en œuvre sur les aires protégées de l'Équipe de rétablissement du caribou forestier au Québec. Équipe de rétablissement du caribou forestier au Québec. Québec. 28 p. et annexe.

Table des matières

Introduction.....	1
Matériel et méthodes.....	4
Aire d'étude.....	4
Données spatiales	6
Données d'utilisation de l'espace par le caribou forestier	9
Modèles de sélection d'habitat.....	11
Validation du modèle	14
Délimitation des aires protégées potentielles.....	14
Résultats et discussion	
Modèle de sélection d'habitat	16
Cartes de probabilité d'occurrence	18
Identification des secteurs prioritaires potentiels	21
Description et analyse des secteurs prioritaires potentiels	21
Classement des secteurs prioritaires retenus	27
Concordance de nos résultats avec ceux obtenus lors de travaux antérieurs	30
Recommandations quant à l'utilisation des résultats présentés dans cette étude.....	30
Conclusion.....	32
Remerciements	32
Références	33

Introduction

Le gouvernement du Québec a adopté des orientations stratégiques qui permettront d'augmenter la superficie en aires protégées pour atteindre environ 12 % du territoire québécois d'ici 2015 (Gouvernement du Québec, 2011). Dans le cadre de ces mêmes orientations, le gouvernement s'est également engagé à protéger un grand territoire dédié à la conservation des espèces fauniques sensibles à l'activité humaine, ainsi qu'à évaluer l'opportunité de protéger un autre grand « espace sauvage » supplémentaire d'une superficie de plus de 10 000 km². L'Équipe de rétablissement du caribou forestier au Québec (2013) s'est quant à elle donnée comme objectif d'identifier des secteurs prioritaires pour la création d'une ou plusieurs grandes aires protégées vouées à la conservation de l'écotype forestier du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*, ci-après nommé caribou forestier), une espèce désignée vulnérable au Québec et vivant à faible densité en forêt boréale. De plus, l'équipe de rétablissement du caribou forestier reconnaît l'importance de maintenir des zones protégées au nord comme au sud de la limite nordique des forêts attribuables, afin de favoriser la connectivité entre la forêt aménagée – où l'enjeu de conservation du caribou forestier est davantage marqué – et les forêts épargnées par les activités anthropiques retrouvées plus au nord.

Une première étude a permis de délimiter des secteurs prioritaires pour la conservation du caribou forestier au sud de la limite nordique, au cœur de la forêt aménagée (Groupe de mise en œuvre sur les aires protégées de l'Équipe de rétablissement du caribou forestier au Québec, 2012). Cette étude s'appuyait sur un modèle de sélection d'habitat développé à partir de suivis télémétriques de plusieurs populations québécoises de caribous forestiers (Bastille-Rousseau et coll., 2012), ainsi que sur des relevés hivernaux de pistes répertoriés au cours d'inventaires aériens (Fortin et coll., 2008). Cette étude était confinée à l'aire occupée par le système d'information écoforestière (SIEF) du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP, 2011), les cartes écoforestières au nord de la limite nordique n'étant pas disponibles au moment de cette analyse. Il ressortait dans cette étude, entre autres, qu'il était important de développer de

nouveaux outils permettant de considérer les régions situées au nord de la limite nordique d'attribution de la forêt commerciale lors de la délimitation de futures aires protégées pour le caribou forestier.

Conséquemment, l'objectif principal de la présente étude est d'identifier des secteurs prioritaires pour la création d'aires protégées de l'ordre de 10 000 km² propices à la conservation du caribou forestier de part et d'autre de la limite nordique, en utilisant les outils cartographiques nouvellement disponibles au MFFP. En effet, nous avons utilisé les données obtenues dans le cadre du programme d'inventaire écodendrométrique nordique (ci-après PIEN) du MFFP. Le PIEN, semblable aux cartes écoforestières déjà disponibles au sud, se juxtapose à la limite nord du SIEF et s'étend jusqu'au 53^e parallèle, permettant ainsi de décrire l'habitat du caribou forestier sur une proportion beaucoup plus importante de son aire de répartition (Figure 1).

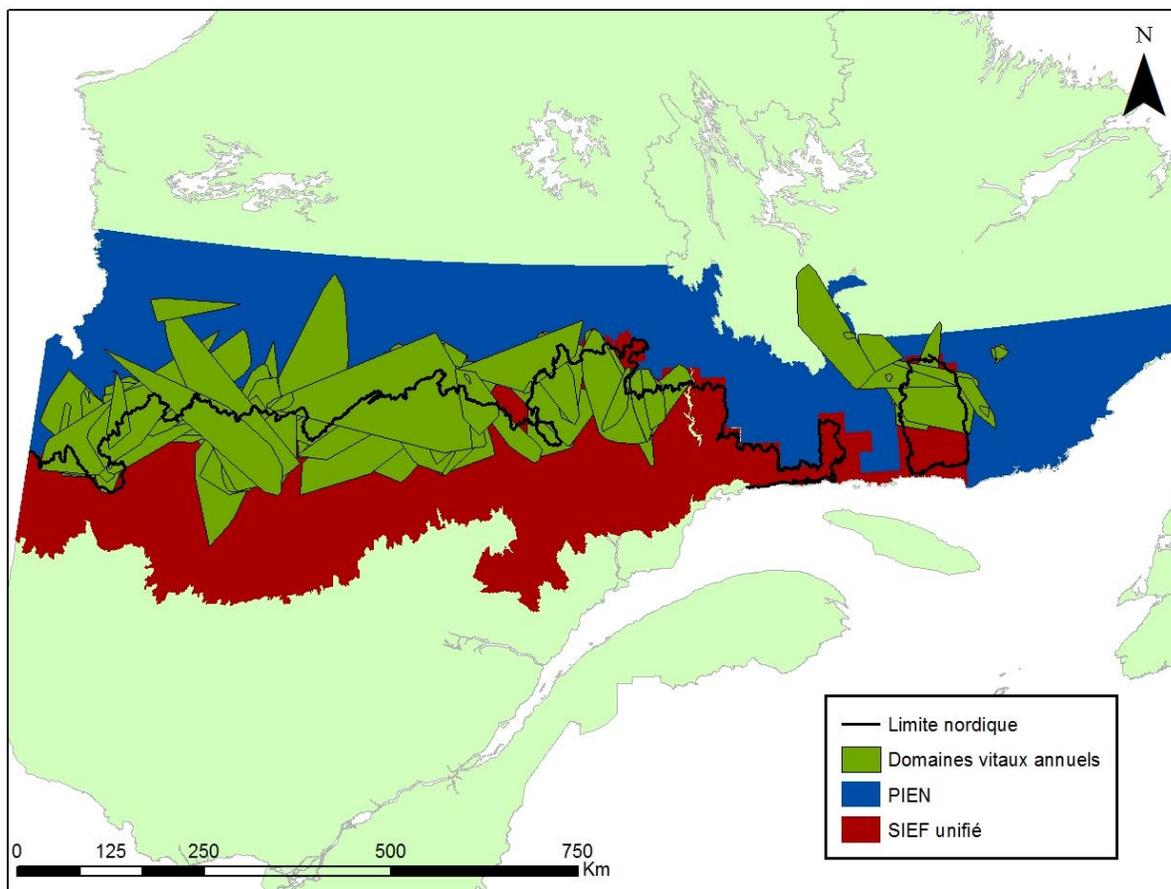


Figure 1. Cartographie de l'aire d'étude située dans la portion nord de l'aire de répartition continue du caribou forestier au Québec. La carte du programme d'inventaire écodendrométrique nordique (PIEN) du MFFP (en bleu) est juxtaposée à la carte unifiée du système d'information écoforestière (SIEF) réalisée par Bélanger et coll. (2008; en rouge). Les domaines vitaux annuels des caribous forestiers suivis par télémétrie GPS ayant utilisé le secteur couvert par le PIEN au moins une fois au cours d'une année donnée sont représentés en vert.

Matériel et méthodes

Aire d'étude

Nous avons utilisé des données télémétriques récoltées sur des caribous forestiers équipés de colliers GPS dans le cadre d'études antérieures afin d'identifier les individus ayant utilisé le secteur cartographié par le PIEN. Toutefois, nous ne voulions pas restreindre notre analyse à l'aire occupée par le PIEN exclusivement. En effet, la plupart des caribous forestiers suivis ont utilisé cette région pendant seulement une partie de l'année; en moyenne, $50 \pm 37\%$ (écart-type) des localisations télémétriques de chaque individu se retrouvaient au nord de la limite nordique des forêts attribuables. De ce fait, il est probable que la sélection d'habitat des individus au nord de la limite nordique soit dépendante des caractéristiques d'habitat retrouvées plus au sud. De plus, la limite nordique est une frontière administrative qui n'implique pas de véritable changement dans les conditions forestières. Pour ces raisons, nous avons opté pour l'utilisation d'une cartographie unifiée du nord et du sud, réalisée par Bélanger et coll. (2008). Ces auteurs ont simplifié la catégorisation et diminué la résolution du SIEF afin qu'il puisse être fusionné au PIEN.

Pour délimiter l'aire d'étude, nous avons d'abord sélectionné les individus ayant utilisé l'aire couverte par le PIEN au moins une fois au cours d'une année donnée. Nous avons ensuite découpé la carte unifiée en conservant une zone tampon de 20 km autour des domaines vitaux annuels, afin que seule la zone occupée par ces individus (au cours d'une année complète) soit conservée (Figure 2). Ceci nous a permis de développer un modèle de sélection d'habitat ajusté au comportement des caribous forestiers retrouvés dans la partie nord de l'aire de répartition continue de cette espèce. Pour les besoins de ce rapport, nous avons d'abord développé le modèle de sélection d'habitat dans l'aire d'étude déterminée par les domaines vitaux annuels des caribous (aire orangée de la Figure 2), puis avons extrapolé nos résultats à l'ensemble de la carte du PIEN et du SIEF unifié (aires bleue et rouge de la Figure 2) afin de déterminer

les meilleurs emplacements potentiels d'aires protégées destinées à la protection du caribou forestier.

Nous savions d'entrée de jeu que nos analyses ne nous permettraient pas de connaître avec certitude les secteurs utilisés par les caribous forestiers, notamment dans la partie nord du territoire considéré compte tenu de l'ensemble des localisations télémétriques qui était à notre disposition. Ainsi, nous avons convenu d'extrapoler le modèle développé à partir du jeu de données disponibles aux zones avoisinantes, dont celles plus nordiques. Comme il n'existe aucune autre information sur l'utilisation de ces secteurs par le caribou, cette méthodologie nous est apparue la plus favorable d'ici à ce que de nouvelles études nous permettent de mieux comprendre le comportement des caribous forestiers dans la partie nord de l'aire de répartition de cet écotype au Québec.

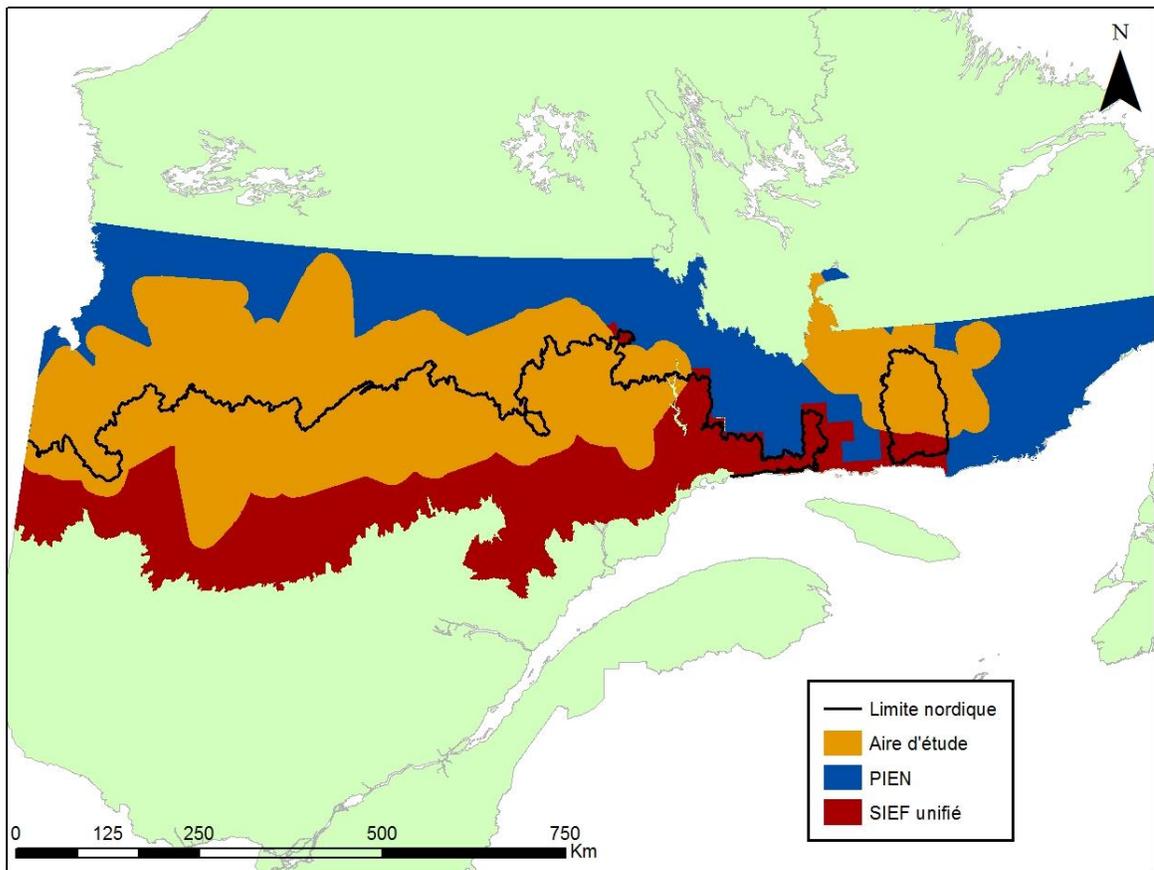


Figure 2. Aire d'étude utilisée pour réaliser les analyses de sélection d'habitat et la cartographie de la probabilité relative d'occurrence du caribou forestier dans la portion nord de son aire de répartition au Québec. Cette aire d'étude englobe les domaines vitaux annuels des caribous forestiers suivis par télémétrie GPS ayant utilisé le secteur couvert par le PIEN au moins une fois au cours d'une année donnée et une zone tampon de 20 km autour de ces domaines vitaux.

Données spatiales

Nous avons d'abord extrait les variables d'habitat nécessaires à l'élaboration de nos modèles de sélection d'habitat. Ces manipulations ont été réalisées dans un système d'information géographique (SIG) à l'aide du logiciel ArcGIS 10 (ESRI inc., Redlands, CA) et de l'extension *Geospatial Modelling Environment* (spatialecology.com). Nous avons généré 17 catégories d'habitat en nous basant sur le type de couvert, le stade de développement et la densité des arbres dans chaque peuplement, des variables disponibles dans la carte écoforestière

unifiée. De façon générale, nous avons séparé la carte écoforestière en neuf milieux forestiers, quatre milieux naturels ouverts, deux perturbations naturelles majeures et deux perturbations humaines (Tableau 1).

Nous avons séparé les milieux forestiers en peuplements en régénération feuillue, mélangée ou résineuse, ainsi qu'en peuplements matures ou mûrs feuillus, mélangés ou résineux. Nous avons subdivisé cette dernière catégorie selon la classe de densité des peuplements résineux en place, soit les landes résineuses (densité de 10 à 25 %, classe L), les peuplements résineux de densité 26 à 40 % (classe D), les peuplements résineux de densité 41 à 60 % (classe C) et les peuplements résineux de densité 61 à 100 % (classes A et B, incluant les îles). Le stade de développement « régénération » du PIEN équivaut aux classes d'âge 10 à 30 ans du SIEF (âge de l'étage dominant), alors que les stades « jeune » et « mûr » représentent respectivement des classes d'âge de 50 à 90 ans (incluant les jeunes peuplements inéquiennes) et de 120 ans et plus (incluant les vieux peuplements inéquiennes; Bélanger et coll., 2008). Afin d'éviter toute confusion, nous avons toutefois préféré le terme « mature » au terme « jeune » pour identifier les forêts de classes d'âge 50 à 90 ans.

Les milieux naturels ouverts étaient représentés par les étendues d'eau, les milieux terrestres sans végétation (p. ex. : champs de blocs, affleurements rocheux), les milieux humides (p. ex. : tourbières) et les landes ouvertes ou arbustives (p. ex. : landes à lichens ou à mousses). Nous avons séparé les brûlis des autres types de perturbations naturelles (p. ex. : chablis, épidémies, dépérissement total). Enfin, nous avons séparé les interventions forestières (p. ex. : coupes, plantations) des autres milieux anthropiques (p. ex. : zones urbaines, lignes de transport d'énergie, infrastructures).

Nous avons calculé la disponibilité des catégories d'habitat, c.-à-d. la proportion occupée par chaque catégorie d'habitat dans l'ensemble des domaines vitaux annuels de caribous forestiers (Tableau 1). Nous avons aussi utilisé les données télémétriques récoltées sur les caribous forestiers afin de calculer un pourcentage d'utilisation représentant la proportion des localisations

Tableau 1. Catégories d'habitat utilisées pour identifier les secteurs prioritaires à la conservation du caribou forestier. Ces catégories d'habitat ont été obtenues à partir de la carte écoforestière unifiée du nord (PIEN) et du sud (SIEF) de la limite nordique des forêts attribuables préparée par Bélanger et coll. (2008). La disponibilité (%) représente le pourcentage occupé par chaque catégorie d'habitat dans l'aire occupée par l'ensemble des domaines vitaux annuels des caribous suivis par télémétrie. L'utilisation (%) représente le pourcentage des localisations télémétriques de caribou forestier retrouvé dans chaque catégorie d'habitat.

Regroupement	Catégorie d'habitat*	Disponibilité (%)	Utilisation (%)
Milieux forestiers	Régénération feuillue ^a	<0,01	<0,01
	Régénération mélangée ^a	0,04	<0,01
	Régénération résineuse ^a	0,05	0,02
	Forêt mature ou mûre feuillue ^a	0,16	0,07
	Forêt mature ou mûre mélangée ^a	1,38	0,77
	Forêt mature ou mûre résineuse, densité 10 à 25 % (classe L)	11,11	16,78
	Forêt mature ou mûre résineuse, densité 26 à 40 % (classe D)	17,94	27,89
	Forêt mature ou mûre résineuse, densité 41 à 60 % (classe C)	16,01	22,22
	Forêt mature ou mûre résineuse, densité 61 à 100 % (classes A et B); îles	5,88	7,72
Milieux naturels ouverts	Étendue d'eau	13,80	3,38
	Milieu terrestre sans végétation	0,41	0,65
	Milieu humide	6,74	5,51
	Lande ouverte ou arbustive	0,52	1,28
Perturbations naturelles	Brûlis ^b	21,91	12,54
	Perturbation naturelle (autre que brûlis) ^b	0,56	0,28
Perturbations humaines	Intervention forestière ^c	3,37	0,87
	Milieu anthropisé ^c	0,11	0,01

* Les catégories d'habitat marquées d'une lettre semblable (a, b ou c) ont été regroupées dans les analyses de sélection d'habitat.

téléométriques retrouvée dans chaque catégorie d'habitat (Tableau 1). Suite à cette évaluation, nous avons effectué certains regroupements de catégories d'habitat faiblement représentées dans l'aire d'étude et auxquelles le caribou forestier semblait réagir de manière similaire, en nous basant sur la comparaison des rapports d'utilisation en fonction de la disponibilité. Ainsi, nous avons regroupé les peuplements en régénération feuillue, mélangée ou résineuse, ainsi que les forêts matures ou mûres feuillues et mélangées. Ceci nous a permis de diminuer le nombre de milieux forestiers à cinq catégories, soit quatre catégories de forêts résineuses matures ou mûres de différentes densités et une classe représentant tous les types de peuplements en régénération, ainsi que les forêts feuillues et mélangées de ≥ 50 ans (disponibilité = 1,64 %, utilisation = 0,88 %). Nous avons aussi regroupé les perturbations naturelles avec les brûlis (disponibilité = 22,47 %, utilisation = 12,82 %), ainsi que les interventions forestières avec les milieux anthropisés (disponibilité = 3,48 %, utilisation = 0,88 %). Nous avons de plus calculé la disponibilité et l'utilisation des différentes catégories d'habitat par le caribou forestier dans trois régions de notre aire d'étude selon un axe longitudinal, c.-à-d. l'ouest (Jamésie), le centre (nord du Lac-St-Jean/Manicouagan) et l'est (Minganie) du Québec (Annexe A).

Nous avons utilisé la cartographie du réseau de transport terrestre du Québec (Ministère des Ressources naturelles du Québec, 2013) afin d'identifier l'ensemble des routes et chemins forestiers inclus dans notre aire d'étude. Enfin, nous avons développé un modèle d'élévation numérique grâce aux cartes topographiques de Ressources naturelles Canada (<http://www.geogratis.gc.ca>) afin de déterminer l'altitude et la pente.

Données d'utilisation de l'espace par le caribou forestier

Nous avons utilisé des données GPS provenant de quatre suivis téléométriques indépendants réalisés au cours de la dernière décennie dans le nord du Québec, dans les régions du Nord-du-Québec (Jamésie), du Saguenay-Lac-Saint-Jean, ainsi que sur la Côte-Nord, dans les secteurs du réservoir Manicouagan et de la Minganie (Tableau 2).

Tableau 2. Données GPS utilisées pour évaluer l'utilisation de l'espace par le caribou forestier.

Secteur	Source	Années	Nombre d'individus suivis	Total d'individus-années	Nombre d'individus-années retenus*	Nombre d'individus retenus *	Nombre total de localisations
Jamésie	Rudolph et coll., 2012	2004-2012	55	231	74	30	54 661
Saguenay-Lac-St-Jean	Leclerc et coll., 2012	2004-2012	64	203	7	3	13 891
Réservoir Manicouagan	Fortin et coll., 2013	2005-2012	37	102	14	8	60 461
Minganie	MFFP, données non publiées	2012-2013	22	36	18	14	14 277

* Individus ayant utilisé l'aire occupée par le PIEN au moins une fois au cours de l'année donnée

Modèles de sélection d'habitat

Nous avons associé une catégorie d'habitat à chaque localisation télémétrique, ainsi qu'à un nombre équivalent de localisations aléatoires tirées dans le domaine vital annuel des individus sélectionnés (déterminé à partir de la méthode du polygone convexe minimum à 100 % ; Mohr, 1947). Nous avons ensuite mesuré la distance minimale (km) entre chaque localisation et la route la plus proche. Nous avons tronqué cette variable de distance à 1 250 m afin de considérer les limites du rayon de perception des caribous (Leblond et coll., 2011). Enfin, nous avons mesuré l'altitude (km) et la pente (°) de chaque localisation grâce à notre modèle d'élévation numérique. Suite à l'analyse de la relation entre chaque variable continue et l'utilisation de l'habitat par le caribou, nous avons aussi utilisé l'altitude au carré (altitude^2) dans nos modèles pour mieux représenter la relation non linéaire observée.

Nous avons évalué différentes hypothèses alternatives pour expliquer le comportement de sélection d'habitat du caribou forestier à l'aide de fonctions de sélection des ressources (*resource selection functions*: RSF; Manly et coll., 2002). Ces hypothèses, présentées sous forme de modèles candidats (Tableau 3), permettent ultimement de convertir la composition et la structure du paysage en probabilité relative d'occurrence du caribou forestier. Tous les modèles candidats comportaient un effet aléatoire individu \times année, afin de considérer les différences interindividuelles du comportement ainsi que les variations dans les conditions environnementales (Gillies et coll., 2006). Nous avons utilisé le critère d'information d'Akaike corrigé pour petits échantillons (AIC_c ; Burnham et Anderson, 2002) afin de sélectionner le modèle le plus parcimonieux. Nous avons réalisé des analyses de colinéarité afin de nous assurer que les variables n'étaient pas fortement colinéaires et ainsi répondre aux prémisses de l'analyse. Nous avons pu conserver l'ensemble des variables d'habitat, puisque le *Variance Inflation Factor* (VIF) était $\leq 1,61$ (Graham, 2003). Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC).

Nous avons normalisé le résultat de l'équation de la RSF du modèle le plus parcimonieux afin d'obtenir un indice variant entre 0 (c.-à-d. une faible probabilité relative de retrouver un caribou forestier, selon le modèle) et 1 (c.-à-d. une forte probabilité relative de retrouver un caribou forestier), grâce à l'équation 1 :

$$[\text{Éq. 1}] \quad Sx_i = (x_i - \min(x_j)) / (\max(x_j) - \min(x_j))$$

où chaque valeur i dépend de l'étendue de l'ensemble des valeurs j . Cette étape a permis de maximiser le contraste entre les secteurs de plus ou moins grande probabilité relative d'occurrence, afin de faciliter la lecture de la carte et la délimitation des secteurs à fort potentiel pour la création de grandes aires protégées consacrées à la protection de l'habitat du caribou forestier.

Tableau 3. Modèles candidats de sélection d'habitat par le caribou forestier au nord de son aire de répartition. Seuls les individus ayant utilisé les régions situées au nord de la limite nordique des forêts attribuables (aire occupée par le PIEN) au moins une fois durant une année donnée ont été inclus dans l'analyse. Pour chaque modèle, nous présentons le nombre de paramètres (k), le logarithme du maximum de vraisemblance (*log-likelihood*; LL) et la différence entre la valeur d'AIC_c du modèle avec le modèle le plus parcimonieux (ΔAIC_c).

Modèle	Variables d'habitat	k	LL	ΔAIC_c
Habitat	10 catégories d'habitat ^a (catégorie de référence = Résineux de densité 41 à 60 %)	10	-189213,1	4373,6
Habitat + Topographie	Modèle « Habitat » + altitude (km) + altitude ² + pente (°)	13	-188730,7	3414,7
Habitat + Topographie + Routes (Global)	Modèle « Habitat + Topographie » + distance aux routes (km)	14	-187022,3	0,0

^a Les catégories d'habitat du modèle « Habitat » sont 1) les peuplements feuillus, mélangés ou en régénération, 2) les résineux de densité 10 à 25 %, 3) les résineux de densité 26 à 40 %, 4) les résineux de densité 61 à 100 %, 5) les étendues d'eau, 6) les milieux terrestres sans végétation, 7) les milieux humides, 8) les landes ouvertes ou arbustives, 9) les perturbations naturelles et 10) les perturbations humaines.

Validation du modèle

Nous avons effectué une validation croisée afin d'évaluer le pouvoir prédictif du modèle le plus parcimonieux en suivant l'approche proposée par Boyce et coll. (2002). Nous avons estimé le modèle de sélection d'habitat le plus parcimonieux sur un jeu de données provenant d'un échantillonnage aléatoire de 75 % des données globales, et nous avons appliqué l'équation résultante sur le reste des données (c.-à-d. le 25 % résiduel). Nous avons regroupé les valeurs de probabilité relative d'occurrence en dix classes (classes de 10 %, ou déciles) et nous avons réalisé une corrélation de Spearman (r_s) entre les classes (1 à 10) et le nombre de localisations télémétriques qu'elles contenaient. Avec ce type d'analyse, un coefficient de corrélation élevé (c.-à-d. tendant vers 1) indiquerait un grand pouvoir prédictif du modèle de sélection d'habitat (Boyce et coll., 2002). Nous avons répété ce processus dix fois, en changeant à chaque fois la composition de l'échantillon aléatoire, et nous avons calculé un coefficient de corrélation de Spearman moyen (\bar{r}_s). Afin de nous assurer que le modèle possédait une performance comparable sur l'ensemble de l'aire d'étude, nous avons aussi validé le modèle global en l'appliquant, tour à tour, dans les trois principales zones de notre aire d'étude, c.-à-d. la Jamésie (ouest), le nord du Lac-Saint-Jean/Manicouagan (centre) et la Minganie (est).

Délimitation des aires protégées potentielles

Nous avons élaboré une carte de probabilité relative d'occurrence sur l'ensemble de l'aire d'étude à partir de l'indice RSF normalisé. Pour ce faire, nous avons divisé l'aire d'étude en une grille de cellules de 100 × 100 m (1 ha). Nous avons ensuite transformé les données de la carte écoforestière unifiée ainsi que la distance aux routes en des couches numériques matricielles ayant une résolution de 100 m, afin de correspondre à la résolution de notre modèle d'élévation numérique. Enfin, nous avons appliqué l'équation du modèle RSF à chacune des cellules de la carte unifiée. Nous avons utilisé cette carte de probabilité relative

d'occurrence « extrapolée » afin de délimiter finement les contours des secteurs les plus propices à satisfaire les besoins du caribou forestier.

Toutefois, nous avons préalablement réalisé une analyse de voisinage permettant d'attribuer à chaque cellule de la carte une valeur représentative du contexte paysager dans lequel elle se trouve et ce pour identifier les grands secteurs présentant les caractéristiques nécessaires à la création d'aires protégées pour le caribou. Cette analyse nous a permis de calculer la moyenne des valeurs de RSF dans le paysage avoisinant chaque cellule de 1 ha à l'aide d'un cercle de 10 000 km² (rayon de 56,4 km). Nous avons utilisé cette superficie car elle correspond aux engagements gouvernementaux pour la création de grandes aires protégées pour le caribou forestier. De plus, des massifs de grandes superficies ont aussi été recommandés dans la littérature pour la conservation du caribou forestier (Courtois et coll., 2004 ; Wilkinson, 2008; Courbin et coll., 2009; Lesmerises et coll., 2013). Nous avons finalement simplifié les cartes représentant les résultats des analyses de voisinage selon dix classes de probabilité d'occurrence moyenne (10 déciles) pour faciliter la sélection. Nous avons privilégié les régions où les probabilités d'occurrence moyennes étaient les plus élevées (quantiles 9 et 10) et où les perturbations naturelles (p. ex. : feux) et anthropiques (p. ex. : routes) étaient relativement rares. Nous avons validé à l'aide d'images satellitaires RapidEye 2013.

Dans un deuxième temps, les secteurs prioritaires potentiels ont été délimités en fonction des objectifs établis pour la protection et le rétablissement du caribou forestier dans son aire de distribution continue au Québec. Ainsi, les secteurs retenus :

- Étaient utilisés par le caribou forestier, tel que confirmé par les localisations télémétriques et les relevés hivernaux de pistes (Fortin et coll., 2008).
- Incluaient ou étaient à proximité de la limite nordique des forêts attribuables, de façon à optimiser la connectivité avec les aires protégées propices au caribou forestier retrouvées au sud de la limite nordique, en forêt aménagée.
- Avaient une superficie proche ou supérieure à 10 000 km².

- Ne comportaient pas de contraintes majeures à l'établissement d'une aire protégée (projets de développement, titres miniers, forêt aménagée, etc.).

Il est à noter que les secteurs ayant brûlé en 2013 ont été exclus de la délimitation des secteurs prioritaires potentiels, étant donné que les données d'habitat ayant servi à l'élaboration du modèle de probabilité d'occurrence ne comptabilisaient que les feux antérieurs à 2012. Nous sommes conscients que cette exclusion *a posteriori* donne un poids plus grand aux feux de 2013 par rapport au reste des variables du modèle. Cependant, dans une perspective d'efficacité à court moyen terme des grandes aires protégées sur la protection des populations de caribou, il nous semblait préférable de tenir compte de ces grandes aires brûlées récemment, 2013 étant d'ailleurs une année exceptionnelle en termes de feux de grande envergure.

Résultats et discussion

Modèle de sélection d'habitat

Le modèle le plus parcimonieux permettant d'expliquer la sélection d'habitat du caribou forestier au nord de son aire de répartition était un modèle composé des catégories d'habitat, des variables topographiques et de la distance aux routes (modèle global, voir Tableau 4). Ce modèle avait un excellent pouvoir prédictif sur l'ensemble de l'aire d'étude ($\bar{r}_s = 0,99$, $P < 0,01$), ainsi que dans les trois zones de l'aire d'étude (Jamésie : $\bar{r}_s = 0,96$, $P < 0,01$; Lac-Saint-Jean/Manicouagan : $\bar{r}_s = 0,98$, $P < 0,01$; Minganie : $\bar{r}_s = 0,84$, $P < 0,01$). L'effet relatif de chaque variable d'habitat sur la probabilité relative d'occurrence du caribou forestier est présenté au Tableau 4. Les caribous ont sélectionné les résineux matures et mûrs à faible densité (10 à 40 %) ainsi que les landes ouvertes ou arbustives (par rapport à la catégorie de référence, c.-à-d. les résineux de densité 41 à 60 %). Inversement, ils ont évité les milieux feuillus, mélangés ou en régénération, les étendues d'eau, ainsi que les perturbations

naturelles et humaines. Ils ont également évité la proximité des routes. Enfin, ils ont sélectionné des altitudes intermédiaires, et non pas les plus hauts sommets disponibles ou les fonds de vallées.

Les résultats de nos analyses de sélection d'habitat sont similaires à ceux obtenus plus au sud, dans d'autres études portant sur la sélection d'habitat du caribou forestier au Québec (p. ex. : Courtois, 2003; Courbin et coll., 2009; Bastille-Rousseau et coll., 2012) et ailleurs au Canada (p. ex. : Rettie et coll., 1997; Smith et coll., 2000; Johnson et coll., 2001). L'évitement des routes par le caribou a aussi été rapporté dans plusieurs études (p. ex. : Dyer et coll., 2002; Leblond et coll., 2011; Polfus et coll., 2011). Évidemment, l'habitat retrouvé au nord de la limite nordique des forêts attribuables est passablement différent de l'habitat retrouvé plus au sud. Notamment, les brûlis y sont beaucoup plus abondants qu'au sud (principalement au centre-ouest du Québec), alors que les interventions forestières y sont absentes. De plus, il existe un gradient ouest-est de disponibilité en milieux humides. Néanmoins, les caribous ont semblé réagir de manière relativement uniforme sur toute l'aire d'étude évaluée, tel que le suggèrent les analyses de validation réalisées indépendamment dans les trois principaux secteurs d'étude.

Nous tenons à rappeler que la carte de probabilité relative d'occurrence n'indique pas nécessairement la distribution réelle de l'espèce sur le territoire. Elle permet plutôt de cartographier un modèle mathématique de sélection d'habitat par un groupe d'individus, selon plusieurs caractéristiques environnementales. C'est pourquoi nous utilisons le terme « probabilité » dans l'ensemble du rapport. D'autres facteurs qui ne sont pas reliés à l'habitat et qui n'ont pas été considérés dans le modèle peuvent avoir une influence notable sur la répartition des animaux (p. ex. : taux de prédation, barrières géographiques). De même, les animaux utilisent parfois l'habitat de façon mal adaptée, en se concentrant dans des habitats de mauvaise qualité, particulièrement lorsque les niveaux de perturbation humaine sont élevés (Beauchesne et coll., 2014).

Tableau 4. Estimés de paramètre (β) et intervalles de confiance à 95 % (IC 95%; les bornes inférieure et supérieure de l'intervalle sont présentées) des variables d'habitat composant le meilleur modèle de sélection d'habitat du caribou forestier. Les variables dont le β est positif et pour lesquelles l'IC 95% exclu le 0 sont considérées significativement sélectionnées par le caribou, sauf pour la variable de distance aux routes, où une plus grande distance (β positif) signifie un évitement. Les variables dont le β est négatif et pour lesquelles l'IC 95% exclu le 0 sont considérées significativement évitées.

Variable	β	IC 95%
<i>Catégories d'habitat^a</i>		
Feuille, mélangé ou en régénération	-0,69	[-1,12 : -0,25]
Résineux de densité 10 à 25 %	0,32	[0,07 : 0,57]
Résineux de densité 26 à 40 %	0,37	[0,14 : 0,59]
Résineux de densité 61 à 100 %	-0,06	[-0,32 : 0,20]
Étendue d'eau	-1,46	[-1,81 : -1,11]
Milieu terrestre sans végétation	-0,23	[-0,66 : 0,20]
Milieu humide	-0,08	[-0,27 : 0,11]
Lande ouverte ou arbustive	1,15	[0,67 : 1,63]
Perturbation naturelle	-0,73	[-0,97 : -0,50]
Perturbation humaine	-0,50	[-0,90 : -0,10]
<i>Topographie</i>		
Altitude (km)	3,36	[-0,14 : 6,85]
Altitude ²	-3,78	[-6,75 : -0,80]
Pente (°)	-0,01	[-0,03 : 0,02]
<i>Routes</i>		
Distance aux routes (km)	1,34	[0,83 : 1,85]

^a La catégorie d'habitat de référence était les résineux de densité 41 à 60 %.

Cartes de probabilité d'occurrence

Nous avons utilisé le modèle de sélection d'habitat le plus parcimonieux pour créer la carte de probabilité relative d'occurrence du caribou forestier que nous avons ensuite extrapolée sur tout le territoire couvert par les données du PIEN et du SIEF unifié (Figure 3). Sur cette carte, les secteurs en vert ont les caractéristiques d'habitat les plus propices à la présence du caribou forestier, alors que les secteurs en rouge ont les caractéristiques les moins propices. Nous avons également produit une carte représentant l'analyse de voisinage réalisée dans un contexte paysager de 10 000 km² et simplifiée pour permettre la

sélection des grands secteurs prioritaires à la conservation du caribou forestier (Figure 4).

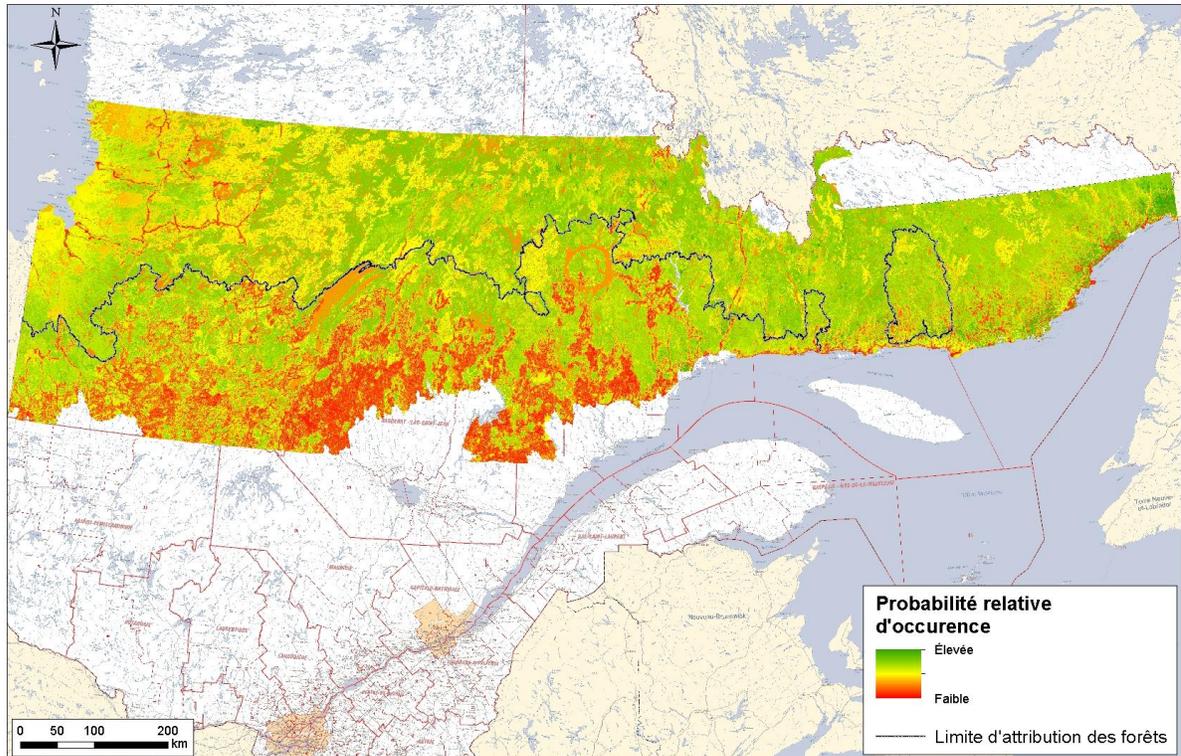


Figure 3. Carte de probabilité relative d'occurrence du caribou forestier au nord de son aire de répartition au Québec.

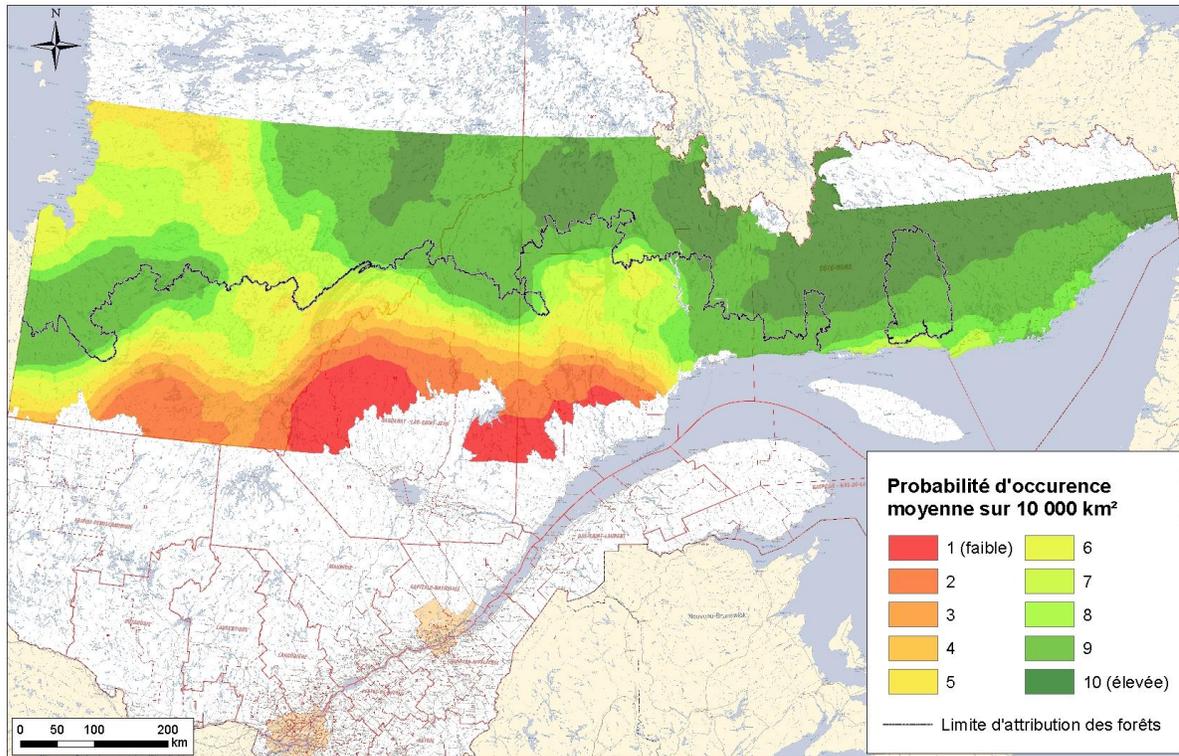


Figure 4. Probabilité d'occurrence moyenne du caribou forestier obtenue grâce à une analyse de voisinage dans des contextes paysagers de 10 000 km² autour de chaque cellule, représentée en déciles.

Il est à noter que l'extrapolation du modèle de sélection d'habitat dans les secteurs où aucun caribou n'était suivi doit être interprétée avec précaution. En effet, il est possible que les caribous retrouvés hors de l'aire d'application du modèle (c.-à-d. hors de la zone orangée dans la figure 2) aient un comportement légèrement différent des individus que nous avons suivis par télémétrie. Néanmoins, comme notre objectif était de délimiter finement les contours des futures aires de conservation, et qu'aucune autre information n'existait dans ces secteurs, nous avons tout de même choisi d'extrapoler le modèle sur tout le Nord québécois. Nous espérons que de nouvelles études seront réalisées dans un futur proche afin de mieux comprendre le comportement des caribous forestiers au nord de la limite nordique actuelle au Québec, et ainsi bonifier la présente étude.

Identification des secteurs prioritaires potentiels

En sélectionnant les secteurs où la probabilité d'occurrence moyenne sur 10 000 km² était la plus élevée (classes 9 et 10) et selon les critères de sélection que nous nous étions fixés, nous avons déterminé cinq secteurs prioritaires potentiels (Figure 5).

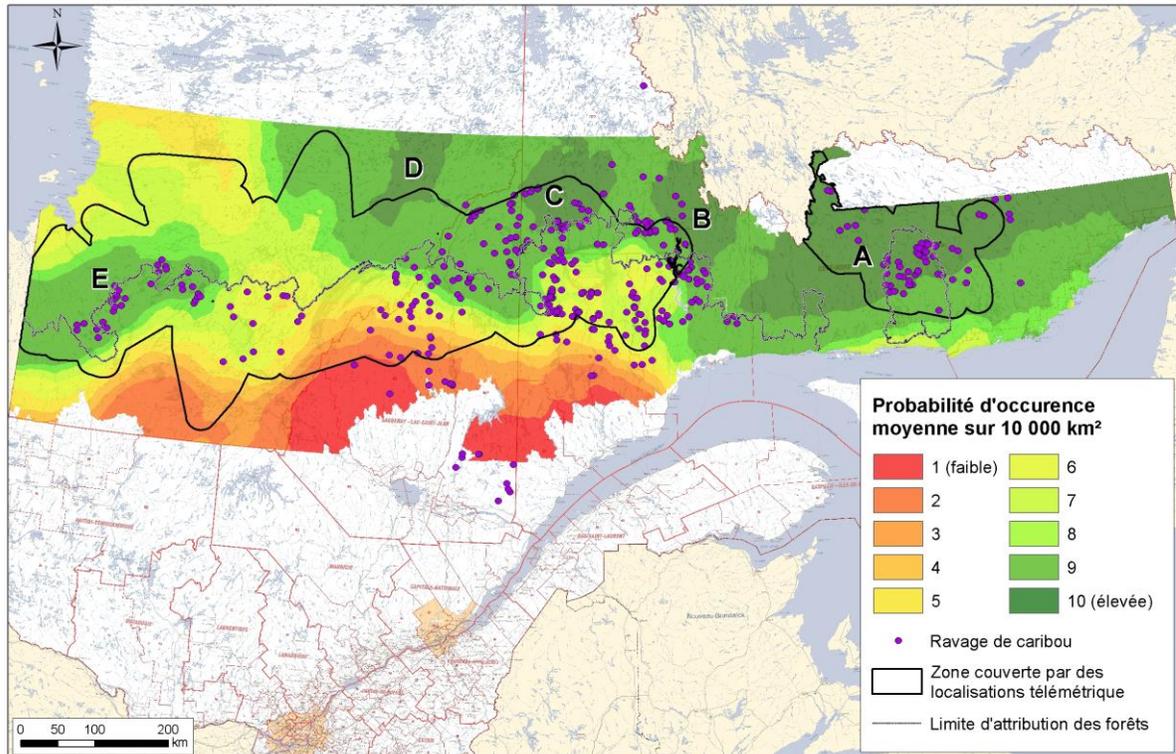


Figure 5. Probabilité d'occurrence relative moyenne du caribou forestier obtenue grâce à une analyse de voisinage dans un contexte paysager de 10 000 km² autour de chaque cellule (représentée en déciles) et identification des secteurs prioritaires à sa conservation. Les lettres A à E indiquent l'emplacement des secteurs ayant un potentiel intéressant pour la création d'aires protégées de grande superficie.

Description et analyse des secteurs prioritaires potentiels

Secteur A : Romaine

Le secteur prioritaire potentiel Romaine d'une superficie de 13 968 km² est situé sur la Côte-Nord, à l'est de la rivière Romaine (Figure 6). Ce secteur est délimité par le complexe hydroélectrique d'Hydro-Québec sur la rivière Romaine à l'ouest et par la frontière non définitive avec le Labrador au nord. Une région à plus

faible probabilité relative d'occurrence du caribou forestier, incluant une zone brûlée en 2013, a été exclue. Plus de 96 % du secteur recoupe la zone couverte par les données télémétriques ayant servi à construire le modèle de sélection d'habitat.

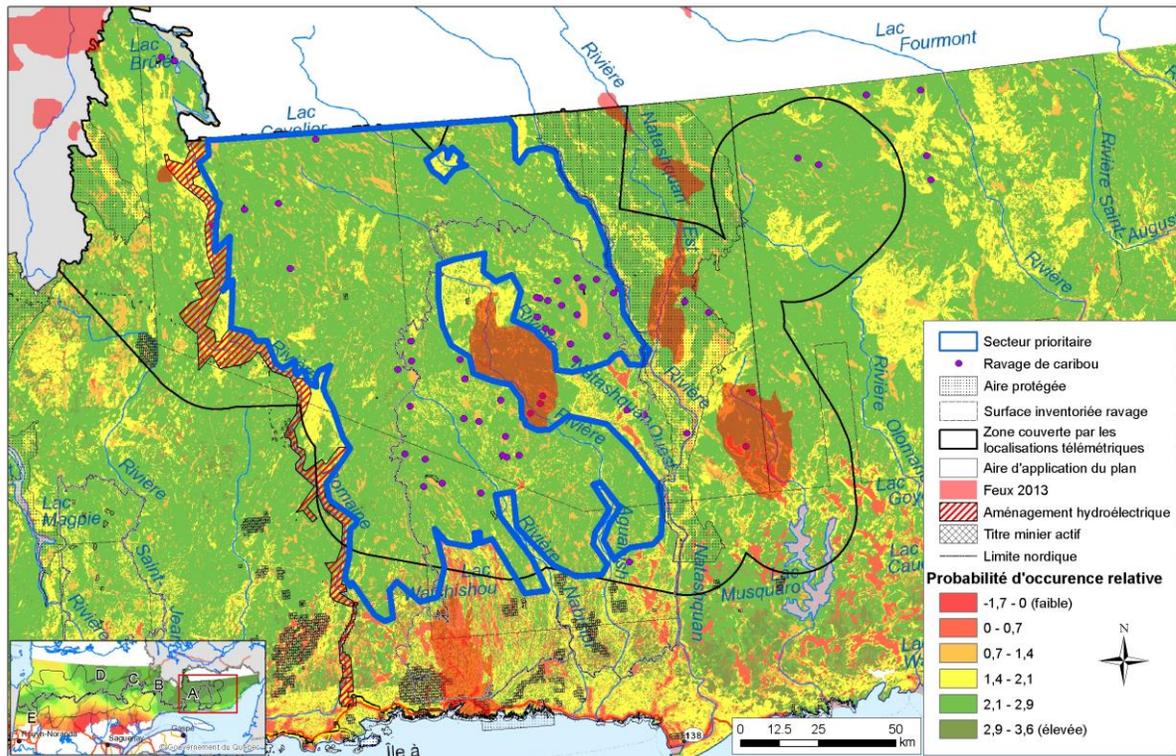


Figure 6 . Secteur prioritaire potentiel Romaine et probabilité d'occurrence relative.

Au total, 91% du secteur a été inventorié pour la présence de caribous et de réseaux de pistes en hiver. L'inventaire le plus récent pour ce secteur (2012) a permis de répertorier 22 centroïdes de réseaux de pistes et 156 individus. Un autre inventaire avait été réalisé en 2005 et avait permis de dénombrer 17 réseaux et 66 individus.

Ce secteur est entièrement situé hors de la forêt aménagée. L'unité d'aménagement forestier la plus proche est située à environ 60 km à l'ouest.

Secteur C : Manouane-Pléti-Manicouagan

Le secteur prioritaire potentiel Manouane-Pléti-Manicouagan, d'une superficie de 16 191 km², est situé sur la Côte-Nord (au nord-est du réservoir Manicouagan) ainsi qu'au Saguenay-Lac-Saint-Jean (au nord du réservoir Manouane) (Figure 8). Près de 95 % du secteur recoupe la zone couverte par les données télémétriques et près de 10 % du secteur est déjà protégé par les réserves de biodiversité projetées du lac Pléti et des Montagnes Blanches.

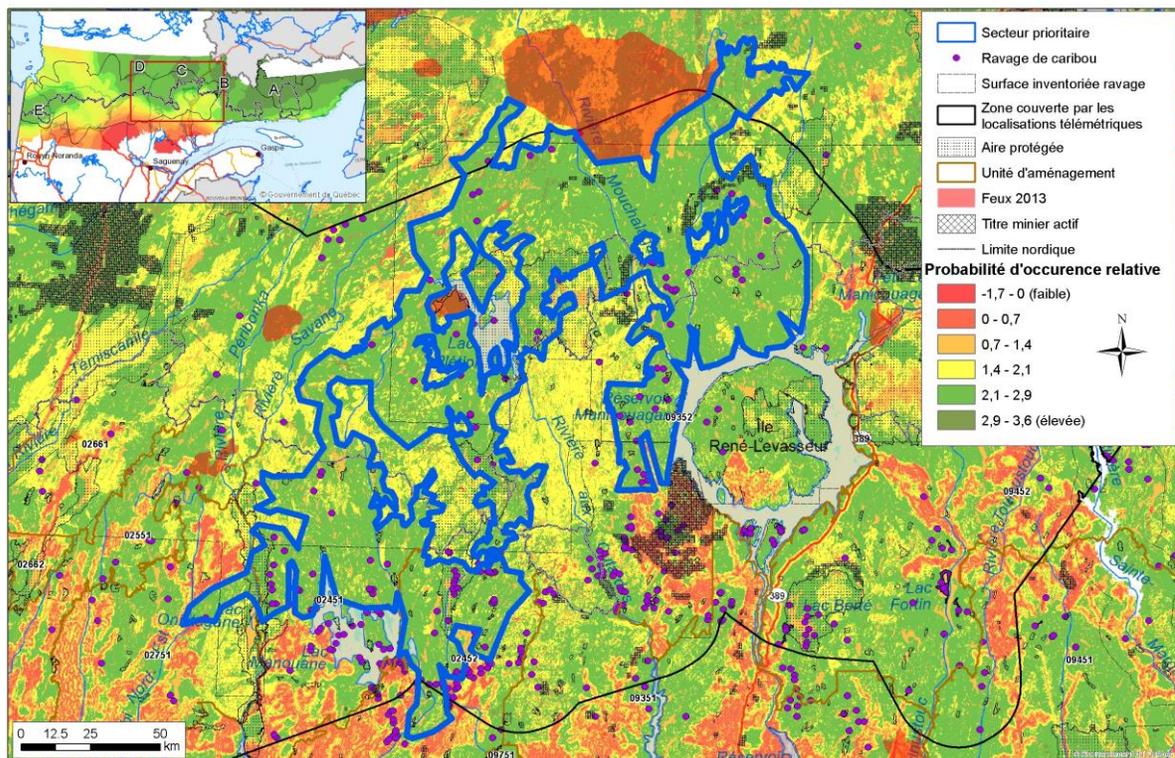


Figure 8. Secteur prioritaire potentiel Manicouagan et probabilité d'occurrence relative.

Au total, 74 % du secteur a été inventorié pour la présence de caribous et de réseaux hivernaux de pistes. L'inventaire le plus récent pour ce secteur date de 2014 et a permis de répertorier 39 centroïdes de réseaux de pistes et 697 individus. Quatre autres inventaires, réalisés en 2014, 2004, 2003 et 1999, ont permis de répertorier 59 ravages et 162 individus.

Ce secteur est situé à 55 % hors de la forêt aménagée. Le 45 % restant est situé dans les unités d'aménagement 09352, 02452, 02451 et 02751. Près de 2 % du secteur est couvert par des titres miniers.

Secteur D : Emmanuel

Le secteur prioritaire potentiel Emmanuel, d'une superficie de 7 115 km², est situé dans la région du Nord-du-Québec, au nord du lac Mistassini. Seulement 1,2 % du secteur recoupe la zone couverte par les données télémétriques. Près de 4 % du secteur est déjà protégé par la réserve de biodiversité projetée Hironnelle.

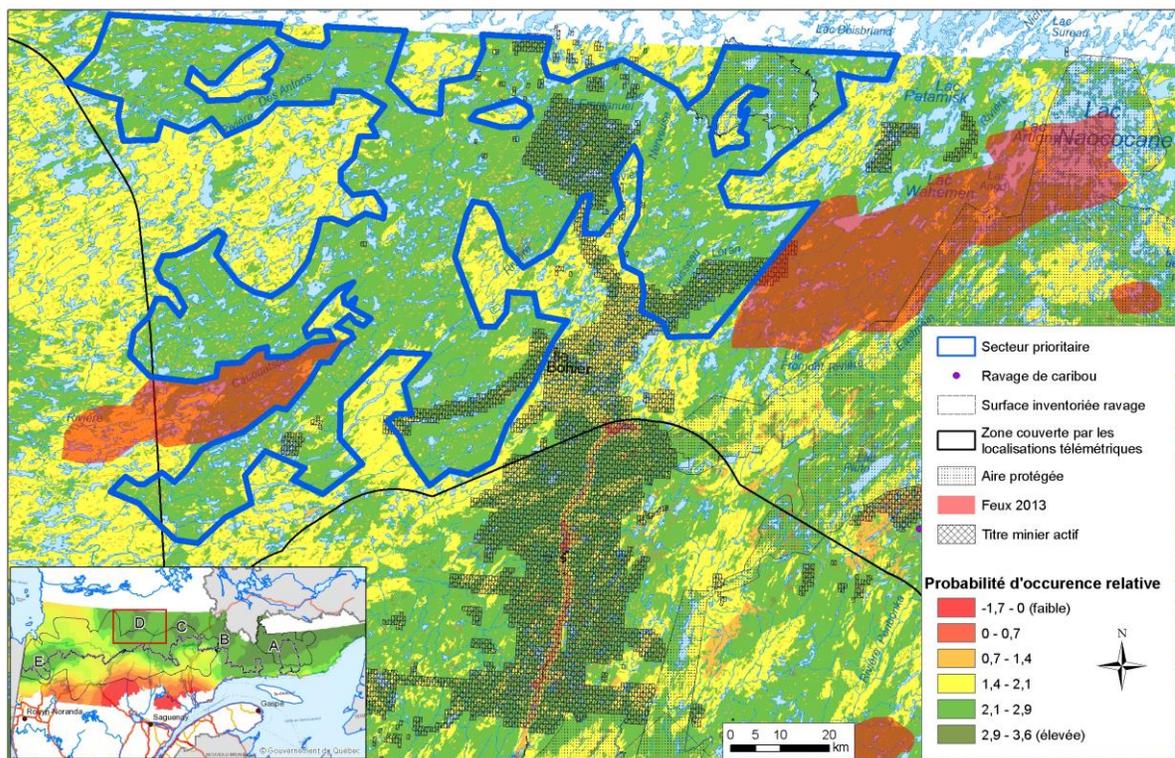


Figure 9. Secteur prioritaire potentiel Emmanuel et probabilité d'occurrence relative.

À notre connaissance, le secteur n'a jamais été inventorié pour la présence de caribou. Ce secteur est entièrement situé hors de la forêt aménagée, l'unité d'aménagement la plus proche étant située à environ 70 km au sud. Près de 11 % du secteur est couvert par des titres miniers.

Secteur E : Grasset

Le secteur prioritaire potentiel Grasset, d'une superficie de 8 712 km², est situé dans la région du Nord-du-Québec, au nord et à l'ouest de Matagami (Figure 10). Près de 98 % du secteur est couvert par des données télémétriques. Environ 5 % du secteur est déjà protégé par les réserves de biodiversité projetées de la plaine de la Missisicabi et des collines de Muskuchii.

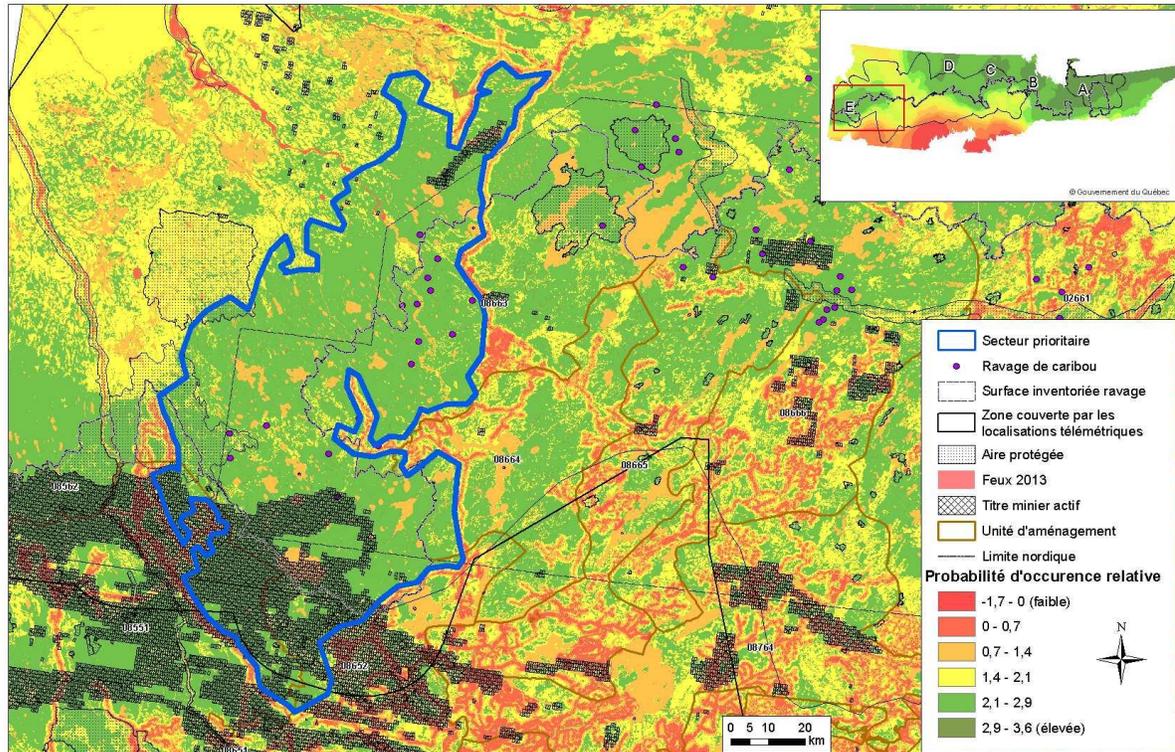


Figure 10. Secteur prioritaire potentiel Grasset et probabilité d'occurrence relative.

Selon les données disponibles, 49 % du secteur a été inventorié pour la présence de caribous et de réseaux hivernaux de pistes. L'inventaire le plus récent date de 2003 et a permis de répertorier 16 centroïdes de réseaux de pistes et 117 individus.

Ce secteur est situé à 62 % hors de la forêt aménagée. Le 38 % restant est situé dans les unités d'aménagement 08551, 08562, 08652, 08663 et 08664. Près de 25 % du secteur est couvert par des titres miniers.

Classement des secteurs prioritaires retenus

Les caractéristiques des cinq secteurs prioritaires retenus sont présentées dans le tableau 5.

La comparaison de ces éléments nous mène à retenir les secteurs Romaine (A), Manouane-Pléti-Manicouagan (C) et Grasset (E) comme principaux secteurs prioritaires pour la création d'une grande aire protégée de 10 000 km² pour le caribou forestier (figure 11).

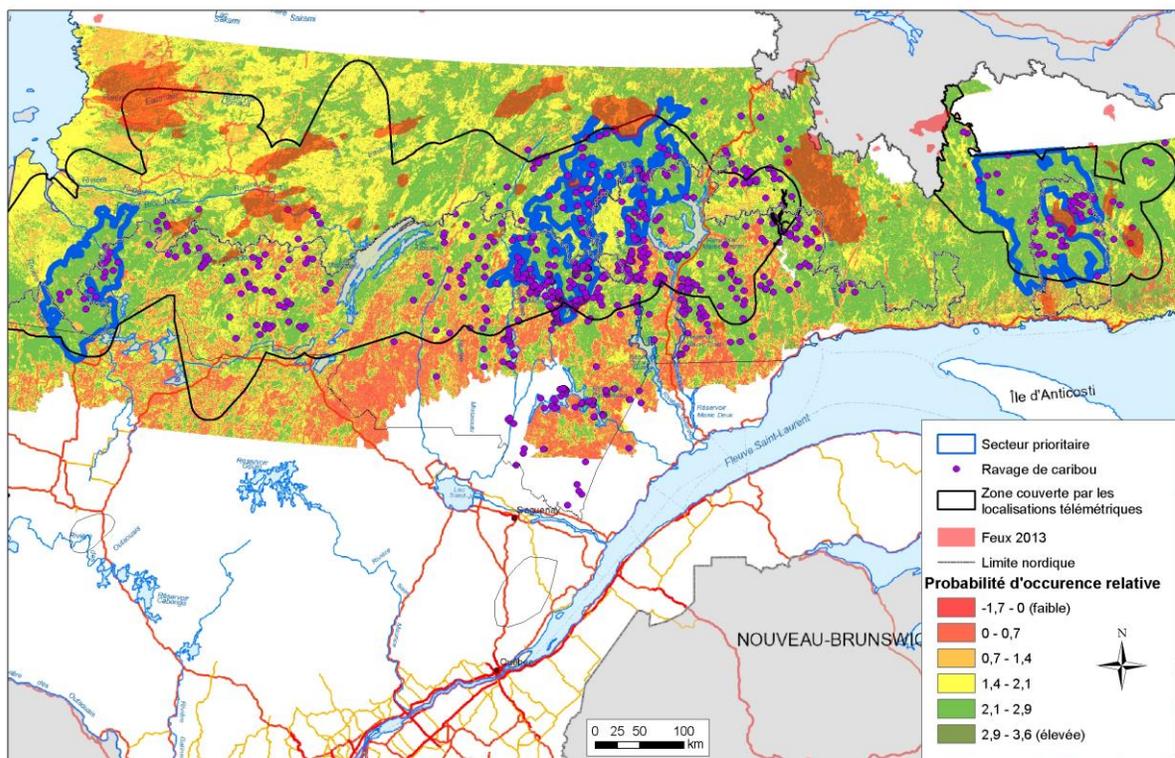


Figure 11 : Les trois secteurs prioritaires retenus pour la conservation du caribou forestier.

Nous avons retiré le secteur Opocopa en raison d'une faible superficie en milieux à forte probabilité relative d'occurrence contigus et de la présence de deux projets de développement connus pour ce territoire. Le secteur Emmanuel a quant à lui été rejeté en raison de l'absence de données d'inventaires permettant de valider l'utilisation de ce secteur par le caribou forestier.

Tableau 5 : Analyse comparative des connaissances sur les cinq secteurs prioritaires potentiels.

Secteur prioritaire potentiel		Superficie (km ²)	Pourcentage avec données télémétriques (%)	Pourcentage inventorié pour les réseaux de pistes (%)	Pourcentage en aires protégées (%)	Pourcentage en titres miniers (%)	Pourcentage en forêt aménagée (%)	Projet de développement connu
A	Romaine	13 968	96,4	91,2	0,1	0,02	0	-
B	Opocopa	4 829	8,1	68,3	24,2	10,0	0	Minéraloduc Chemin de fer
C	Manouane-Plétipi-Manicouagan	16 192	94,8	74,3	9,1	1,5	45,0	-
D	Emmanuel	7116	1,2	0	3,8	11,1	0	-
E	Grasset	8 713	98,2	49,2	4,8	24,5	38,0	-

Parmi les secteurs retenus, le secteur Manouane-Plétipi-Manicouagan se démarque clairement comme étant celui à prioriser. En effet, la forte probabilité relative d'occurrence sur 10 000 km² pour ce secteur a été validée par des inventaires récents qui ont démontré une densité élevée de caribous et de réseaux de pistes. De plus, le secteur est localisé en plein centre de l'aire de répartition du caribou forestier et se situe de part et d'autre de la limite nordique des forêts attribuables dans deux régions administratives du Québec, soit le Saguenay Lac-Saint-Jean et la Côte-Nord. Sur le plan des contraintes, seulement 1,5 % du territoire fait l'objet de titres miniers et, bien que 45 % du secteur soit en forêt aménagée, une proportion importante est située dans l'unité d'aménagement 093-52, une unité abandonnée par Kruger en 2007 où de nombreux secteurs demeurent inaccessibles aux opérations forestières.

Le secteur Romaine est fort intéressant, car la probabilité relative d'occurrence y est élevée et nous savons que le caribou forestier y est présent. Toutefois, ces derniers semblent s'y retrouver à moins forte densité que dans le secteur Manouane-Plétipi-Manicouagan. Son éloignement par rapport à la limite nordique des forêts attribuables en fait cependant un moins bon candidat que le secteur Manouane-Plétipi-Manicouagan pour aider au rétablissement du caribou forestier en forêt aménagée.

Le secteur Grasset est aussi très propice, mais des données d'inventaires plus récentes seraient nécessaires pour confirmer l'utilisation de ce secteur par le caribou forestier. De plus, la présence de nombreux titres miniers (25 %) dans ce secteur représente une contrainte notable à la mise en place d'une aire protégée dans ce secteur.

Ainsi, à la lumière de ces résultats, les secteurs prioritaires retenus pour la création d'une grande aire protégée pour le caribou forestier sont, en ordre de priorité et de pertinence :

- le secteur Manouane-Plétipi-Manicouagan (secteur C);
- le secteur Romaine (secteur A), et;

- le secteur Grasset (secteur E).

Concordance de nos résultats avec ceux obtenus lors de travaux antérieurs

Un exercice semblable à celui présenté dans ce rapport avait déjà permis de proposer 20 secteurs prioritaires au sud de la limite nordique des forêts attribuables (Groupe de mise en œuvre sur les aires protégées de l'équipe de rétablissement du caribou forestier au Québec, 2012). Bien que l'aire couverte ainsi que l'approche utilisée par les deux études soient sensiblement différentes, certains secteurs prioritaires pour la conservation du caribou forestier ont été retenus dans les deux études. Ainsi, les secteurs Manouane est, Manouane nord, Plétipi sud, Tétépisca et Perdu retenus par le Groupe de mise en œuvre sur les aires protégées de l'équipe de rétablissement du caribou forestier au Québec (2012) correspondent au secteur Manouane-Plétipi-Manicouagan retenu dans la présente étude. De plus, le secteur Kitchigima correspond bien au secteur Grasset retenu dans notre étude.

Recommandations quant à l'utilisation des résultats présentés dans cette étude

Recommandation 1 : Les secteurs prioritaires retenus dans la présente étude ont été délimités sur la base des fortes probabilités relatives d'occurrence du caribou forestier, des signes de présence récents (observation de caribous et de leurs réseaux hivernaux de pistes) et des perturbations naturelles et anthropiques passées et futures. En raison de cette méthodologie, la configuration des secteurs prioritaires est souvent dendritique et ne saurait convenir à la configuration d'une aire protégée dédiée à la protection de l'habitat du caribou à long terme. Ainsi, nous recommandons que la configuration de la ou des aires protégées qui seront délimitées à partir de ces secteurs prioritaires soient d'un rapport

périmètre/superficie le plus faible possible afin de limiter les effets de bordure et maintenir le milieu d'intérieur de qualité pour le caribou forestier.

Recommandation 2 : Nous recommandons que la délimitation finale de ces aires protégées soit réalisée à la lumière d'une analyse de connectivité, de façon à maximiser la probabilité de recolonisation des massifs forestiers situés en forêt aménagée.

Recommandation 3 : Nous recommandons que la gestion des aires protégées soit adaptée aux besoins du caribou forestier, c'est-à-dire en y limitant au maximum le dérangement et les perturbations d'origine anthropique.

Conclusion

Nous avons atteint notre objectif de développer un nouveau modèle de sélection d'habitat pour les caribous forestiers fréquentant le nord de la limite nordique des forêts attribuables et, sur cette base, délimiter des secteurs prioritaires pour la création de grandes aires protégées de l'ordre de 10 000 km² pour cette espèce vulnérable. Nous avons développé le modèle de sélection d'habitat en utilisant des données récoltées sur 55 individus répartis dans quatre secteurs du Québec sur une période couvrant 10 ans (2004-2014). Nous avons utilisé une approche statistique reconnue dans la littérature scientifique et le processus de validation nous a permis de démontrer que le modèle développé a un excellent pouvoir prédictif, et ce, partout dans l'aire d'étude. Les secteurs ainsi identifiés ont ensuite été analysés à la lumière des données disponibles afin d'évaluer leur réel potentiel à offrir une protection adéquate à long terme pour le caribou forestier dans le cadre d'une stratégie globale de rétablissement de l'espèce. Suite à ces analyses, trois secteurs ont été retenus comme particulièrement intéressants, dont un se démarque davantage. En effet, le secteur Manouane-Plétipi-Manicouagan présente une forte probabilité relative d'occurrence, une densité élevée de caribous forestiers et se situe de part et d'autre de la limite nordique des forêts attribuables. Nous recommandons de créer au moins une grande aire protégée sur la base de ces secteurs prioritaires, dont la configuration, la superficie et le mode de gestion seraient adaptés aux besoins du caribou forestier.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'UQAR, l'UQÀM, la Chaire de recherche industrielle CRSNG-Université Laval en sylviculture et faune et le MFFP (plus particulièrement la Direction sur la recherche forestière et la Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats) pour leur partage des données et leur expertise.

Références

- BASTILLE-ROUSSEAU, G., C. DUSSAULT, S. COUTURIER, D. FORTIN, M.-H. ST-LAURENT, P. DRAPEAU, C. DUSSAULT, et V. Brodeur. 2012. Sélection d'habitat du caribou forestier en forêt boréale québécoise. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats. Québec. 66 p.
- BEAUCHESNE, D., J.A.G. JAEGER et M.-H. ST-LAURENT. 2014. Thresholds in the capacity of boreal caribou to cope with cumulative disturbances: evidence from space use patterns. *Biological Conservation*. 172 : 190-199.
- BÉLANGER, S., J.-P. SAUCIER et A. ROBITAILLE. 2008. Cartographie de la pessière à mousses - Équivalence de la norme de cartographie du Nord avec la norme de cartographie du 3e inventaire (1 / 20 000). Comité scientifique sur la limite nordique des forêts attribuables. Québec. 27 p.
- BOYCE, M.S., P. R. VERNIER, S. E. NIELSEN et F. K. A. SCHMIEGELOW 2002. Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling*. 157: 281-300.
- BURNHAM, K.P. et D.R. ANDERSON. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2e édition. Springer-Verlag. New-York. 488 p.
- COURBIN, N., D. FORTIN, C. DUSSAULT et R. COURTOIS. 2009. Landscape management for woodland caribou: the protection of forest blocks influences wolf-caribou co-occurrence. *Landscape Ecology*. 24 : 1375-1388.
- COURTOIS, R. (2003). La conservation du caribou forestier dans un contexte de perte d'habitat et de fragmentation du milieu. Rimouski, Université du Québec à Rimouski. 350 p.

- COURTOIS, R., J.-P. OUELLET, C. DUSSAULT et A. GINGRAS. 2004. Forest management guidelines for forest-dwelling caribou in Quebec. *Forestry Chronicle*. 80: 598-607.
- DYER, S.J., J.P. O'NEILL, S.M. WASEL et S. BOUTIN, 2002. Quantifying barrier effects of roads and seismic lines on movements of female woodland caribou in northeastern Alberta. *Canadian Journal of Zoology*. 80 : 839-845.
- ÉQUIPE DE RÉTABLISSEMENT DU CARIBOU FORESTIER AU QUÉBEC. 2013. Plan de rétablissement du caribou forestier (*Rangifer tarandus caribou*) du Québec — 2013-2023, produit pour le compte du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec. Québec. 110 p.
- FORTIN, D., P.L. BUONO, A. FORTIN, N. COURBIN, C.T. GINGRAS, P.R. MOORCROFT, R. COURTOIS et C. DUSSAULT. 2013. Movement responses of caribou to human-induced habitat edges lead to their aggregation near anthropogenic features. *American Naturalist*. 181: 827-836.
- FORTIN, D., R. COURTOIS, P. ETCHEVERRY, C. DUSSAULT et A. GINGRAS. 2008. Winter selection of landscapes by woodland caribou: behavioural response to geographical gradients in habitat attributes. *Journal of Applied Ecology*. 45: 1392-1400.
- GILLIES, C.S., M. HEBBLEWHITE, S.E. NIELSEN, M.A. KRAWCHUK, C.L. ALDRIDGE, J.L. FRAIR, D.J. SAHER, C.E. STEVENS et C.L. JERDE. 2006. Application of random effects to the study of resource selection by animals. *Journal of Animal Ecology*. 75 : 887-898.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. 2011. Orientations stratégiques du Québec en matière d'aires protégées – période 2011-2015. [en ligne] Consulté le 18/09/2013.
http://www.mddep.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/orientations-strateg2011-15.pdf

- GRAHAM, M. H. 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*. 84 : 2809-2815.
- GROUPE DE MISE EN ŒUVRE SUR LES AIRES PROTÉGÉES DE L'ÉQUIPE DE RÉTABLISSEMENT DU CARIBOU FORESTIER DU QUÉBEC. 2012. Identification de secteurs prioritaires à la conservation du caribou forestier - résultats en forêt aménagée. Équipe de rétablissement du caribou forestier du Québec. Québec. 20 p.
- JOHNSON, C.J., K.L. PARKER et D.C. HEARD. 2001. Foraging across a variable landscape: behavioral decisions made by woodland caribou at multiple spatial scales. *Oecologia*. 127: 590-602.
- LEBLOND, M., J. FRAIR, D. FORTIN, C. DUSSAULT, J.-P. OUELLET et R. COURTOIS. 2011. Assessing the influence of resource covariates at multiple spatial scales: an application to forest-dwelling caribou faced with intensive human activity. *Landscape Ecology*. 26: 1433-1446.
- LECLERC, M., C. DUSSAULT et M.-H. ST-LAURENT. 2012. Multiscale assessment of the impacts of roads and cutovers on calving site selection in woodland caribou. *Forest Ecology and Management*. 286: 59-65.
- LESMERISES, R., J.-P. OUELLET, C. DUSSAULT et M.-H. ST-LAURENT. 2013. The influence of landscape matrix on isolated patch use by wide-ranging animals: conservation lessons for woodland caribou. *Ecology and Evolution*. 10.1002/ece3. 695.
- MANLY, B.F.J., L.L. MCDONALD, D.L. THOMAS, T.L. MCDONALD et W.P. ERICKSON, 2002. Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies. 2ème Éd. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 221 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC. 2011. Norme de stratification écoforestière – Quatrième inventaire écoforestier. Québec, 92 p.

- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC. 2013. Routard - Norme de structuration de l'information géographique sur les infrastructures routières forestières. Opérations régionales, Direction du soutien aux opérations Faune et Forêts. Québec. 38 p.
- MOHR, C.O., 1947. Table of equivalent populations in North American mammals. *American Midland Naturalist*. 37: 223-249.
- POLFUS, J.L., M. HEBBLEWHITE et K. HEINEMEYER. 2011. Identifying indirect habitat loss and avoidance of human infrastructure by northern mountain woodland caribou. *Biological Conservation*. 144: 2637-2646.
- RETTIE, W.J., J.W. SHEARD et F. MESSIER. 1997. Identification and description of forested vegetation communities available to woodland caribou: relating wildlife habitat to forest cover data. *Forest Ecology and Management*. 93: 245-260.
- RUDOLPH, T., P. DRAPEAU, M.-H., ST-LAURENT et L. IMBEAU. 2012. Situation du caribou forestier (*Rangifer tarandus caribou*) sur le territoire de la Baie James dans la région Nord-du-Québec. Montréal, 77 p.
- SMITH, K.G., E.J. FICHT, D. HOBSON, T.C. SORENSEN et D. HERVIEUX. 2000. Winter distribution of woodland caribou in relation to clear-cut logging in west-central Alberta. *Canadian Journal of Zoology*. 78: 1433-1440.
- WILKINSON, C. J. A. 2008. An examination of recovery planning for forest-dwelling woodland caribou (*Rangifer tarandus caribou*) in Ontario, Canada. *Rangifer*. 28: 13-32.

Annexe A. Disponibilité et utilisation des catégories d'habitat par le caribou forestier dans les trois principales régions de notre aire d'étude, soit l'ouest (Jamésie), le centre (nord du Lac-St-Jean/Manicouagan) et l'est (Minganie) du Québec.

Regroupement	Catégorie d'habitat	Ouest du Québec (160 000 km ²)		Centre du Québec (61 000 km ²)		Est du Québec (33 000 km ²)	
		Disponi- bilité (%)	Utilisa- tion (%)	Disponi- bilité (%)	Utilisa- tion (%)	Disponi- bilité (%)	Utilisa- tion (%)
Milieux forestiers	Régénération feuillue	<0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	-
	Régénération mélangée	0,05	-	<0,01	0,01	<0,01	-
	Régénération résineuse	0,06	0,04	0,02	<0,01	<0,01	-
	Forêt mature ou mûre feuillue	0,21	0,03	0,27	0,12	0,15	0,07
	Forêt mature ou mûre mélangée	1,43	0,39	1,74	0,94	2,76	2,54
	Forêt mature ou mûre résineuse, densité 10 à 25 % (classe L)	13,15	20,28	10,44	17,65	9,09	15,62
	Forêt mature ou mûre résineuse, densité 26 à 40 % (classes D)	18,21	23,12	22,74	31,81	29,12	39,76
	Forêt mature ou mûre résineuse, densité 41 à 60 % (classes C)	12,84	19,11	22,39	24,11	29,85	25,36
	Forêt mature ou mûre résineuse, densité 61 à 100 % (classes A et B); îles	4,08	5,86	8,83	10,18	7,79	1,76
Milieux naturels ouverts	Étendue d'eau	12,87	3,41	11,79	2,96	10,43	5,55
Milieux naturels ouverts	Milieu terrestre sans végétation	0,10	0,03	0,92	1,21	0,17	-
	Milieu humide	9,01	13,38	1,36	0,75	0,54	0,20
	Lande ouverte ou arbustive	0,60	0,48	0,61	1,99	0,84	2,40
Perturbations naturelles	Brûlis	22,82	12,18	15,21	7,55	7,08	5,33
	Perturbation naturelle (autre)	0,24	0,18	0,31	0,14	2,18	1,42

Regroupement	Catégorie d'habitat	Ouest du Québec (160 000 km ²)		Centre du Québec (61 000 km ²)		Est du Québec (33 000 km ²)	
		Disponi- bilité (%)	Utilisa- tion (%)	Disponi- bilité (%)	Utilisa- tion (%)	Disponi- bilité (%)	Utilisa- tion (%)
Perturbations humaines	Intervention forestière	4,18	1,50	3,31	0,56	-	-
	Milieu anthropisé	0,15	0,02	0,04	0,01	-	-