

Des femmes, des hommes, des régions, **nos ressources...**



**SÉLECTION D'HABITAT DU CARIBOU FORESTIER
EN FORÊT BORÉALE QUÉBÉCOISE**



Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats

**SÉLECTION D'HABITAT DU CARIBOU FORESTIER
EN FORÊT BORÉALE QUÉBÉCOISE**

Par

Guillaume Bastille-Rousseau

Christian Dussault

Serge Couturier

Daniel Fortin

Martin-Hugues St-Laurent

Pierre Drapeau

Claude Dussault

et

Vincent Brodeur

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs

Décembre 2012

Référence à citer :

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*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, 66 p.

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2012

ISBN : 978-2-550-66649-3 (version imprimée)

978-2-550-66650-9 (version PDF)

RÉSUMÉ

Le caribou forestier est un élément symbolique de la forêt boréale québécoise et il semble être en déclin dans l'ensemble de son aire de répartition mondiale. Le but de cette étude était de déterminer les caractéristiques des milieux recherchés par le caribou durant trois périodes cruciales de son cycle vital annuel, soit l'hiver, la mise bas et le rut. Nous avons étudié l'utilisation de l'espace et la sélection de l'habitat du caribou forestier dans son aire de répartition continue en mettant en commun les bases de données radio-téléométriques de quatre secteurs d'étude couvrant une large part de la forêt boréale québécoise : Manicouagan, Saguenay Nord, Saguenay Sud et Jamésie. Ces données issues de la technologie GPS couvrent la majorité de l'aire de répartition continue du caribou forestier. Il s'agit de l'analyse couvrant la plus vaste superficie réalisée à ce jour au Québec. La sélection d'habitat et l'utilisation de l'espace ont été caractérisées sur une base annuelle et par période (hiver, mise bas et rut). La superficie des domaines vitaux (étendue d'habitat fréquentée pour combler les besoins d'un individu pendant une période de temps donnée) a quant à elle été utilisée comme descripteur des patrons d'utilisation de l'espace.

Nos résultats ont démontré que le caribou parcourait de grandes superficies pour combler ses besoins tant annuels que saisonniers. Des différences dans la taille des domaines vitaux ont été notées entre les secteurs d'étude. Les plus grands domaines vitaux ont été observés en Jamésie alors que les plus petits se situaient dans le secteur Saguenay Sud. Les analyses ont confirmé l'importance des milieux dénudés secs ainsi que des peuplements de résineux matures pour le caribou, tant pendant toute l'année que pendant les périodes de l'hiver, de la mise bas et du rut. À partir de ces résultats, il a été possible de produire des cartes représentant les aires ayant un potentiel élevé pour le caribou forestier en considérant sa sélection d'habitat annuelle et saisonnière. Les sites avec un potentiel d'habitat élevé pour le caribou couvraient une superficie d'environ 5 000 km², ce qui représente environ 2 % de l'aire d'étude. Ces cartes pourraient servir à orienter la récolte de matière ligneuse dans le paysage afin de limiter la dégradation des secteurs propices au caribou, et elles pourraient faciliter l'identification des aires potentielles à conserver afin de maintenir et rétablir le caribou dans l'ensemble de l'aire d'application identifiée au plan de rétablissement.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	1
TABLE DES MATIÈRES	3
LISTE DES FIGURES	4
LISTE DES TABLEAUX	4
LISTE DES ANNEXES	6
1. INTRODUCTION.....	7
2. AIRE D'ÉTUDE.....	11
2.1 MANICOUAGAN	12
2.2 SAGUENAY NORD.....	12
2.3 SAGUENAY SUD	13
2.4 JAMÉSIE.....	13
3. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	14
3.1 CARACTÉRISATION DE L'HABITAT ET DONNÉES SPATIALES	14
3.2 DÉFINITION DES PÉRIODES.....	16
3.3 ANALYSES SPATIALES ET STATISTIQUES.....	16
<i>Domaines vitaux</i>	<i>16</i>
<i>Sélection d'habitat.....</i>	<i>19</i>
<i>Établissement du domaine vital annuel</i>	<i>19</i>
<i>Réponse fonctionnelle.....</i>	<i>20</i>
<i>Établissement des domaines vitaux saisonniers</i>	<i>21</i>
<i>Cartes des probabilités relatives d'occurrence</i>	<i>22</i>
<i>Comparaison de l'utilisation et de la disponibilité.....</i>	<i>23</i>
4. RÉSULTATS.....	24
4.1 DOMAINE VITAUX	24
4.2 SÉLECTION DE L'HABITAT	29
5. DISCUSSION	43
5.1 ANALYSE DES DOMAINES VITAUX	44
5.2 SÉLECTION DE L'HABITAT	45
5.3 INTERPRÉTATION DES CARTES DE PROBABILITÉ D'OCCURRENCE.....	47
5.4 CONSÉQUENCES SUR L'AMÉNAGEMENT	48
6. CONCLUSION.....	51
7. REMERCIEMENTS.....	51
8. RÉFÉRENCES.....	52
ANNEXE I.....	55
ANNEXE II.....	57
ANNEXE III	59
ANNEXE IV	61

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation de l'aire d'étude et des quatre secteurs où se sont déroulés les programmes de suivi du caribou forestier par télémétrie GPS.....	11
Figure 2. Cartes de probabilité d'occurrence relative du caribou forestier estimée à partir des fonctions de sélection des ressources évaluant la sélection lors de l'établissement du domaine vital annuel ainsi que pour les saisons de l'hiver, de la mise bas et du rut.	32
Figure 3. Carte caractérisant le potentiel de l'habitat pour le caribou forestier en considérant sa sélection lors de l'établissement du domaine vital annuel ainsi que pour les saisons de l'hiver, de la mise bas et du rut. Une absence de couleur signifie que ce secteur n'obtenait pas une valeur suffisante pour l'établissement du domaine vital annuel (voir méthodes).	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Liste des 12 types de milieux utilisés pour caractériser la sélection d'habitat du caribou forestier au Québec ainsi que leur disponibilité dans chacun des secteurs d'étude et dans l'aire d'étude générale.....	15
Tableau 2. Dates de début et de fin des saisons utilisées pour évaluer la sélection d'habitat par le caribou dans l'aire de répartition continue au Québec, et comparaison avec d'autres études.....	18
Tableau 3. Statistiques descriptives (nombre d'individus suivis [n], médiane, moyenne, erreur-type sur la moyenne, maximum) de la superficie des domaines vitaux annuels des 242 caribous forestiers suivis dans les différents secteurs d'étude au Québec. Les résultats des comparaisons multiples par contraste sont également présentés.....	25
Tableau 4. Statistiques descriptives (nombre d'individus suivis [n], médiane, moyenne, erreur-type sur la moyenne, maximum) de la superficie des domaines vitaux saisonniers (hiver, mise bas et rut) du caribou forestier dans les différents secteurs d'étude au Québec. Les résultats des comparaisons multiples par contraste sont également présentés.	26
Tableau 5. Relation entre la superficie des domaines vitaux annuels du caribou forestier et la proportion de peuplements résineux matures ou de coupes récentes ($n = 242$) qu'il contient. Un coefficient positif ($\beta \pm$ erreur-type) signifie que la taille du domaine vital augmente lorsque la proportion de ce milieu augmente alors qu'un coefficient négatif signifie le contraire. La disponibilité (en %) des deux types de milieux dans chaque	

secteur est également présentée. La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation caractérisant la distribution des coefficients estimés pour chaque secteur..... 27

Tableau 6. Relation entre la superficie des domaines vitaux saisonniers (hiver, mise bas et rut) du caribou forestier et la proportion de peuplements résineux matures ou de coupes récentes qu'il contient. Un coefficient positif ($\beta \pm$ erreur-type) signifie que la taille du domaine vital saisonnier augmente lorsque la proportion de ce milieu augmente alors qu'un coefficient négatif signifie le contraire. La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation caractérisant la distribution des coefficients estimés pour chaque secteur..... 28

Tableau 7. Résultat de la sélection de modèle utilisée pour décrire la sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement de son domaine vital annuel. La valeur du critère d'information d'Akaike (AIC), la différence avec le meilleur modèle (Δ_i) et le poids du modèle (w_i) sont présentés. 30

Tableau 8. Fonction de sélection des ressources (β , erreur-type et intervalle de confiance à 95 %) évaluant la sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital annuel ($n = 89$). Un coefficient (β) positif signifie que la variable est sélectionnée alors qu'un coefficient négatif signifie un évitement. Une sélection ou un évitement est considéré comme significatif lorsque l'intervalle de confiance n'inclut pas 0. La sélection de chaque type de milieu est déterminée comparativement à la catégorie de référence « eau ». La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation entre la réponse des différents caribous. 31

Tableau 9. Sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital en hiver. La valeur du critère d'information d'Akaike (AIC), la différence avec le meilleur modèle (Δ_i) et le poids du modèle (w_i) sont présentés. 34

Tableau 10. Fonction de sélection des ressources (β , erreur-type et intervalle de confiance à 95 %) évaluant la sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital hivernal ($n = 89$). Un coefficient (β) positif signifie que la variable est sélectionnée alors qu'un coefficient négatif signifie un évitement. Une sélection ou un évitement est considéré comme significatif lorsque l'intervalle de confiance n'inclut pas 0. La sélection de chaque type de milieu est déterminée comparativement à la catégorie de référence « eau ». La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation entre la réponse des différents caribous. 35

Tableau 11. Sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital lors de la mise bas. La valeur du critère d'information d'Akaike (AIC), la différence avec le meilleur modèle (Δ_i) et le poids du modèle (w_i) sont présentés. 38

Tableau 12. Fonction de sélection des ressources (β , erreur-type et intervalle de confiance à 95 %) évaluant la sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital lors de la mise bas ($n = 89$). Un coefficient (β) positif signifie que la variable est sélectionnée alors qu'un coefficient négatif signifie un évitement. Une

sélection ou un évitement est considéré comme significatif lorsque l'intervalle de confiance n'inclut pas 0. La sélection de chaque type de milieu est déterminée comparativement à la catégorie de référence « eau ». La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation entre la réponse des différents caribous. 39

Tableau 13. Sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital lors de la saison du rut. La valeur du critère d'information d'Akaike (AIC), la différence avec le meilleur modèle (Δ_i) et le poids du modèle (w_i) sont présentés. 40

Tableau 14. Fonction de sélection des ressources (β , erreur-type et intervalle de confiance à 95 %) évaluant la sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital lors de la saison du rut ($n = 89$). Un coefficient (β) positif signifie que la variable est sélectionnée alors qu'un coefficient négatif signifie un évitement. Une sélection ou un évitement est considéré comme significatif lorsque l'intervalle de confiance n'inclut pas 0. La sélection de chaque type de milieu est déterminée comparativement à la catégorie de référence « eau ». La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation entre la réponse des différents caribous. 41

LISTE DES ANNEXES

Annexe I. Classification des différents types de milieux en utilisant les codes du Système d'information écoforestière (SIEF).	55
Annexe II. Liste des sigles et des abréviations utilisés dans le présent rapport.	57
Annexe III. Cartes représentant les différents types de milieux, l'élévation, la pente ainsi que la distance à une route dans l'aire d'étude.	59
Annexe IV. Comparaison entre l'utilisation et la disponibilité de chacun des types de milieux.	61

1. INTRODUCTION

Tant par sa coloration, ses bois et sa taille corporelle que par son comportement, le caribou (*Rangifer tarandus*) est le plus variable de tous les cervidés, ce qui peut expliquer l'absence de consensus quant à la taxonomie de ses nombreuses sous-espèces (Geist 1998). Bergerud (1988) a été le premier à proposer d'utiliser le concept d'écotype pour tenir compte de ces variations en reconnaissant les écotypes migrateur et sédentaire en se basant sur le comportement du caribou. Au Québec, des différences génétiques ont été notées entre les écotypes de caribou (Courtois et al., 2003a; Boulet et al., 2007) qui diffèrent également par leur comportement, leur taux de déplacement, leur taille et leur forme corporelle (Couturier et al., 2010). Au Québec, le caribou sédentaire est aussi appelé caribou forestier et il constitue un élément symbolique de la forêt boréale. Selon Courtois (2003), le caribou forestier se trouvait vers le sud jusqu'au 46^e parallèle au début du XX^e siècle tandis qu'il ne se trouverait maintenant qu'entre le 49^e et le 55^e parallèle, principalement sur la Côte-Nord, au Saguenay et à l'est de la Baie-James. Quelques hardes isolées subsistent au sud du 49^e parallèle, dont celles des régions de Val-d'Or (Paré et Brassard 1994) et de Charlevoix, cette dernière ayant été réintroduite au début des années 1970 (Jolicoeur et al., 1993; St-Laurent et Dussault 2012). La plupart des connaissances acquises sur le caribou forestier avant la fin du XX^e siècle proviennent de ces hardes isolées, principalement celle de Charlevoix, puisque le statut précaire de ces populations était déjà reconnu.

Autrefois plus abondant, le caribou forestier semble en déclin sur l'ensemble de son aire de répartition mondiale (Bergerud 1974; Courtois 2003; Festa-Bianchet et al. 2011). Le gouvernement québécois a effectué des inventaires aériens au cours des dernières années, qui ont permis de confirmer l'état précaire des hardes et leur déclin au cours des dernières décennies (Courtois et al., 2003b). Un retrait similaire vers le nord de la limite méridionale de distribution du caribou a également été observé dans la forêt boréale de l'Ontario (une régression évaluée à 34 km par décennie; Schaefer 2003). Vors et ses collaborateurs (2007) ont évalué que le caribou forestier disparaissait d'un paysage en moins de deux décennies après le passage des coupes forestières. Leurs résultats ont aussi suggéré qu'une zone tampon de 13 km devait être préservée autour des coupes forestières afin d'en diminuer les impacts sur le caribou.

Le caribou forestier vit en petits groupes à faible densité et possède un faible potentiel de recrutement, ce qui peut limiter la croissance des populations (Courtois 2003). Mais d'autres facteurs sont évoqués pour expliquer son déclin. L'altération de son habitat, la chasse sportive ainsi que la prédation sont considérés comme les principaux facteurs expliquant la décroissance des populations (Courtois et al., 2003b). L'abattage accidentel de caribous forestiers durant la chasse au caribou migrateur, la récolte par les autochtones, le braconnage, l'augmentation de l'accessibilité aux forêts aménagées et l'accroissement des superficies forestières coupées pourraient aussi contribuer à expliquer la précarité du caribou. Ces éléments ont contribué au déclin des populations de caribous forestiers de façon plus ou moins importante selon les régions du Québec (Équipe de rétablissement du caribou forestier 2008).

En 2002, le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) a recommandé d'accorder le statut d'espèce menacée à l'ensemble de la population canadienne de caribous des bois vivant en forêt boréale dont, entre autres, au caribou forestier du Québec. En vertu de la Loi sur les espèces en péril (L.R.C., c. C-29), le gouvernement du Canada acceptait la recommandation du COSEPAC et accordait en 2003 le statut d'espèce menacée au « caribou des bois, population boréale » – l'équivalent du caribou forestier au Québec – à l'échelle du Canada. Au Québec, conformément à la recommandation du Comité consultatif sur les espèces fauniques menacées ou vulnérables, formulée en février 2002, le gouvernement du Québec accordait au caribou forestier en mars 2005 le statut d'espèce vulnérable en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables (L.R.Q., c. E-12.01). Tel que la définit la Loi, une espèce vulnérable est un taxon dont la survie à moyen et à long terme n'est pas assurée. En 2003, Faune Québec mettait sur pied une équipe chargée d'élaborer un plan de rétablissement du caribou forestier au Québec. L'Équipe québécoise de rétablissement du caribou forestier était ainsi constituée et le Plan de rétablissement du caribou forestier (*Rangifer tarandus*) au Québec – 2005-2012 était rendu public en 2009.

Depuis le début des années 2000, plusieurs études utilisant le suivi télémétrique de caribous forestiers se sont déroulées dans différentes régions du Québec. À ce jour, plus de 200 individus au sein de ces différents groupes ou populations ont été suivis à l'aide de colliers GPS. Ces

études ont été principalement réalisées dans le but d'améliorer nos connaissances entourant le comportement du caribou forestier dans des secteurs bien précis, mais une synthèse de cette information n'a jamais été faite en dépit du grand intérêt d'un tel exercice pour la conservation de l'écotype. Considérant la qualité et l'ampleur des jeux de données disponibles, il était évident que l'analyse conjointe des données des différents groupes ou populations de caribou forestier permettrait d'améliorer nos connaissances générales de l'utilisation de l'espace de cette espèce sensible, et ce, à l'échelle de la forêt boréale du Québec.

Plusieurs lacunes à la réglementation régissant l'aménagement forestier (Règlement sur les habitats fauniques et Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État) ont été soulevées dans le rapport de situation du caribou forestier (Courtois et al., 2003b). Entre autres, on a mentionné la nécessité de revoir les notions de « troupeau » et « d'aire de fréquentation » pour tenir compte de la répartition réelle du caribou forestier en territoire québécois. De plus, l'identification des caractéristiques des milieux fréquentés durant les périodes de la mise bas, du rut et de l'hiver s'est révélée nécessaire au maintien d'un habitat de qualité favorable à la conservation de l'espèce.

La présente étude constitue la première analyse synthèse des données télémétriques GPS couvrant la majeure partie de l'aire de répartition continue du caribou forestier au Québec. Concrètement, nous souhaitons que cette synthèse permette une caractérisation précise et une identification des aires utilisées et favorables au caribou forestier à l'échelle de la forêt boréale québécoise. Les données de télémétrie GPS sont de loin les meilleures informations permettant de déterminer les caractéristiques des peuplements sélectionnés par le caribou tout au long de son cycle vital annuel, en plus de permettre d'identifier les sites à préserver en priorité pour maintenir cette espèce dans le paysage québécois.

L'objectif de ce rapport est de préciser la sélection de l'habitat et l'utilisation de l'espace du caribou forestier dans son aire de répartition continue en forêt boréale. Les suivis télémétriques de quatre secteurs d'étude seront mis en commun, soit ceux de Manicouagan, de Saguenay Sud, de Saguenay Nord et de la Jamésie. Ces données couvrent la majorité de l'aire de répartition continue du caribou forestier au Québec. Plus spécifiquement, la sélection de l'habitat sera

caractérisée à l'échelle du paysage en étudiant l'établissement du domaine vital sur une base annuelle et pour les périodes (appelées aussi saisons dans le présent rapport) de la mise bas, du rut et de l'hiver. L'utilisation de l'espace sera principalement évaluée en calculant les superficies des domaines vitaux annuels et saisonniers, ce qui donnera une idée des superficies d'habitat nécessaires au caribou. Ces analyses serviront à identifier les types d'habitats (type de couvert, classe d'âge, etc.) à maintenir pour favoriser le rétablissement du caribou et à produire des cartes représentant non seulement les aires sélectionnées par le caribou forestier, mais aussi celles avec un potentiel élevé d'habitat.

2. AIRE D'ÉTUDE

Les suivis télémétriques GPS du caribou forestier réalisés dans quatre secteurs d'étude ont été mis en commun pour les analyses. Ces secteurs se répartissent sur un vaste territoire débutant à la limite sud de l'aire de répartition continue du caribou forestier et atteignant la limite nord de la zone forestière sous aménagement (entre les latitudes 47° et 52° nord et entre les longitudes 66° et 80° ouest, figure 1). La composition et la structure des peuplements forestiers qui constituent l'habitat disponible pour le caribou ainsi que la période couverte par le suivi télémétrique diffèrent entre les secteurs. Une description détaillée de chacun des secteurs est donc présentée.

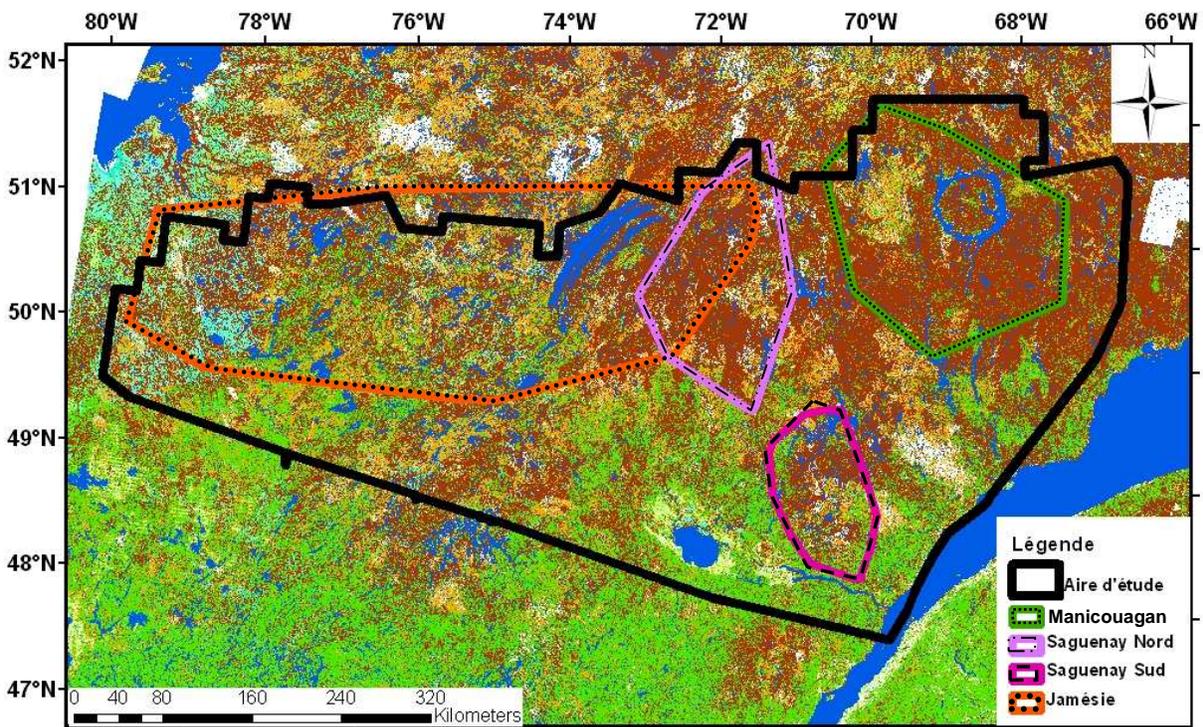


Figure 1. Localisation de l'aire d'étude et des quatre secteurs où se sont déroulés les programmes de suivi du caribou forestier par télémétrie GPS.

2.1 Manicouagan

L'aire utilisée par les caribous dans le secteur Manicouagan s'étend sur une surface d'environ 33 000 km². Les animaux suivis se trouvaient à proximité du réservoir Manicouagan et de l'île René-Levasseur. Ce secteur se situe dans le sous-domaine bioclimatique de la pessière à mousse de l'est et est caractérisé par un cycle de feu plus long. La forêt est dominée par l'épinette noire (*Picea mariana*) et le sapin baumier (*Abies balsamea*). Le pin gris (*Pinus banksiana*), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), le bouleau blanc (*Betula papyrifera*) et le mélèze laricin (*Larix laricina*) sont les autres espèces communes dans le secteur. La zone d'étude est composée d'environ 55 % de forêts résineuses matures, de 3 % de forêts mixtes et de feuillus, de 8 % de peuplements de 40 ans et moins (coupes récentes et jeunes peuplements), de 4 % de milieux humides et de 10 % de dénudés secs (voir le tableau 1 pour la description détaillée de la composition de chaque secteur). Entre 2004 et 2008, 27 individus ont été suivis avec des colliers GPS en utilisant des fréquences de localisation allant d'une heure à huit heures. La majorité de ces individus ont été suivis pendant plusieurs années pour un total de 77 caribous-années.

2.2 Saguenay Nord

Le secteur d'étude Saguenay Nord s'étend sur plus de 20 000 km². Les caribous suivis se trouvaient à l'est du lac Mistassini et à l'ouest du lac Manouane. L'aire d'étude se situait dans le domaine bioclimatique de la pessière à mousse. Les espèces dominantes sont l'épinette noire, le sapin baumier, le bouleau blanc, mais également l'épinette blanche (*Picea glauca*) et le peuplier faux-tremble. Le secteur est composé d'environ 48 % de forêts résineuses matures, de 2 % de forêts mixtes et de feuillus, de 21 % de peuplements de 40 ans et moins, de 7 % de milieux humides et de 8 % de dénudés secs (voir le tableau 1 pour la description détaillée de la composition de chaque secteur). Entre 2005 et 2008, 13 caribous ont été suivis grâce à des colliers GPS pour un total de 41 caribous-années. La fréquence de localisation variait de deux heures à quatre heures.

2.3 Saguenay Sud

Le secteur d'étude Saguenay Sud s'étend sur plus de 10 000 km². Les caribous suivis se trouvaient à l'est du lac Saint-Jean, au nord de la rivière Saguenay ainsi qu'au sud du lac Péribonka. Cette aire d'étude était dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc. Les espèces dominantes sont le sapin baumier, l'épinette noire, le bouleau blanc, le peuplier faux-tremble et l'épinette blanche. Le secteur est composé d'environ 32 % de forêts résineuses matures, de 8 % de forêts mixtes et de feuillus, de 39 % de peuplements de 40 ans et moins, de 2 % de milieux humides et de 1 % de dénudés secs (voir le tableau 1 pour la description détaillée de la composition de chaque secteur). Entre 2004 et 2008, 40 caribous ont été suivis grâce à des colliers GPS pour un total de 144 caribous-années. La fréquence de localisation variait d'une heure à quatre heures.

2.4 Jamésie

L'aire d'étude en Jamésie était la plus grande et couvrait environ 105 000 km². Les caribous suivis se trouvaient majoritairement dans l'aire située entre l'est de la Baie-James et l'ouest du lac Mistassini. Le secteur Jamésie est situé dans le domaine bioclimatique de la pessière à mousse où l'épinette noire domine le paysage avec le pin gris. Les autres espèces dominantes sont le sapin baumier, le peuplier faux-tremble, le bouleau blanc et le mélèze laricin. Dans sa partie ouest, le territoire est morcelé par de grandes tourbières. Le secteur est composé d'environ 34 % de forêts résineuses matures, de 2 % de forêts mixtes et de feuillus, de 16 % de peuplements de 40 ans et moins, de 20 % de milieux humides et de 4 % de dénudés secs (voir le tableau 1 pour la description détaillée de la composition de chaque secteur). Entre 2004 et 2008, 37 individus ont été suivis avec une fréquence de localisation de sept ou huit heures, pour un total de 173 caribous-années.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 Caractérisation de l'habitat et données spatiales

Les attributs de l'habitat ont été déterminés principalement à partir du Système d'information écoforestière (SIEF) du Québec. Ces données sont préparées à partir de l'interprétation de photos aériennes à l'échelle 1 : 15 000. Il s'agit d'une base de données en format vectoriel où les polygones représentent les différents types de peuplements forestiers. Nous avons une carte complète considérée comme à jour pour les années précédant 2007. Pour les années ultérieures à 2007, nous avons actualisé les cartes à partir des données du Rapport annuel d'intervention forestière (RAIF) qui contient les interventions forestières et les feux de forêts survenus depuis 2006.

Nous avons élaboré une classification des différents types de milieux en utilisant les attributs présentés dans le SIEF et renseignant sur la nature des peuplements. Les différents types de peuplements et de milieux ont été regroupés en fonction de leur similarité, de leur importance pour le caribou selon la littérature et des résultats d'analyses préliminaires en vue d'évaluer la réponse des caribous face à ces divers milieux dans les différents secteurs. La classification finale utilisée dans les analyses contient 12 types de milieux (tableau 1). Les détails techniques de cette classification en fonction des attributs du SIEF sont présentés à l'annexe I. La liste de tous les sigles utilisés dans le présent rapport est présentée à l'annexe II.

Les couches numériques représentant les chemins et les routes dans l'aire d'étude ont également été incluses. Nous avons enfin construit un modèle numérique d'élévation, ce dernier permettant d'obtenir de l'information sur la topographie (élévation et pente) dans l'aire d'étude. La plupart des données numériques, à l'exception des localisations GPS de caribou, ont été obtenues grâce à la collaboration de la Direction des inventaires forestiers (DIF) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). Toutes ces données ont été intégrées à un système d'information géographique (SIG) et les analyses spatiales ont été effectuées à l'aide du logiciel ArcGIS 9.3 (ESRI, Redlands, Californie).

Tableau 1. Liste des 12 types de milieux utilisés pour caractériser la sélection d’habitat du caribou forestier au Québec ainsi que leur disponibilité dans chacun des secteurs d’étude et dans l’aire d’étude générale.

Type de milieu	Abréviation	Disponibilité (%)			
		Manicouagan	Saguenay Nord	Saguenay Sud	Jamésie
Eau	Eau	14,1	9,7	14,1	13,8
Dénudé humide	DH	3,5	7,1	1,6	19,6
Dénudé sec	DS	9,1	8,2	0,9	3,4
Jeune peuplement (5-40 ans)	JP	5,8	12,7	35,7	13,1
Mixte-feuillu mature (40 ans +)	MFM	3,3	2,0	8,4	2,3
Pessière/Sapinière ouverte (40-80 ans)	PSOJ	1,4	1,4	0,9	1,9
Pessière/Sapinière ouverte (80 ans +)	PSOM	12,2	11,1	5,0	7,5
Pessière/Sapinière fermée (40-80 ans)	PSFJ	3,7	3,2	12,4	6,0
Pessière/Sapinière fermée (80 ans +)	PSFM	36,2	29,1	13,5	14,2
Résineux autre (40 ans +)	RA	1,4	3,2	0,8	4,3
Perturbation récente (0-5 ans)	PR	2,2	8,7	2,9	3,7
Autres (ex. aulnaie, terrain agricole, terrain forestier improductif, etc.)	Autres	6,3	2,8	1,4	8,7

3.2 Définition des périodes

Les analyses porteront sur trois périodes ou saisons du cycle vital d'un intérêt particulier pour l'écologie du caribou : l'hiver, la mise bas et le rut. La définition de ces périodes (tableau 2) s'appuie sur les résultats d'études des mouvements du caribou afin de déterminer les dates de début et de fin pour chacune d'entre elles (Gustine et Parker 2008; Courbin et al., 2009) ainsi que sur les résultats d'analyses préliminaires effectuées avec les données de la Jamésie (Nicolas Bergeron, Université du Québec à Montréal, communication personnelle). L'étude de Courbin et al. (2009) s'est déroulée dans le secteur Manicouagan. La période du rut était trop étendue selon nous dans Courbin et al. (2009) et n'était pas définie dans les analyses de la Jamésie (Nicolas Bergeron, Université du Québec à Montréal, données non publiées). Nous avons donc utilisé les dates proposées par Gustine et Parker (2008) qui identifient selon nous la période la plus active de reproduction. Pour la mise bas, nous avons retenu les dates de Bergeron (données non publiées) qui identifient bien la période où la majorité des naissances surviennent. Il est plus difficile de définir la période hivernale puisque cela dépend des conditions nivales et climatiques, et que cette saison ne correspond pas à des événements physiologiques et comportementaux spécifiques comme l'accouplement ou la naissance. Nous avons retenu les dates de Courbin et al. (2009) qui correspondent bien à la période où l'accumulation de neige est généralement limitante pour les déplacements et l'alimentation du caribou.

3.3 Analyses spatiales et statistiques

Domaines vitaux

Nous avons d'abord calculé les domaines vitaux en utilisant les localisations télémétriques des individus ayant été suivis durant une année ou une saison complète. Nous avons tracé les domaines vitaux annuels et saisonniers en utilisant la technique du polygone convexe minimal avec 100 % des localisations grâce à l'extension *Geostatistical Modelling Environment* d'ArcGIS 9.3 (www.spatial ecology.com). La méthode du polygone convexe minimal est préférable à la méthode d'estimation de Kernel lorsque les localisations sont nombreuses et donc

potentiellement autocorrélées, comme le sont souvent les données récoltées à partir de la télémétrie GPS (Hemson et al., 2005).

Nous avons calculé la taille moyenne et médiane des domaines vitaux annuels et saisonniers. La taille des domaines vitaux a été comparée entre les secteurs et les saisons à l'aide d'une analyse de variance avec le logarithme naturel de la superficie des domaines vitaux comme variable dépendante pour normaliser la distribution des résidus. Lorsque l'analyse de variance indiquait une différence significative entre les secteurs, nous avons effectué un test de comparaison multiple de Tukey permettant de comparer les secteurs deux à deux (Zar, 2009). Nous avons aussi évalué la relation entre la taille des domaines vitaux et la proportion de peuplements matures résineux et des coupes récentes qu'ils contenaient. La disponibilité de ces deux types de milieux a été évaluée en utilisant des points répartis aléatoirement dans chacun des domaines vitaux annuels et saisonniers des caribous. Nous avons étudié la relation entre la superficie des domaines vitaux et la proportion de ces deux milieux, car ces derniers sont possiblement recherchés ou évités par le caribou et leur disponibilité est étroitement reliée aux activités humaines. La proportion de coupes récentes a déjà été utilisée dans d'autres études et elle semble un bon indicateur du niveau d'anthropisation d'un secteur (c'est-à-dire fréquemment corrélé avec la proportion de chemins forestiers) (Faille et al., 2010). Nous avons utilisé un modèle linéaire mixte avec la variable « secteur d'étude » en effet aléatoire. Nous avons transformé la taille des domaines vitaux en calculant le logarithme naturel pour normaliser la distribution des résidus. Les analyses ont été effectuées avec le *package lme4* dans le logiciel R.

Tableau 2. Dates de début et de fin des saisons utilisées pour évaluer la sélection d’habitat par le caribou dans l’aire de répartition continue au Québec, et comparaison avec d’autres études.

Saison	Courbin et al. (2009)	Bergeron (non publié)	Gustine et Parker (2008)	La présente étude
Mise bas	Du 2 juin au 5 juillet	Du 15 mai au 30 juin	Du 23 mai au 14 juin	Du 15 mai au 30 juin
Rut	Du 26 sept. au 10 déc.	Non disponible	Du 1 ^{er} au 31 oct.	Du 1 ^{er} au 31 oct.
Hiver	Du 10 déc. au 26 avril	Du 9 janv. au 3 avril	Du 1 ^{er} nov. au 30 avril	Du 10 déc. au 26 avril

Sélection d'habitat

Diverses approches ont été développées afin d'évaluer la sélection d'habitat des animaux. Bien que ces approches s'appuient généralement sur une comparaison entre l'utilisation et la disponibilité, elles peuvent varier selon l'échelle de sélection (*sensu* Johnson 1980) utilisée afin d'évaluer l'utilisation et la disponibilité. Puisque notre objectif principal était de concevoir une vision synthétique de la sélection d'habitat du caribou au Québec et d'identifier les secteurs ayant un potentiel d'habitat élevé pour le caribou, nous avons effectué les analyses à l'échelle du paysage. Plus spécifiquement, nous avons déterminé les caractéristiques des paysages recherchés par le caribou pour établir leurs domaines vitaux annuels et saisonniers, ce qui correspond au 2^e ordre de sélection de Johnson (1980). Nous croyons que cette approche est la plus pertinente pour identifier les endroits propices pour le caribou. Des analyses à plus fine échelle seraient pertinentes pour mieux décrire les particularités régionales, mais cela dépasse les objectifs du présent document.

Établissement du domaine vital annuel

Puisque la fréquence des repérages télémétriques variait entre les secteurs, nous avons effectué un sous-échantillonnage des bases de données de Saguenay Nord, de Saguenay Sud et de Manicouagan afin d'obtenir un intervalle minimal de six heures entre les localisations. Cela a permis d'éviter d'attribuer un plus grand poids à certains individus ou secteurs dans les analyses¹, et a réduit la taille des jeux de données afin d'accélérer leur traitement. À la suite du sous-échantillonnage, le jeu de données pour les différents secteurs réunis était néanmoins constitué de plus de 270 000 localisations GPS.

Afin d'évaluer la sélection d'habitat, nous avons utilisé une fonction de sélection des ressources (en anglais *Resource Selection Function* ou RSF pour la suite du rapport) qui consiste à comparer les attributs de l'habitat aux localisations GPS utilisées par un individu aux attributs de l'habitat disponible pour cet individu (Boyce et McDonald 1999; Manly et al., 2002). Pour ces premières analyses, nous avons comparé les attributs de l'habitat de l'ensemble des localisations annuelles des individus aux attributs de l'habitat évalués à des localisations aléatoires réparties dans chacun

¹ Cependant, l'utilisation d'effet aléatoire dans les modèles mixtes corrige également pour ce biais potentiel.

des secteurs. Afin d'évaluer la disponibilité, nous avons distribué des points aléatoires dans chacun des secteurs d'étude à une densité de deux points par km². Les points aléatoires ont ensuite été attribués aléatoirement à chacun des individus des secteurs respectifs. Pour chacune des localisations observées et aléatoires, nous avons déterminé le type de milieu, l'altitude, la pente ainsi que la distance minimale à la route la plus proche.

Réponse fonctionnelle

Des analyses préliminaires ont démontré que la disponibilité de certains types de milieu ainsi que la réponse des caribous relativement à certains milieux variaient selon les secteurs. Il était donc important de tenir compte de la variation de la disponibilité et de sa répercussion sur le comportement de sélection d'habitat par les individus dans nos analyses. En sélection d'habitat, le fait que la sélection d'un milieu puisse varier selon sa disponibilité est appelé une réponse fonctionnelle (Mysterud et Ims, 1998). Pour investiguer la possibilité d'une réponse fonctionnelle chez le caribou au Québec, nous avons évalué la disponibilité des différents types de milieu dans un rayon de 17 841 km (ce qui donne une superficie de 1 000 km²) autour de chacune des localisations. Ce rayon représente approximativement la taille médiane des domaines vitaux annuels des caribous. Nous avons conscience que ce rayon dépasse probablement la perception qu'a le caribou de son environnement, mais ce dernier est néanmoins justifié puisque nos analyses s'intéressent à l'établissement du domaine vital. Des interactions entre l'utilisation d'un milieu et sa disponibilité autour de chacune des localisations ont pu être testées dans les différents modèles pour détecter l'existence d'une réponse fonctionnelle.

Nous avons modélisé la RSF en utilisant une régression logistique avec un effet aléatoire pour l'individu selon l'équation suivante :

$$w(\mathbf{x}) = \exp(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \gamma_{0j}) \quad (1)$$

où $w(\mathbf{x})$ représente la valeur de la RSF, β_u est le coefficient de sélection pour la variable X_u et γ_{0j} est l'ordonnée à l'origine aléatoire pour l'individu j . La valeur de $w(\mathbf{x})$ augmente proportionnellement avec la sélection pour un milieu donné. Les variables utilisées dans le modèle étaient les 11 types de milieu (le milieu « eau » étant la variable de référence, voir

l'annexe I pour la description des milieux), l'altitude, la pente, le logarithme naturel de la distance à la route la plus près ainsi que certaines interactions. Nous avons utilisé l'eau comme milieu de référence puisqu'il s'agissait du seul milieu dont la disponibilité était relativement constante entre les secteurs. Il était nécessaire d'avoir un milieu dont la disponibilité était similaire afin de pouvoir interpréter facilement les différences dans la sélection d'habitat entre les secteurs. L'utilisation du milieu eau en tant que référence nécessitera cependant d'interpréter les résultats avec prudence, puisque ce milieu est généralement évité par le caribou et la majorité des milieux sembleront majoritairement sélectionnés (pour plus d'informations à ce sujet, voir la section Discussion). L'altitude et la pente ont été centrées (en soustrayant la moyenne de chaque observation) afin de faciliter la convergence de certains modèles. Les analyses ont été effectuées grâce à la procédure *glimmix* de SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina). Nous avons utilisé des erreurs-types (e.-t.) empiriques comme le recommandent Koper et Manseau (2009) afin de tenir compte de la dépendance des mesures répétées sur un même individu.

Nous avons évalué le soutien qu'offraient les données télémétriques pour différents modèles candidats en utilisant le critère d'information d'Akaike (AIC; Burnham et Anderson 2002). Nous avons ensuite effectué une validation croisée afin d'évaluer le pouvoir prédictif du modèle retenu en suivant l'approche proposée par Boyce et al. (2002). Un modèle de RSF a donc été calculé en utilisant 75 % des données et en gardant les 25 % qui restent pour l'évaluation du pouvoir prédictif (Huberty 1994). Les valeurs prédites par le modèle utilisant 75 % des données ont ensuite été séparées en 10 classes de même taille à partir des percentiles. Nous avons ensuite déterminé la fréquence des localisations dans les 25 % de données restantes se trouvant dans chacune des classes. Afin d'évaluer la performance du modèle, nous avons calculé un coefficient de corrélation de Spearman entre les fréquences d'occurrence pour le jeu de données restant (c'est-à-dire les 25 %) et les classes de valeurs prédites. Nous avons effectué ce processus 10 fois afin de calculer un coefficient de corrélation moyen. Un coefficient de corrélation élevé indique un grand pouvoir prédictif.

Établissement des domaines vitaux saisonniers

Nous avons également effectué des fonctions de sélection des ressources afin d'évaluer la sélection d'habitat des caribous lors de l'utilisation de leurs domaines vitaux durant l'hiver, la

mise bas et le rut. Pour ce faire, nous avons utilisé une démarche comparable à celle utilisée pour la sélection du domaine vital annuel. Nous avons comparé les attributs des milieux aux localisations observées pour chacune des saisons à ceux retrouvés à des localisations aléatoires réparties dans le domaine vital annuel de l'individu. Les localisations aléatoires ont été réparties à une densité de deux points par km². Nous avons également ajouté une interaction entre le type de milieu où se trouvaient une localisation (aléatoire ou observée) et sa disponibilité à l'intérieur du domaine vital annuel de l'individu afin de considérer la possibilité d'une réponse fonctionnelle dans la sélection d'habitat chez le caribou. La sélection d'habitat à l'échelle saisonnière a également été modélisée en utilisant une régression logistique avec l'individu en effet aléatoire. Le modèle le plus parcimonieux parmi une série de modèles candidats a été identifié en utilisant le critère d'information d'Akaike. Nous avons effectué une validation croisée afin d'évaluer le pouvoir prédictif du modèle retenu en suivant la méthode expliquée précédemment.

Cartes des probabilités relatives d'occurrence

Nous avons utilisé les modèles validés les plus parcimonieux afin de produire des cartes illustrant la probabilité d'occurrence relative du caribou. Les données du SIEF et du RAIF ont été transformées en couches numériques matricielles ayant une résolution de 100 m. Des cartes représentant la densité des différents types de milieu dans un rayon de 17 841 km (1 000 km²) ont également été produites afin de pouvoir considérer les interactions entre l'utilisation d'un milieu et sa disponibilité dans le paysage. Les valeurs de probabilité d'occurrence ont été standardisées afin d'avoir des valeurs se situant entre 0 (c'est-à-dire la probabilité d'occurrence la plus faible) et 1 (c'est-à-dire la probabilité d'occurrence maximale). Afin d'identifier les régions ayant une qualité élevée d'habitat pour le caribou, nous avons combiné les résultats obtenus sur une base saisonnière pour générer une carte synthèse. Nous avons d'abord produit une carte identifiant les endroits où le caribou avait la plus grande probabilité d'établir un domaine vital annuel en ne conservant que les cellules ayant une probabilité d'occurrence supérieure ou égale au quart supérieur de l'ensemble des valeurs disponibles (percentile 75 %). Nous avons calculé la moyenne des trois cartes de probabilité d'occurrence saisonnières dans les zones retenues dans l'étape précédente. La carte ainsi produite montre les endroits les plus propices pour le caribou, en considérant de façon hiérarchique les endroits qu'il sélectionne pour établir son domaine vital annuel et ceux qu'il sélectionne lors de trois saisons critiques à sa survie, soit l'hiver, la mise bas

et le rut. Finalement, nous avons déterminé la superficie des milieux ayant un potentiel élevé pour le caribou en utilisant la carte synthèse. Nous avons indiqué qu'un milieu était de qualité élevée lorsque la probabilité d'occurrence relative à l'intérieur d'un pixel était supérieure à la moyenne plus un écart-type des pixels de l'ensemble de la carte.

Comparaison de l'utilisation et de la disponibilité

Puisque l'utilisation de l'eau en tant que milieu de référence rendait plus difficile la détermination des milieux évités par le caribou, nous avons effectué une seconde analyse de sélection d'habitat présentée à l'annexe IV. Dans cette analyse complémentaire, nous avons utilisé une analyse de variance multivariée (MANOVA) afin de tester l'hypothèse nulle qu'il n'y avait pas de différence entre l'utilisation d'un milieu et sa disponibilité en prenant chaque individu (caribou) comme unité d'échantillonnage (Aebischer et al. 1993). Lorsqu'une différence significative était observée, nous avons testé la sélection pour chaque type de milieu en utilisant un test de *t*. Nous avons effectué cette analyse pour les mêmes échelles de sélection que celles expliquées préalablement, soit l'établissement du domaine vital annuel, ainsi que pour les saisons de l'hiver, de la mise bas et du rut. Nous invitons les lecteurs intéressés à connaître les milieux sélectionnés et évités à se référer à l'annexe IV.

4. RÉSULTATS

4.1 Domaine vitaux

La taille des domaines vitaux annuels et saisonniers variait considérablement entre les individus et plusieurs avaient des domaines vitaux très grands. L'emploi de la médiane semble donc plus approprié pour décrire la tendance centrale. La taille médiane des domaines vitaux annuels était de 1 095 km² (moyenne = 1 772 km² et valeur maximale = 15 486 km²) et elle variait entre les secteurs d'étude (tableau 3). Une analyse de variance a montré une différence significative de la superficie des domaines vitaux annuels entre les secteurs ($F = 29,92$; $P < 0,01$) et le test de Tukey a démontré que les caribous du secteur Jamésie avaient des domaines vitaux annuels significativement plus grands que ceux des autres secteurs. Les secteurs Manicouagan, Saguenay Nord et Saguenay Sud possédaient des domaines vitaux annuels de taille comparable.

La taille des domaines vitaux saisonniers différait également entre les secteurs d'étude ($F_{Hiver} = 34,58$; $P_{Hiver} < 0,01$; $F_{Mise-bas} = 4,03$; $P_{Mise-bas} < 0,01$; $F_{Rut} = 19,5$; $P_{Rut} < 0,01$). Pour les quatre secteurs confondus, la taille médiane des domaines vitaux était de 182 km² (moyenne = 415 km²) en hiver, 97 km² (moyenne = 234 km²) durant la mise bas et 88 km² (moyenne = 157 km²) durant le rut (tableau 4).

La relation entre la superficie d'un domaine vital et la proportion de résineux matures ou de coupes récentes qu'il contient était respectivement négative et positive de façon générale dans l'ensemble des sites d'étude (tableau 5) et pour les trois saisons (tableau 6). Par contre, l'utilisation d'une pente aléatoire dans nos modèles a permis de mettre en évidence une différence importante entre les sites d'étude. En effet, la superficie des domaines vitaux durant la mise bas diminuait avec la proportion de coupes récentes dans le secteur Manicouagan alors que c'était le contraire dans les autres sites d'étude (tableau 6).

Tableau 3. Statistiques descriptives (nombre d'individus suivis [n], médiane, moyenne, erreur-type sur la moyenne, maximum) de la superficie des domaines vitaux annuels des 242 caribous forestiers suivis dans les différents secteurs d'étude au Québec. Les résultats des comparaisons multiples par contraste sont également présentés.

Secteur	n	Superficie (km ²)				Contraste ¹
		Médiane	Moyenne	Erreur-type	Maximum	
Jamésie	100	1 868	2 796	255	15 486	a
Manicouagan	43	1 085	1 346	205	6 240	b
Saguenay Nord	23	1 036	1 409	311	6 135	b
Saguenay Sud	76	617	776	70	3 685	b
Tous	242	1 095	1 772	130	15 486	

Les secteurs affichant des lettres différentes ont des moyennes significativement différentes ($\alpha = 0,05$).

Tableau 4. Statistiques descriptives (nombre d'individus suivis [n], médiane, moyenne, erreur-type sur la moyenne, maximum) de la superficie des domaines vitaux saisonniers (hiver, mise bas et rut) du caribou forestier dans les différents secteurs d'étude au Québec. Les résultats des comparaisons multiples par contraste sont également présentés.

Saison	Secteur	n	Superficie (km ²)				Contraste ¹
			Médiane	Moyenne	Erreur-type	Maximum	
Hiver	Jamésie	142	376	733	74	5 666	a
	Manicouagan	70	110	271	50	2 550	b, c
	Saguenay Nord	35	178	261	37	892	b
	Saguenay Sud	120	72	166	20	1 212	c
	Tous	367	182	415	34	5 666	
Mise bas	Jamésie	109	117	345	68	4 504	a
	Manicouagan	49	65	184	46	1 527	b
	Saguenay Nord	26	74	142	45	1 116	b
	Saguenay Sud	93	98	154	18	882	b
	Tous	277	97	234	29	4 504	
Rut	Jamésie	108	163	234	23	1 271	a
	Manicouagan	48	65	106	19	784	b
	Saguenay Nord	22	68	155	62	1 405	b
	Saguenay Sud	76	49	81	10	394	b
	Tous	254	88	157	13	1 405	

Les secteurs affichant des lettres différentes ont des moyennes significativement différentes ($\alpha = 0,05$).

Tableau 5. Relation entre la superficie des domaines vitaux annuels du caribou forestier et la proportion de peuplements résineux matures ou de coupes récentes ($n = 242$) qu'il contient. Un coefficient positif ($\beta \pm$ erreur-type) signifie que la taille du domaine vital augmente lorsque la proportion de ce milieu augmente alors qu'un coefficient négatif signifie le contraire. La disponibilité (en %) des deux types de milieux dans chaque secteur est également présentée. La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation caractérisant la distribution des coefficients estimés pour chaque secteur.

Secteur	Résineux matures		Coupes récentes	
	$\beta \pm$ e. t.	Disponibilité (%)	$\beta \pm$ e. t.	Disponibilité (%)
Jamésie	-4,07	34	5,80	4
Manicouagan	-4,47	55	5,16	2
Saguenay Nord	-4,75	48	6,84	8
Saguenay Sud	-2,36	33	0,92	3
Tous	$-3,91 \pm 0,77$	42	$4,68 \pm 1,77$	5
Variance effet aléatoire		1,42		7,16

Tableau 6. Relation entre la superficie des domaines vitaux saisonniers (hiver, mise bas et rut) du caribou forestier et la proportion de peuplements résineux matures ou de coupes récentes qu'il contient. Un coefficient positif ($\beta \pm$ erreur-type) signifie que la taille du domaine vital saisonnier augmente lorsque la proportion de ce milieu augmente alors qu'un coefficient négatif signifie le contraire. La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation caractérisant la distribution des coefficients estimés pour chaque secteur.

Saison	Secteur/Variance	Résineux matures ($\beta \pm$ e. t.)	Coupes récentes ($\beta \pm$ e. t.)
Hiver	Jamésie	-3,22	6,11
	Manicouagan	-3,27	-0,25
	Saguenay Nord	0,11	7,08
	Saguenay Sud	-1,67	7,03
	Tous	-2,14 \pm 1,02	4,99 \pm 2,52
	Variance effet aléatoire	3,56	3,56
Rut	Jamésie	-1,84	10,48
	Manicouagan	-2,10	7,19
	Saguenay Nord	-2,23	5,65
	Saguenay Sud	-2,72	-0,51
	Tous	-2,22 \pm 0,43	5,71 \pm 2,75
	Variance effet aléatoire	0,14	22,84
Mise bas	Jamésie	-2,15	6,58
	Manicouagan	-2,89	-10,93
	Saguenay Nord	-1,89	5,03
	Saguenay Sud	-1,07	0,20
	Tous	-2,00 \pm 0,58	5,69 \pm 2,89
	Variance effet aléatoire	0,71	24,61

4.2 Sélection de l'habitat

Nous avons évalué les caractéristiques des milieux sélectionnés par le caribou pour établir son domaine vital annuel et ses domaines vitaux saisonniers pendant l'hiver, la mise bas et le rut. La validation croisée a démontré la robustesse ainsi que le pouvoir prédictif élevé de chacun des modèles retenus ($r_s > 0,98$).

L'approche par sélection de modèles a montré que le modèle contenant toutes les variables (types de milieu, élévation, pente, Log[Distance à la route la plus proche]) et toutes les interactions était de loin le plus performant pour décrire la sélection d'habitat lors de l'établissement du domaine vital annuel (tableau 7). Les coefficients de la fonction de sélection des ressources montrent que les milieux les plus fortement sélectionnés par les caribous pour l'établissement de leurs domaines vitaux annuels étaient les dénudés secs (DS), suivis des sapinières et pessières ouvertes de plus de 40 ans (tableau 8). Au contraire, les milieux composés de coupes récentes (PR), de jeunes peuplements ainsi que les peuplements mixtes et feuillus étaient faiblement sélectionnés par les caribous et l'ajout d'interactions démontre qu'ils sont évités lorsque ces derniers deviennent abondants dans le paysage. De plus, la sélection pour les dénudés secs, les sapinières et les pessières ouvertes matures augmentait dans les paysages où la proportion de ces milieux était plus faible. Les caribous sélectionnaient également des endroits plus élevés en altitude et ayant une faible pente afin d'y établir leur domaine vital. Les résultats de la RSF sur une base annuelle sont aussi représentés sous forme de carte de probabilité d'occurrence relative (figure 2). L'annexe C illustre la répartition géographique des principales variables utilisées dans nos modèles sur des cartes de l'aire d'étude.

Tableau 7. Résultat de la sélection de modèle utilisée pour décrire la sélection d’habitat du caribou forestier pour l’établissement de son domaine vital annuel. La valeur du critère d’information d’Akaike (AIC), la différence avec le meilleur modèle (Δ_i) et le poids du modèle (w_i) sont présentés.

Variabes	Interactions¹	AIC	Δ_i	w_i
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route) +	DS + DH + CJ + MFM + PSOM + PR	1 266 741	0	1,00
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route) +	DH + PSOM + PR	1 271 330	4 589	0,00
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route)		1 292 826	26 085	0,00
Milieux + Elev + Pente		1 293 023	26 282	0,00
Milieux		1 297 838	31 097	0,00

¹ Les interactions pour chaque milieu sont de la forme : Prop MilieuZ + MilieuZ*Prop MilieuZ. Voir la sous-section « Réponse fonctionnelle » de la section 3.3 pour plus d’explications.

Tableau 8. Fonction de sélection des ressources (β , erreur-type et intervalle de confiance à 95 %) évaluant la sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital annuel ($n = 89$). Un coefficient (β) positif signifie que la variable est sélectionnée alors qu'un coefficient négatif signifie un évitement. Une sélection ou un évitement est considéré comme significatif lorsque l'intervalle de confiance n'inclut pas 0. La sélection de chaque type de milieu est déterminée comparativement à la catégorie de référence « eau ». La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation entre la réponse des différents caribous.

Variable	β	e. t.	i. c. à 95 %	
DH	1,562	0,133	1,300	1,825
DS	3,078	0,189	2,704	3,453
JP	0,705	0,191	0,327	1,084
MFM	0,690	0,244	0,206	1,173
PSOJ	2,179	0,152	1,878	2,480
PSOM	2,195	0,174	1,851	2,539
PSFJ	1,488	0,133	1,223	1,752
PSFM	1,614	0,152	1,314	1,913
RA	1,861	0,144	1,575	2,147
PR	0,803	0,297	0,215	1,390
Autre	-0,528	0,225	-0,974	-0,082
Prop. DH	1,407	0,983	-0,539	3,353
Prop. DS	-1,818	2,044	-5,865	2,229
Prop. JP	-0,606	0,874	-2,337	1,125
Prop. MFM	-1,980	2,885	-7,693	3,733
Prop. PSOM	-6,548	3,682	-13,838	0,742
Prop. PR	-1,104	1,772	-4,613	2,405
DH * Prop. DH	-0,212	0,437	-1,077	0,653
DS * Prop. DS	-8,506	1,985	-12,436	-4,576
JP * Prop. JP	-0,057	0,457	-0,962	0,849
MFM * Prop. MFM	-1,627	2,872	-7,313	4,060
PSOM * Prop. PSOM	-4,110	1,625	-7,328	-0,892
PR * Prop. PR	-3,062	2,167	-7,353	1,230
Élévation (km) (centrée)	0,003	0,000	0,003	0,003
Pente (centrée)	-0,017	0,004	-0,024	-0,009
Log(Distance route)	0,028	0,041	-0,053	0,109
Variance effet aléatoire		1,282		

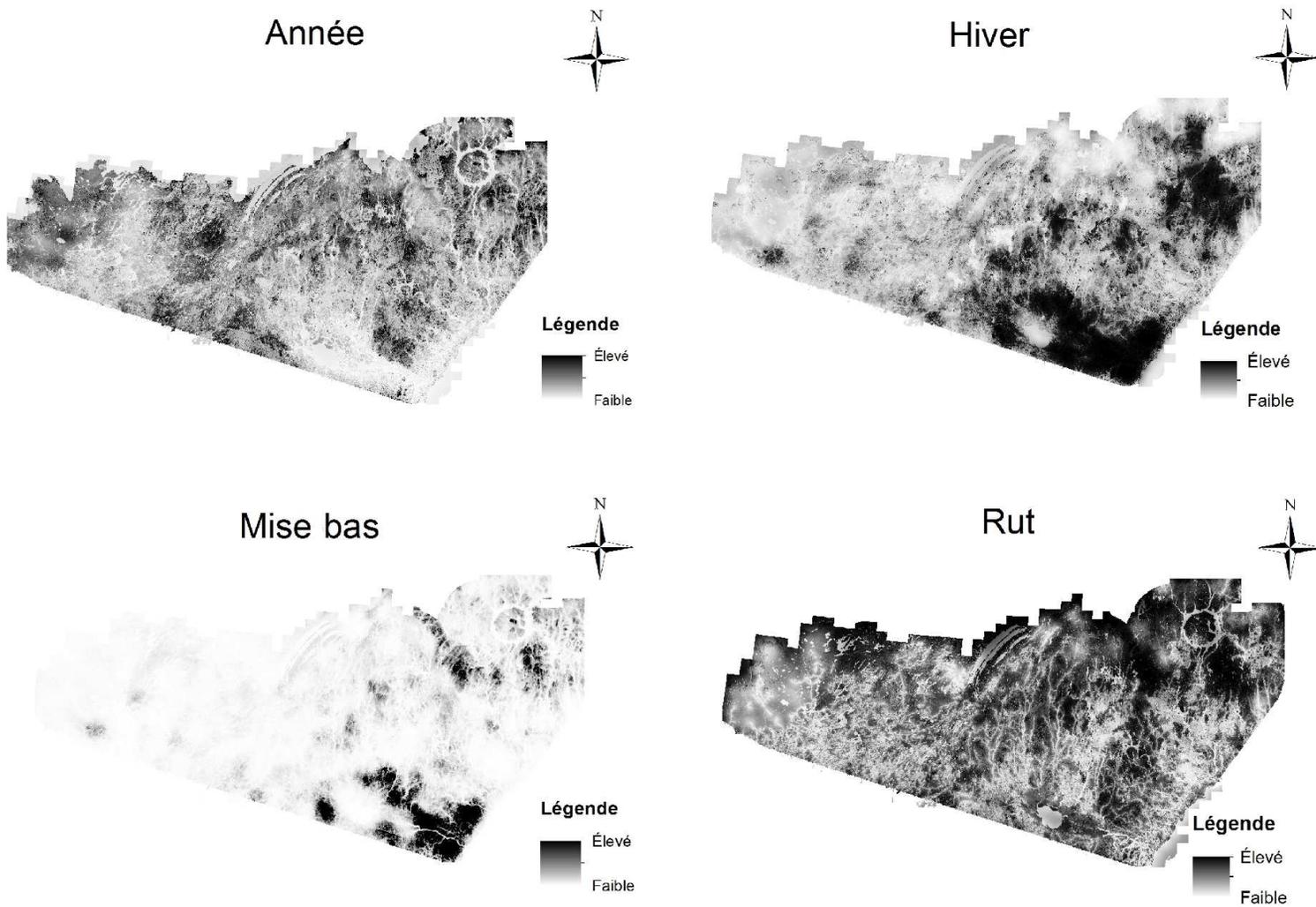


Figure 2. Cartes de probabilité d'occurrence relative du caribou forestier estimée à partir des fonctions de sélection des ressources évaluant la sélection lors de l'établissement du domaine vital annuel ainsi que pour les saisons de l'hiver, de la mise bas et du rut².

²Voir l'annexe C pour les cartes montrant la répartition géographique des principales variables utilisées dans nos modèles dans l'aire d'étude.

La sélection de modèle a également montré que le modèle global était le plus performant pour expliquer l'établissement du domaine vital durant l'hiver (tableau 9). Durant cette saison, les coefficients de la fonction de sélection des ressources évaluant la sélection d'habitat (tableau 10) montrent que les caribous semblaient principalement rechercher les dénudés secs ainsi que les peuplements résineux de 40 ans et plus (c'est-à-dire une sélection comparable pour les pessières et sapinières ouvertes ou fermées ainsi que les autres résineux). Au contraire, les caribous ont évité fortement les milieux récemment perturbés. La sélection pour certains milieux variait cependant en fonction de leur disponibilité dans le domaine vital annuel. La probabilité d'occurrence relative du caribou dans les dénudés secs augmentait avec une diminution de la proportion de ces milieux dans le domaine vital annuel du caribou. En hiver, la probabilité d'occurrence du caribou dans un paysage diminuait et augmentait, respectivement, lorsque la proportion des pessières et sapinières ouvertes de 80 ans et plus et des pessières et sapinières fermées de 80 ans et plus augmentait. Cependant, la sélection pour les pessières et sapinières fermées de 80 ans et plus diminuait dans les paysages dominés par ce type de peuplement. Même s'il ne semblait pas y avoir une sélection générale des milieux humides, l'interaction démontre que la sélection pour ce milieu augmentait avec la présence de celui-ci dans le paysage. Les caribous semblaient également sélectionner les endroits plus en altitude, ayant des pentes faibles et loin des routes et des chemins forestiers. Ces résultats pour la saison hivernale sont aussi représentés sous forme de carte de probabilité d'occurrence relative à la figure 2.

La sélection de modèle a également montré que le modèle global était le plus performant pour expliquer la sélection des domaines vitaux durant la mise bas (tableau 11). Les coefficients de la fonction de sélection des ressources ont montré que les milieux sélectionnés par les caribous durant la mise bas étaient principalement les dénudés humides et les dénudés secs, ainsi que les pessières et sapinières ouvertes ou fermées de plus de 40 ans (tableau 12). Au contraire, les perturbations récentes ainsi que les jeunes peuplements étaient faiblement sélectionnés ou pas sélectionnés durant cette période. La proportion de certains milieux dans le paysage avait également une incidence sur la probabilité d'occurrence ainsi que sur la sélection du caribou durant la mise bas. Le caribou avait une probabilité d'occurrence plus faible dans les secteurs où la proportion de dénudés secs était élevée et une probabilité d'occurrence plus élevée dans les

Tableau 9. Sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital en hiver. La valeur du critère d'information d'Akaike (AIC), la différence avec le meilleur modèle (Δ_i) et le poids du modèle (w_i) sont présentés.

Variabes	Interactions	AIC	Δ_i	w_i
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route) +	DS + DH + CJ + MFM + PSOM + PSFM + PR	470 777	0	0,99
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route) +	DS + DH + PSFM	470 791	14	0,01
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route)		473 079	2 302	0,00
Milieux + Elev + Pente		475 403	4 626	0,00
Milieux		476 118	5 341	0,00

Les interactions pour chaque milieu sont de la forme : Prop MilieuZ + MilieuZ*Prop MilieuZ (voir la section « Réponse fonctionnelle » pour davantage d'explications).

Tableau 10. Fonction de sélection des ressources (β , erreur-type et intervalle de confiance à 95 %) évaluant la sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital hivernal ($n = 89$). Un coefficient (β) positif signifie que la variable est sélectionnée alors qu'un coefficient négatif signifie un évitement. Une sélection ou un évitement est considéré significatif lorsque l'intervalle de confiance n'inclut pas 0. La sélection de chaque type de milieu est déterminée comparativement à la catégorie de référence « eau ». La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation entre la réponse des différents caribous.

Variable	B	e. t.	i. c. à 95 %	
DH	0,055	0,133	-0,208	0,318
DS	2,567	0,189	2,193	2,942
JP	0,013	0,191	-0,366	0,391
MFM	-0,306	0,244	-0,790	0,177
PSOJ	1,114	0,152	0,813	1,415
PSOM	0,902	0,174	0,558	1,246
PSFJ	0,391	0,133	0,127	0,655
PSFM	0,938	0,152	0,638	1,237
RA	1,129	0,144	0,843	1,415
PR	-0,974	0,297	-1,561	-0,386
Autre	0,713	0,225	0,267	1,159
Prop. DH	-0,660	0,983	-2,605	1,286
Prop. DS	-6,862	2,044	-10,909	-2,815
Prop. JP	0,935	0,874	-0,796	2,667
Prop. MFM	10,041	2,885	4,329	15,754
Prop. PSOM	-7,301	3,682	-14,591	-0,011
Prop. PSFM	5,261	0,898	3,483	7,039
Prop. PR	-1,177	1,772	-4,686	2,332
DH * Prop. DH	1,156	0,437	0,291	2,021
DS * Prop. DS	-11,038	1,985	-14,967	-7,108
JP * Prop. JP	-0,063	0,457	-0,969	0,843
MFM * Prop. MFM	-1,000	2,872	-6,686	4,686
PSOM * Prop. PSOM	-1,199	1,625	-4,417	2,019
PSFM * Prop. PSFM	-1,932	0,411	-2,746	-1,118
PR * Prop. PR	0,616	2,167	-3,675	4,907

Élévation (km) (centrée)	1,325	0,093	1,141	1,509
Pente (centrée)	-0,014	0,004	-0,021	-0,006
Log(Distance route)	0,189	0,041	0,108	0,270
Variance effet aléatoire		1,663		

secteurs largement composés de peuplements mixtes et feuillus matures (tableau 12). De plus, la sélection pour les milieux humides semblait diminuer avec l'augmentation de leur disponibilité dans le domaine vital annuel. Finalement, durant la mise bas, les caribous semblaient également rechercher des endroits ayant une altitude plus élevée et situés loin des routes. Ces résultats sont représentés sous forme de carte de probabilité d'occurrence relative à la figure 2.

Lors de la période du rut, la sélection de l'habitat par les caribous était mieux expliquée par un modèle plus simple que le modèle global et excluant l'interaction avec les coupes en régénération (tableau 13). Les coefficients de la fonction de sélection des ressources montraient que les dénudés secs, les milieux humides, les pessières et sapinières ouvertes de plus de 40 ans ainsi que les résineux autres étaient les milieux les plus fortement sélectionnés durant la période du rut (tableau 14). Au contraire, les peuplements mixtes et feuillus matures et les perturbations récentes étaient sélectionnés de façon nettement plus faible. La probabilité d'occurrence relative du caribou dans un paysage diminuait avec la proportion de dénudés humides, de dénudés secs et de jeunes peuplements. De plus, la sélection pour ces types de milieu diminuait lorsque leur abondance dans le domaine vital augmentait. Ces résultats sont aussi représentés sous forme de carte de probabilité d'occurrence relative à la figure 2.

La carte synthèse représentant les endroits propices pour le caribou dans l'ensemble de l'aire d'étude est présentée à la figure 3. Environ 5 000 km², soit 8 % de la carte synthèse, apparaissent comme étant des secteurs répondant aux critères de sélection observés chez le caribou (ce qui représente environ 2 % de l'aire d'étude totale, voir la figure 1 pour sa localisation).

Tableau 11. Sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital lors de la mise bas. La valeur du critère d'information d'Akaike (AIC), la différence avec le meilleur modèle (Δ_i) et le poids du modèle (w_i) sont présentés.

Variables	Interactions	AIC	Δ_i	w_i
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route) +	DS + DH + CJ + MFM + PR	222 593	0	1,00
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route) +	DS + CJ + PR	222 743	150	0,00
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route)		241 451	18 858	0,00
Milieux + Elev + Pente		243 071	20 478	0,00
Milieux		249 281	26 688	0,00

Les interactions pour chaque milieu sont de la forme : Prop MilieuZ + MilieuZ*Prop MilieuZ. Voir la sous-section « Réponse fonctionnelle » de la section 3.3 pour plus d'explications.

Tableau 12. Fonction de sélection des ressources (β , erreur-type et intervalle de confiance à 95 %) évaluant la sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital lors de la mise bas ($n = 89$). Un coefficient (β) positif signifie que la variable est sélectionnée alors qu'un coefficient négatif signifie un évitement. Une sélection ou un évitement est considéré comme significatif lorsque l'intervalle de confiance n'inclut pas 0. La sélection de chaque type de milieu est déterminée comparativement à la catégorie de référence « eau ». La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation entre la réponse des différents caribous.

Variable	β	e. t.	i. c. à 95 %	
DH	2,638	0,116	2,408	2,868
DS	2,404	0,196	2,017	2,792
JP	0,306	0,292	-0,272	0,884
MFM	1,594	0,270	1,059	2,128
PSOJ	2,275	0,130	2,019	2,532
PSOM	2,522	0,110	2,305	2,739
PSFJ	2,380	0,124	2,135	2,624
PSFM	2,446	0,101	2,245	2,646
RA	1,785	0,157	1,473	2,097
PR	0,939	0,473	0,003	1,875
Autre	1,674	0,270	1,140	2,209
Prop. DH	0,161	0,886	-1,593	1,914
Prop. DS	-9,281	2,033	-13,307	-5,255
Prop. JP	-2,539	0,544	-3,616	-1,463
Prop. MFM	14,303	3,150	8,065	20,540
Prop. PR	-3,127	1,789	-6,669	0,415
DH * Prop. DH	-1,766	0,328	-2,415	-1,117
DS * Prop. DS	-3,256	2,247	-7,705	1,194
JP * Prop. JP	2,135	0,785	0,581	3,688
MFM * Prop. MFM	1,159	4,054	-6,868	9,185
PR * Prop. CR	7,619	4,406	-1,106	16,343
Élévation (km) (centrée)	7,308	0,074	7,161	7,455
Pente (centrée)	-0,006	0,005	-0,015	0,003
Log(Distance route)	0,228	0,045	0,139	0,317
Variance effet aléatoire		1,112		

Tableau 13. Sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital lors de la saison du rut. La valeur du critère d'information d'Akaike (AIC), la différence avec le meilleur modèle (Δ_i) et le poids du modèle (w_i) sont présentés.

Variables	Interactions	AIC	Δ_i	w_i
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route) +	DS + DH + CJ + PR	156 968	12	0,00
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route) +	DS + DH + CJ	156 956	0	1,00
Milieux + Elev + Pente + Log(Dist_route)		164 047	7 091	0,00
Milieux + Elev + Pente		167 251	10 295	0,00
Milieux		167 880	10 924	0,00

Les interactions pour chaque milieu sont de la forme : Prop MilieuZ + MilieuZ*Prop MilieuZ. Voir la sous-section « Réponse fonctionnelle » de la section 3.3 pour plus d'explications.

Tableau 14. Fonction de sélection des ressources (β , erreur-type et intervalle de confiance à 95 %) évaluant la sélection d'habitat du caribou forestier pour l'établissement du domaine vital lors de la saison du rut ($n = 89$). Un coefficient (β) positif signifie que la variable est sélectionnée alors qu'un coefficient négatif signifie un évitement. Une sélection ou un évitement est considéré comme significatif lorsque l'intervalle de confiance n'inclut pas 0. La sélection de chaque type de milieu est déterminée comparativement à la catégorie de référence « eau ». La variance associée à l'effet aléatoire représente le degré de variation entre la réponse des différents caribous.

Variable	β	e. t.	i. c. à 95 %	
DH	2,893	0,121	2,653	3,132
DS	4,135	0,178	3,782	4,487
JP	2,365	0,247	1,876	2,854
MFM	0,506	0,184	0,141	0,871
PSOJ	2,889	0,139	2,613	3,165
PSOM	2,647	0,093	2,464	2,830
PSFJ	2,201	0,124	1,957	2,446
PSFM	2,224	0,091	2,044	2,404
RA	2,468	0,151	2,170	2,766
PR	1,543	0,221	1,107	1,980
Autre	2,107	0,277	1,560	2,655
Prop. DH	-4,513	0,756	-6,009	-3,017
Prop. DS	-10,951	2,790	-16,476	-5,426
Prop. JP	-1,693	0,695	-3,069	-0,316
DH * Prop. DH	-1,097	0,338	-1,767	-0,428
DS * Prop. DS	-9,318	1,738	-12,759	-5,877
JP * Prop. JP	-1,678	0,766	-3,195	-0,161
Élévation (km, centrée)	2,32	0,075	2,172	2,469
Pente (centrée)	-0,018	0,005	-0,028	-0,009
Log(Distance route)	0,467	0,064	0,339	0,594
Variance effet aléatoire		1,998		

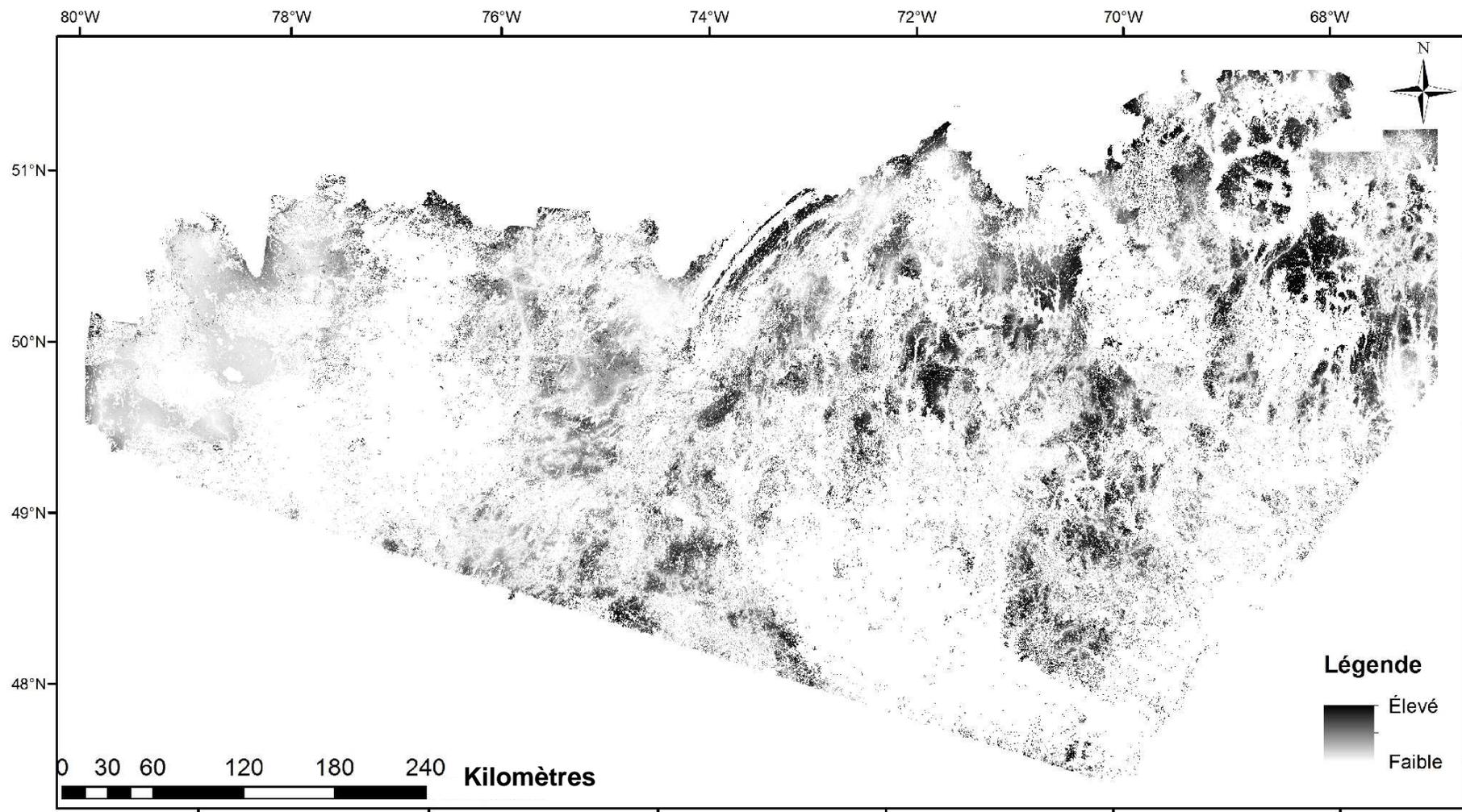


Figure 3. Carte caractérisant le potentiel de l'habitat pour le caribou forestier en considérant sa sélection lors de l'établissement du domaine vital annuel ainsi que pour les saisons de l'hiver, de la mise bas et du rut. Une absence de couleur signifie que ce secteur n'obtenait pas une valeur suffisante pour l'établissement du domaine vital annuel (voir méthodes).

5. DISCUSSION

Le projet avait pour objectif d'identifier les caractéristiques des milieux sélectionnés par le caribou forestier durant les principales périodes de son cycle annuel et de cartographier les secteurs les plus propices à cette espèce dans la majorité de son aire de répartition continue au Québec. Pour ce faire, nous avons utilisé une base de données télémétriques colossale, d'une ampleur inégalée au Québec, provenant de quatre secteurs d'étude qui couvraient une large part de la forêt boréale québécoise. L'étude a démontré que les caribous utilisent de très grandes superficies pour combler leurs besoins en termes d'habitats sur une base annuelle et saisonnière. Les analyses de sélection d'habitat ont également servi à déterminer les milieux recherchés par les caribous lors de l'établissement de leurs domaines vitaux annuels et saisonniers. Ces résultats ont permis d'identifier les secteurs de la forêt boréale québécoise offrant un potentiel d'habitat élevé pour le caribou forestier en considérant ses critères de sélection durant l'année et pour trois saisons critiques.

Il est important de mentionner que nos résultats supposent que les individus suivis par télémétrie GPS représentaient un échantillon de la population réparti de façon aléatoire par rapport aux différentes variables mesurées. Il est probable que cela ne soit pas le cas pour tous nos secteurs tel que cela a été observé chez d'autres espèces par Boyce et Waller (2003) ou Johnson et al. (2005). Dans notre cas, puisque certains objectifs spécifiques des projets de recherche étaient de comprendre la réaction du caribou aux coupes forestières, certains individus ont vraisemblablement été marqués dans des secteurs de coupes. Il faut donc tenir compte de cette réalité dans l'interprétation des résultats. Par exemple, il est possible que la sélection des coupes par le caribou ait été surestimée. De plus, il ne faut pas oublier que notre suivi n'a été réalisé que sur des femelles adultes et il est possible que le comportement des mâles soit différent. Il faut garder à l'esprit également que les suivis télémétriques ont été réalisés dans des secteurs bien précis qui ne couvrent qu'une partie du territoire utilisé par le caribou. Ainsi, l'absence de localisation dans un endroit donné ne signifie pas nécessairement qu'il est évité par les caribous. Il est plutôt probable qu'aucun caribou n'ait été capturé dans cette région pour des raisons logistiques (autonomie limitée des aéronefs, etc.).

5.1 Analyse des domaines vitaux

La superficie des domaines vitaux annuels du caribou est très élevée. Parmi les 242 individus suivis durant une année complète, la taille médiane et moyenne des domaines vitaux annuels dépassait souvent les 1 000 km². Ce résultat est supérieur aux estimations de Courtois et al. (2002) qui avaient estimé la taille moyenne du domaine vital entre 200 et 800 km². Il faut rappeler que l'étude de Courtois et al. (2002) utilisait la télémétrie VHF, une technologie permettant un suivi moins détaillé des déplacements que la technologie GPS et qui sous-estime la taille des domaines vitaux. Dans notre étude, la taille des domaines vitaux variait cependant entre les secteurs d'étude. Les caribous du secteur Jamésie avaient de plus grands domaines vitaux, aussi bien sur une base annuelle que pour chacune des saisons analysées. Peu importe le secteur, il ressort que les domaines vitaux étaient plus petits dans les paysages avec une proportion élevée de peuplements résineux matures. À l'inverse, la superficie des domaines vitaux augmentait dans les secteurs avec une proportion élevée de coupes forestières récentes. Ce résultat démontre l'importance des peuplements résineux matures pour le caribou. En effet, il est généralement admis dans la littérature que la superficie des domaines vitaux diminue avec la qualité de l'habitat (McLoughlin et Ferguson 2000). Il est cependant surprenant de constater que l'influence de l'abondance des coupes récentes sur la taille des domaines vitaux était beaucoup moindre dans le secteur Saguenay Sud. Il s'agissait également du secteur où la taille des domaines vitaux des caribous était, en moyenne, la plus petite (bien que cette différence n'était significative qu'avec le secteur Jamésie). Cela suggère que, bien que la quantité de coupes récentes augmente généralement la taille des domaines vitaux, il pourrait y avoir un seuil de perturbation à partir duquel les caribous ont une réaction différente. En effet, bien que le secteur Saguenay Sud ne contenait pas nécessairement plus de coupes récentes que les autres secteurs, il s'agissait sans contredit du secteur le plus fortement influencé par les interventions anthropiques puisque l'abondance des jeunes peuplements y était également très élevée (voir le tableau 1). Ces résultats sont similaires à ceux de Faille et al. (2010) qui ont démontré que la taille des domaines vitaux était plus faible dans les sites hautement perturbés, possiblement parce que les caribous évitaient les milieux dégradés et trouvaient refuge dans les derniers fragments d'habitats intéressants.

Les tendances observées pour les trois saisons que nous avons étudiées étaient très semblables à celles observées lors de l'établissement du domaine vital annuel. Les domaines vitaux saisonniers

étaient plus petits que le domaine vital annuel (approximativement 10 fois plus petits durant le rut et la mise bas). Les domaines vitaux saisonniers étaient plus grands en hiver, ce qui a été documenté à maintes reprises dans d'autres études (Schaefer, Bergman et Luttich 2000; Ferguson et Elkie 2004; Wittmer, McLellan et Hovey 2006; Metsaranta et Mallory 2007). Bien que les trois périodes considérées couvraient environ la moitié de l'année, la superficie cumulée des domaines vitaux saisonniers était beaucoup plus faible que la superficie médiane annuelle. Cela démontre bien que le caribou est une espèce très mobile pouvant effectuer de grands déplacements à toutes les périodes de l'année afin de rejoindre les habitats dont il a besoin (Ferguson et Elkie, 2004; Courbin et al. 2009). De plus, ces résultats suggèrent que les caribous doivent fréquenter des sites différents au sein de leur domaine vital pour combler leurs différents besoins vitaux tout au long de l'année (Metsaranta et Mallory, 2007).

5.2 Sélection de l'habitat

En observant les coefficients de sélection d'habitat, il est possible de constater que la majorité des habitats apparaissaient sélectionnés (un bêta positif et la valeur de l'intervalle de confiance n'incluant pas zéro). Cela est relié à notre choix d'utiliser l'eau comme milieu de référence, un habitat uniformément distribué entre les secteurs mais rarement sélectionné (sauf l'hiver). Ainsi, tous les habitats étaient davantage sélectionnés que l'eau. Il est donc important d'interpréter nos résultats sur une échelle relative de sélection par rapport à l'eau. L'annexe IV présente une analyse complémentaire permettant de déterminer les milieux sélectionnés et évités selon une approche plus classique comparant l'utilisation et la disponibilité de chaque milieu. L'adéquation entre les résultats des RSFs et l'annexe IV pourrait cependant ne pas être parfaite puisque l'approche statistique est différente. En effet, la régression logistique (RSF) est beaucoup plus performante que les tests de t puisque les coefficients de sélection sont ajustés en fonction de l'ensemble des paramètres présents dans la régression.

Les analyses de sélection d'habitat ont révélé l'importance de différents milieux ainsi que de certaines variables abiotiques sur l'établissement des domaines vitaux annuels et saisonniers des caribous forestiers. Les résultats obtenus étaient globalement conformes à ce qui a été documenté auparavant au Québec (Courtois et al. 2008; Courbin et al. 2009; Hins et al. 2009). De façon générale, nos résultats indiquaient que ce sont les milieux dénudés secs qui avaient l'influence la

plus grande et la plus constante sur la fréquentation d'un secteur par le caribou autant annuellement que pour chacune des saisons. Plus les dénudés secs étaient rares dans l'environnement, plus les caribous les recherchaient. Les caribous semblaient cependant avoir besoin d'autres types de milieux puisque la sélection pour les dénudés secs diminuait avec l'augmentation de leur disponibilité dans le paysage (excepté durant la mise bas). Les peuplements de résineux matures de 40 à 80 ans et de 80 ans et plus étaient également des milieux recherchés par les caribous autant au niveau annuel que saisonnier. Les résineux ouverts (pourcentage de couverture entre 25 et 40 %) constitués de pessières et sapinières étaient globalement sélectionnés plus fortement que les mêmes peuplements fermés, particulièrement au niveau annuel et lors du rut. Les dénudés humides étaient surtout sélectionnés durant la mise bas et le rut, même si leur utilisation par le caribou semblait limitée puisque la sélection de ceux-ci diminuait avec l'augmentation de leur disponibilité. Durant l'hiver, les milieux humides étaient fortement sélectionnés dans les secteurs où ils étaient abondants; ainsi, ces milieux étaient particulièrement recherchés en hiver par les caribous du secteur Jamésie.

Les jeunes peuplements de 5 à 40 ans, les coupes récentes et les peuplements mixtes et feuillus étaient très faiblement sélectionnés durant toute l'année (et évités selon l'analyse de variance multivariée présentée à l'annexe IV). Bien que nos analyses aient rarement démontré l'évitement d'un milieu particulier, il faut interpréter ce résultat dans la perspective où le milieu de référence était l'eau (lacs, rivières, etc.), un milieu très peu utilisé par le caribou en général. De plus, l'augmentation de la proportion de coupes récentes dans le paysage a également eu tendance à diminuer la sélection pour ce type de milieu, un résultat identique à Courbin et al. (2009). L'utilisation d'un milieu de référence autre que « eau » aurait été intéressante, mais il s'agissait du seul milieu dont la disponibilité était relativement constante entre les secteurs. L'utilisation d'un autre milieu aurait davantage compliqué l'interprétation des résultats, puisque qu'il n'aurait pas été possible d'établir si la différence de réponse observée entre les secteurs provenait d'une réponse fonctionnelle ou d'une disponibilité différente du milieu de référence. Nous invitons le lecteur à référer à l'annexe IV afin de connaître les milieux sur-utilisés (sélectionnés) ou sous-utilisés (évités) par rapport à leur disponibilité dans l'environnement.

5.3 Interprétation des cartes de probabilité d'occurrence

Les analyses de sélection d'habitat ont permis de spatialiser les secteurs offrant un habitat propice au caribou en déterminant la probabilité d'occurrence relative de l'espèce à partir des modèles décrivant le mieux la sélection d'habitat. Ces cartes identifient pour chacune des saisons et pour l'année, des secteurs ayant des caractéristiques recherchées par le caribou. Il demeure néanmoins que, bien qu'informatives, les cartes saisonnières ou même la carte annuelle ne peuvent être utilisées pour prédire la répartition ou l'abondance du caribou sur le territoire québécois. En effet, il est important de considérer la nature hiérarchique du processus de sélection d'habitat. Un habitat peut répondre aux besoins du caribou pendant une saison, mais encore faut-il que le paysage dans lequel se trouve cet habitat convienne au caribou et qu'il puisse y établir son domaine vital annuel. De plus, il faut faire la distinction entre une probabilité d'occurrence et le niveau d'abondance d'une espèce à un endroit donné. À titre d'exemple, Nielsen et al. (2005) ont montré que la probabilité d'occurrence n'était pas toujours corrélée à l'abondance chez l'orignal (*Alces alces*). Ils ont avancé que l'occurrence et l'abondance étaient régies par des processus distincts.

La carte synthèse de la figure 3 produite en combinant l'information des différentes saisons est, à cet égard, nettement plus révélatrice du potentiel d'un secteur pour le caribou forestier. En effet, celle-ci ne considère que les sites les plus propices pour répondre aux besoins du caribou forestier en termes d'habitat, sur une base annuelle. Les aires retenues sont ensuite évaluées en fonction de leur potentiel pour l'hiver, le rut et la mise bas, trois saisons considérées importantes pour le caribou. Il est important de mentionner qu'il ne faut pas considérer les secteurs exclus lors de la première étape comme sans importance pour le caribou. En effet, l'habitat du caribou s'est grandement dégradé au cours des dernières décennies et celui-ci se trouve parfois confiné à des milieux sous-optimaux. Grâce à sa grande capacité d'adaptation, le caribou persiste dans des milieux qui lui sont en apparence assez hostiles, par exemple, certains secteurs de la réserve faunique des Laurentides ou de la frange sud du secteur Saguenay Sud. Nous recommandons de consulter, entre autres, les cartes provenant des inventaires aériens du caribou forestier pour obtenir une image complémentaire de la distribution du caribou au Québec. La carte synthèse produite est cependant assez conservatrice et permet de bien cibler les secteurs où l'habitat pour le caribou est de qualité adéquate. L'échelle de tons de gris permet de cibler les milieux à

préserver en priorité à cause d'un potentiel plus élevé. Faune Québec peut fournir les cartes en format numérique et il est possible de les intégrer à un SIG ou de les afficher avec une meilleure résolution. De plus, l'utilisation des cartes du SIEF offre l'avantage de faciliter l'interprétation et l'utilisation de nos résultats par les intervenants du milieu forestier puisque le support d'information est le même que celui préconisé pour la planification des opérations forestières au Québec³.

Une autre mise en garde mérite d'être faite au sujet de la carte synthèse. Certains secteurs ne semblent pas favorables au caribou durant certaines périodes de l'année alors que les caribous y persistent depuis longtemps et il est impossible d'attribuer ce changement à l'anthropisation récente du secteur. Il est possible qu'une analyse utilisant un modèle autologistique (voir Fortin et al. 2008), mettant plus de poids aux endroits où les caribous sont présents, donnerait une image plus précise des secteurs à protéger en priorité. Il est également possible qu'un paramètre important pour le caribou n'ait pas été inclus dans les modèles, par exemple, le risque de prédation. Le lecteur doit comprendre les limites de notre analyse et se rappeler qu'il est important, entre autres, de prendre en compte la répartition actuelle des caribous.

5.4 Conséquences sur l'aménagement

Nos analyses ont tout d'abord confirmé l'importance des milieux dénudés secs ainsi que des peuplements de conifères matures pour le caribou forestier, tant pour ses besoins annuels que pour des besoins propres à chacune des saisons. L'utilisation d'interactions a également démontré que la sélection de certains milieux change en fonction de leur disponibilité dans le paysage. Une telle réponse fonctionnelle démontre les besoins multiples du caribou et l'importance de conserver une certaine hétérogénéité à l'intérieur des paysages fréquentés. La carte synthèse produite démontre également que, dans la situation actuelle, les sites très propices au caribou sont rares (environ 2 % de la forêt boréale québécoise). Il est possible que plusieurs types de milieux ayant une grande valeur pour le caribou aient déjà été perturbés par les opérations forestières et qu'ils ne soient temporairement plus disponibles.

³L'annexe A précise les détails techniques de notre classification

Concrètement, les résultats de la présente étude, obtenus en utilisant la meilleure technologie disponible, nous permettent de valider et de compléter les modalités de gestion de l'habitat du caribou forestier. Les premières stratégies d'aménagement pour protéger le caribou forestier reposaient sur la conservation de massifs de protection dans les aires d'intervention (Courtois et al. 2004, 2008). Cette approche était basée sur la protection de grands massifs forestiers de conifères, sur la concentration des coupes forestières dans de grands blocs d'aménagement et sur le maintien de la connectivité des parcelles d'habitats. Nos résultats appuient les recommandations formulées par Courtois et al. (2004) en ce qui a trait aux milieux à protéger en priorité et à l'importance de garder une certaine hétérogénéité dans les habitats à l'intérieur des massifs. Bien que les massifs soient principalement destinés à protéger les habitats hivernaux, nos analyses ont démontré que les milieux sélectionnés durant l'hiver étaient souvent sélectionnés durant la mise bas et le rut également. Il est pertinent de rappeler que Courbin et al. (2009) ont démontré que les forêts de conifères matures situées à l'extérieur des massifs de protection sont aussi fortement sélectionnées, notamment pendant le rut et l'élevage des jeunes. Au Saguenay–Lac-Saint-Jean, une étude récente a montré que la probabilité d'occurrence du caribou forestier variait de 40 à 48 % pour les massifs de 100 km² et de ~ 53 à 62 % pour des massifs de 250 km² (Lesmerises, 2011). Pour atteindre une probabilité d'occurrence de 75 %, il faudrait une taille minimale de 500 km² alors qu'une probabilité d'occurrence maximale était atteinte avec une superficie supérieure à 1 000 km². Cette taille est beaucoup plus grande que celle actuellement préconisée pour les blocs de protection. Ces observations ainsi que la grande superficie des espaces utilisés annuellement par le caribou indiquent que la taille actuelle des massifs de protection proposée par Courtois et al. (2004) n'est pas suffisante pour assurer la conservation du caribou forestier à long terme. Nous recommandons, lorsque possible, de maintenir des massifs forestiers de 1000 km² peu perturbés (i.e. <20% de peuplements âgés de 50 ans et moins).

Cependant, le maintien de blocs de protection aussi grands ne sera pas possible dans les secteurs fortement exploités. Pour maintenir un habitat de qualité pour le caribou dans les secteurs très perturbés, nous proposons de mieux encadrer la gestion des habitats de prédilection du caribou (les milieux productifs en lichens terricoles comme les dénudés secs et les peuplements de résineux matures ouverts) en périphérie des blocs de protection. Nous suggérons donc de maintenir les massifs de protection disponibles, d'une superficie >100 km² en y ajoutant une zone

tampon de 18 km (le rayon d'un cercle de 1 000 km², soit environ la superficie d'un domaine vital) à l'intérieur de laquelle les habitats propices au caribou (dénudés secs, forêts de résineux matures ouverts, etc.) seraient maintenus. Les travaux de Courbin et al. (2009) soulignaient que les zones à proximité des secteurs de coupe pouvaient devenir des trappes écologiques. L'étude de Lesmerises (2011) a également démontré l'impact négatif qu'avaient les coupes, les chemins forestiers et les chalets de villégiature présents dans un rayon de quelques kilomètres autour des massifs de protection, sur l'utilisation des massifs par le caribou, soulignant l'importance de limiter le dérangement anthropique dans les habitats dévolus à la protection du caribou. Il est donc important d'avoir une telle zone tampon autour des massifs plus petits que 1000 km². De plus, l'ajout de cette zone tampon autour des blocs de protection diminuerait le niveau de perturbation du milieu afin de viser à le maintenir en deçà des seuils critiques proposés par une étude réalisée par un comité d'experts canadiens (Environnement Canada 2008). Cette méta-analyse a permis de mettre en évidence une relation négative entre le niveau de perturbation de l'habitat et le taux de recrutement de la population de caribous. Selon cette relation, lorsque le taux de perturbation dans un paysage dépasse 40 %, les populations de caribous déclinent à cause d'une baisse du recrutement (c'est-à-dire en deçà du seuil de 29 faons par 100 femelles ou 15 % de faons de la population nécessaire au maintien). Cette méta-analyse a aussi évalué les probabilités de persistance de la majorité des populations ou groupes de caribous forestiers au Canada. Ils ont estimé la probabilité de persistance du caribou à 0,6, 0,4 et 0,7 pour les populations de Manicouagan, de Pipmuacan et de Manouane, respectivement, qui se trouvent dans le secteur Saguenay Nord. À titre de comparaison, la méta-analyse a respectivement estimé à 0,4 et à 0,2 la probabilité de persistance des populations de Charlevoix et de Val-d'Or qui se maintiennent difficilement dans des paysages fortement perturbés par l'exploitation forestière et les autres activités humaines.

Il est difficile de fixer un seuil de perturbations anthropiques à ne pas dépasser afin d'assurer la conservation du caribou forestier. Cependant, nous proposons de viser un seuil **maximal** de 35% de perturbations dans des unités paysagères de 5000 km², ce qui permet d'anticiper une probabilité de maintien de la population locale de caribou à 0,6 (Environnement Canada 2008), un objectif minimal d'aménagement du paysage. Dans le cas de la conservation d'une espèce

menacée, on doit garder à l'esprit qu'une probabilité de persistance de 0,6 correspond également à une probabilité de disparition de 0,4 (ou 40 %), un risque important.

6. CONCLUSION

Le présent projet constitue la première synthèse provinciale des données provenant des programmes de télémétrie GPS du caribou forestier à l'intérieur de son aire de répartition continue au Québec. Cela a été rendu possible grâce à la collaboration de plusieurs intervenants. Bien que les résultats présentés dans le présent rapport aient été, pour la plupart, déjà documentés dans le passé, la mise en commun des différentes bases de données a permis de tracer des généralités dans le comportement de sélection d'habitat du caribou tout au long d'un gradient de perturbations anthropiques. De plus, nos analyses ont mis en évidence des réponses fonctionnelles en sélection d'habitat, ce qui permet de pousser un peu plus loin notre compréhension des besoins de l'espèce. Enfin, nous avons pu élaborer des cartes de potentiel de l'habitat à l'échelle québécoise, et ce, en utilisant la meilleure information disponible à ce jour pour le faire. Il s'agit d'une avancée importante et originale qui, nous l'espérons, contribuera à mieux protéger le caribou forestier et son habitat dans le futur.

7. REMERCIEMENTS

Nous remercions les différentes organisations qui ont accepté de partager leurs bases de données pour rendre cet exercice possible, soit le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), l'Université Laval, l'Université du Québec à Rimouski, l'Université du Québec à Montréal ainsi que différents autres partenaires dans chacun des secteurs d'étude. Nous remercions également les organismes subventionnaires qui ont permis la réalisation du suivi télémétrique dans les divers secteurs de notre étude. Finalement, nous remercions M. Bernard Rousseau de la Direction des inventaires forestiers (MRNF) qui nous a rapidement transmis les données écoforestières nécessaires aux analyses.

8. RÉFÉRENCES

- Aebischer, N. J., P. A. Robertson et R. E. Kenward (1993). « Compositional analysis of habitat use from animal radio-tracking data ». *Ecology*, vol. 74, p. 1313-1325.
- Bergerud, A. T. (1974). « Decline of caribou in North-America following settlement ». *Journal of Wildlife Management*, vol. 38, p. 757-770.
- Bergerud, A. T. (1988). « Caribou, wolves and man ». *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 3, p. 68-72.
- Boulet, M., S. Couturier, S. D. Côté, R. D. Otto et L. Bernatchez (2007). « Integrative use of spatial, genetic, and demographic analyses for investigating genetic connectivity between migratory, montane, and sedentary caribou herds ». *Molecular Ecology*, vol. 16, p. 4223-4240.
- Boyce, M. S. et L. L. McDonald (1999). « Relating populations to habitats using resource selection functions ». *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 14, p. 268-272.
- Boyce, M. S., P. R. Vernier, S. E. Nielsen et F. K. A. Schmiegelow (2002). « Evaluating resource selection functions ». *Ecological Modelling*, vol. 157, p. 281-300.
- Boyce, M. S. et J. S. Waller. 2003. « Grizzly bears for the Bitterroot: predicting potential distribution and abundance ». *Wildlife Society Bulletin*, vol. 31, 670-683.
- Burnham, K. P. et Anderson, D. R. (2002). « Model selection and multimodel inference ». *Springer*, 490 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*, vol. 24, p. 1375-1388.
- Courtois, R. (2003) *La conservation du caribou forestier dans un contexte de perte d'habitat et de fragmentation du milieu*, Thèse. Ph. D., Université du Québec à Rimouski.
- Courtois, R., L. Bernatchez, J.-P. Ouellet et L. Breton (2003a). « Significance of caribou (*Rangifer tarandus*) ecotypes from a molecular genetics viewpoint ». *Conservation Genetics*, vol. 4, p. 393-404.
- Courtois, R., C. Dussault, A. Gingras, A. et G. Lamontagne (2003b). *Rapport sur la situation du caribou forestier au Québec*, Société de la faune et des parcs du Québec. Direction de la recherche sur la faune, Direction de l'aménagement de la faune de Jonquière et Direction de l'aménagement de la faune de Sept-Îles, Québec.
- Courtois, R., A. Gingras, D. Fortin, A. Sebbane, B. Rochette et L. Breton (2008). « Demographic and behavioural response of woodland caribou to forest harvesting ». *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 38, p. 2837-2849.
- Courtois, R., J.-P. Ouellet, A. Gingras, A. et C. Dussault (2002). *Effet de la fragmentation du milieu sur l'utilisation de l'espace et la dynamique de population chez le caribou forestier*, Société de la faune et des parcs du Québec, Québec.
- Courtois, R., J.-P. Ouellet, C. Dussault et A. Gingras (2004). « Forest management guidelines for forest-dwelling caribou in Québec ». *Forestry Chronicle*, vol. 80, p. 598-607.
- Couturier, S., R. D. Otto, S. D. Côté, G. Luther et S. P. Mahoney (2010). « Body size variations in caribou ecotypes and relationships with demography ». *Journal of Wildlife Management*, vol. 74, p. 395-404.
- Environment Canada. (2008). *Scientific review for the identification of critical habitat for Woodland caribou (*Rangifer tarandus caribou*), Boreal population, in Canada*. Ottawa, Environment Canada. 72 p. et 180 p. d'annexes.

- Équipe de rétablissement du caribou forestier. (2008) *Plan de rétablissement du caribou forestier (Rangifer tarandus) au Québec - 2005-2012*, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Faune Québec, Direction de l'expertise sur la faune et des habitats, Québec.
- Faille, G., C. Dussault, J.-P. Ouellet, D. Fortin, R. Courtois et M.-H. St-Laurent (2010) « Range fidelity: The missing link between caribou decline and habitat alteration? », *Biological Conservation*, vol. 143, p. 2840-2850.
- Ferguson, S. H. et P. C. Elkie (2004). « Seasonal movement patterns of woodland caribou (*Rangifer tarandus caribou*). » *Journal of Zoology*, vol. 262, p. 125-134.
- Festa-Bianchet, M., J. C. Ray, S. Boutin, S.D. Côté et A. Gunn (2011). « Conservation of caribou (*Rangifer tarandus*) in Canada: an uncertain future ». *Canadian Journal of Zoology*, vol. 89, p. 419-434.
- 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*, vol. 45, p. 1392-1400.
- Geist, V. (1998). *Deer of the world: their evolution, behaviour, and ecology*, Stackpole, Mechanicsburg, Pennsylvania, USA.
- Gustine, D. D. et K. L. Parker (2008). « Variation in the seasonal selection of resources by woodland caribou in northern British Columbia ». *Canadian Journal of Zoology*, vol. 86, p. 812-825.
- Hebblewhite, M. et E. Merrill (2008). « Modelling wildlife-human relationships for social species with mixed-effects resource selection models ». *Journal of Applied Ecology*, vol. 45, p. 834-844.
- Hemson, G., P. Johnson, A. South, R. Kenward, R. Ripley, D. Macdonald. (2005). « Are kernels the mustard? Data from global positioning system (GPS) collars suggests problems for kernel home-range analyses with least-squares cross-validation ». *Journal of Animal Ecology*, vol. 74, p. 455-463.
- Hins, C., J.-P. Ouellet, C. Dussault et M. H. St-Laurent (2009). « Habitat selection by forest-dwelling caribou in managed boreal forest of eastern Canada: Evidence of a landscape configuration effect ». *Forest Ecology and Management*, vol. 257, p. 636-643.
- Huberty, C. J. (1994) *Applied discriminant analysis*, Wiley Interscience, New York.
- Johnson, D. H. (1980). « The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference ». *Ecology*, vol. 61, p. 65-71.
- Johnson, C. J., M. S. Boyce, R. L. Case, H. D. Cluff, R. J. Gau, A. Gunn et R. Mulders (2005). « Cumulative effects on human developments on Arctic wildlife ». *Wildlife Monograph* n° 160, 36 p.
- Jolicoeur, H. (1993). *Des caribous et des hommes. L'histoire de la réintroduction du caribou dans les Grands-Jardins*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction de la faune et des habitats, 76 p.
- Koper, N. et M. Manseau (2009). « Generalized estimating equations and generalized linear mixed-effects models for modelling resource selection ». *Journal of Applied Ecology*, vol. 46, 590-599.
- Lesmerises, R. (2011). *Évaluation de la valeur des massifs de forêt résiduelle pour la conservation du caribou forestier (Rangifer tarandus caribou)*. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 115 p.
- 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* » (2^e éd.) Kluwer, Boston.

- McLoughlin, P. D. et S. H. Ferguson (2000). « A hierarchical pattern of limiting factors helps explain variation in home-range size ». *Ecoscience*, vol. 7, p. 123-130.
- Metsaranta, J. M. et F. F. Mallory (2007). « Ecology and habitat selection of a woodland caribou population in west-central Manitoba, Canada ». *Northeastern Naturalist*, vol. 14, p. 571-588.
- Mysterud, A. et R.A. Ims (1998). « Functional responses in habitat use: Availability influences relative use in trade-off situations ». *Ecology*, vol. 79, p. 1435-1441.
- Nielsen, S. E., C. J. Johnson, D. C. Heard et M. S. Boyce (2005). « Can models of presence-absence be used to scale abundance? Two case studies considering extremes in life history ». *Ecography*, vol 28, p. 197-208.
- Paré, M. et C. Brassard (1994). *Écologie et plan de protection de la population de caribous de Val-d'Or*, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue, 56 p.
- Schaefer, J. A. (2003). « Long-Term Range Recession and the Persistence of Caribou in the Taiga ». *Conservation Biology*, vol. 17, p. 1435-1439.
- Schaefer, J. A., C. M. Bergman et S. N. Luttich (2000). « Site fidelity of female caribou at multiple spatial scales ». *Landscape Ecology*, vol. 15, p. 731-739.
- St-Laurent, M.-H. et C. Dussault (2012). « The reintroduction of boreal caribou as a conservation strategy: A long-term assessment at the southern range limit ». *Rangifer Special Issue 20*: p. 33-44.
- Vors, L. S., J. A. Schaefer, B. A. Pond, A. R. Rodgers et B. R. Patterson (2007). « Woodland caribou extirpation and anthropogenic landscape disturbance in Ontario ». *Journal of Wildlife Management*, vol. 71, p. 1249-1256.
- Wittmer, H. U., B. N. McLellan et F. W. Hovey (2006). « Factors influencing variation in site fidelity of woodland caribou (*Rangifer tarandus caribou*) in southeastern British Columbia ». *Canadian Journal of Zoology*, vol. 84, p. 537-545.
- Zar, J. H. (2009). *Biostatistical analysis (Fifth edition)*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA

ANNEXE I

Classification des différents types de milieux en utilisant les codes du Système d'information écoforestière (SIEF)

Type de milieu	Caractéristiques de la carte écoforestière
Eau	CO_TER = Eau
Dénudé humide	CO_TER = DH
Dénudé sec	CO_TER = DS
Peuplement 5-40 ans ¹	CL_AGE = 10, 30, 10__ ² ou 30__
Mixtes-feuillus 40 ans et +	TYPE_COUV = M ou F, CI_AGE = JIN, JIR, 50, 70, 50__, ou 70__
Résineux Pessière_Sapinière Ouverte 40-80 ans	TYPE_COUV = R, CI_AGE = JIN, JIR 50, 70, 50__ ou 70_, CL_DENS = D, GR_ESS = E_, S_G_, RE ou RG
Résineux Pessière_Sapinière Ouverte 80 ans et +	TYPE_COUV = R, CI_AGE = VIN, VIR 90, 120, 90__ ou 120_, CL_DENS = D, GR_ESS = E_, S_G_, RE ou RG
Résineux Pessière_Sapinière Fermé 40-80 ans	TYPE_COUV = R, CI_AGE = JIN, 50, 70, 50__ ou 70_, CL_DENS = A, B ou C, GR_ESS = E_, S_G_, RE ou RG
Résineux Pessière_Sapinière Fermé 80 ans et +	TYPE_COUV = R, CI_AGE = VIN, 90, 120, 90__ ou 120_, CL_DENS = A, B ou C, GR_ESS = E_, S_G_, RE ou RG
Résineux autre	TYPE_COUV = R, CI_AGE = JIN, JIR, VIN, VIR, 50, 70, 90, 120, 50__, 70_, 90__ ou 120_, GR_ESS <> E_, S_G_, RE ou RG
Coupes / Perturbations récentes 0-5 ans ¹	créé <i>a posteriori</i>
Autres	

¹ Ces milieux ont été ajustés *a posteriori* en utilisant l'année des perturbations du SIEF et du RAIF.

² Représente toutes les possibilités de classe d'âge débutant par ces deux chiffres, mais ayant des valeurs différentes pour les chiffres suivants.

ANNEXE II

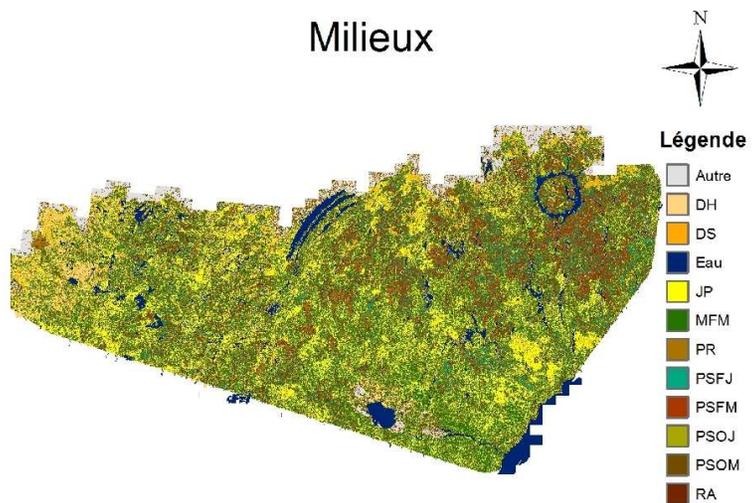
Liste des sigles et des abréviations utilisés dans le présent rapport

Sigle	Signification
AIC	Critère d'information d' Akaike
β	Coefficient de sélection pour la variable étudiée
COSEPAC	Comité sur la situation des espèces en péril au Canada
Δ_i	Différence avec la valeur AIC du meilleur modèle
DH	Dénudé humide
DS	Dénudé sec
e. t.	Erreur-type
GPS	<i>Global Positioning System</i> ou Système de positionnement global
i. c.	Intervalle de confiance
JP	Jeune peuplement (5-40 ans)
MFM	Mixte-feuillu mature (40 ans +)
PR	Perturbation récente (0-5 ans)
Prop.	Proportion
PSFJ	Pessière/Sapinière fermée (40-80 ans)
PSFM	Pessière/Sapinière fermée (80 ans +)
PSOJ	Pessière/Sapinière ouverte (40-80 ans)
PSOM	Pessière/Sapinière ouverte (80 ans +)
r	Coefficient de corrélation
RA	Résineux autre (40 ans +)
RAIF	Rapport annuel d'interventions forestières
RSF	<i>Resource selection function</i> ou Fonction de sélection des ressources
SIEF	Système d'information écoforestière
SIG	Système d'information géographique
w_i	Poids relatif du modèle

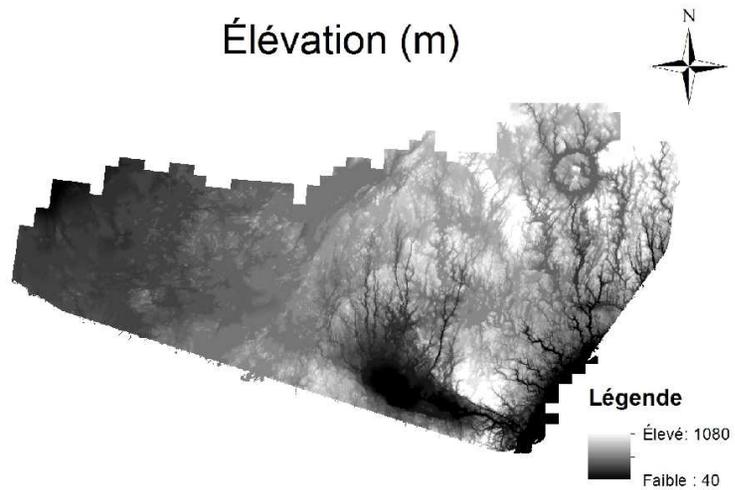
ANNEXE III

**Cartes représentant les différents types de milieux, l'élévation, la pente ainsi que la distance
à une route dans l'aire d'étude**

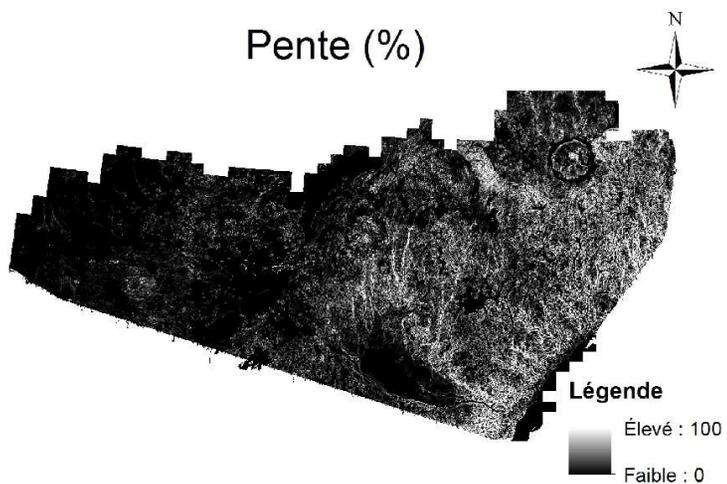
Milieus



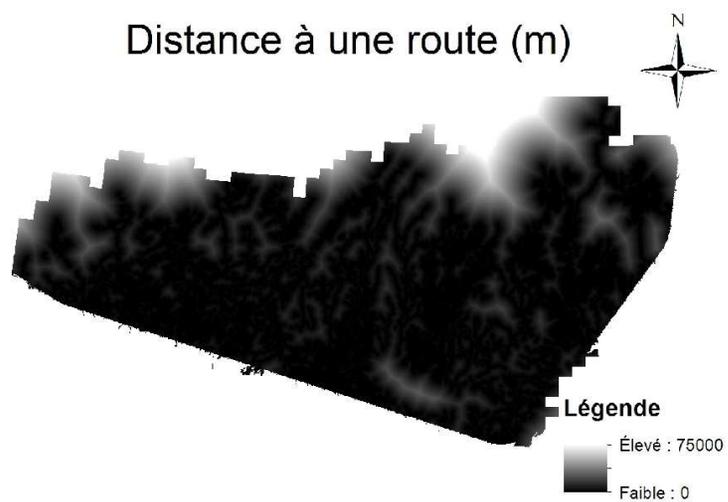
Élévation (m)



Pente (%)



Distance à une route (m)



ANNEXE IV

Comparaison entre l'utilisation et la disponibilité de chacun des types de milieux

Disponibilité et utilisation moyenne de chaque type de milieux par le caribou (n = 89) à l'échelle du domaine vital annuel et pour chaque saison selon les résultats d'une analyse de variance multivariée. $P \leq 0,05$ indique une sélection ou un évitement alors que $P > 0,05$ indique une utilisation proportionnelle à la disponibilité.

Milieu	Annuel			Hiver		
	Disponibilité ± e. t.	Utilisation ± e. t.	P	Disponibilité ± e. t.	Utilisation ± e. t.	P
Eau	0,134 ± 0,001	0,050 ± 0,004	0,000	0,123 ± 0,004	0,080 ± 0,005	0,000
DH	0,089 ± 0,004	0,111 ± 0,008	0,011	0,108 ± 0,007	0,090 ± 0,008	0,087
DS	0,040 ± 0,002	0,102 ± 0,006	0,000	0,042 ± 0,002	0,148 ± 0,010	0,000
JP	0,208 ± 0,006	0,153 ± 0,010	0,000	0,206 ± 0,009	0,152 ± 0,010	0,000
MFM	0,046 ± 0,001	0,020 ± 0,002	0,000	0,038 ± 0,002	0,017 ± 0,002	0,000
PSOJ	0,014 ± 0,000	0,028 ± 0,002	0,000	0,021 ± 0,001	0,034 ± 0,003	0,001
PSOM	0,078 ± 0,001	0,112 ± 0,005	0,000	0,078 ± 0,002	0,117 ± 0,007	0,000
PSFJ	0,075 ± 0,002	0,089 ± 0,005	0,007	0,069 ± 0,003	0,066 ± 0,005	0,538
PSFM	0,194 ± 0,004	0,259 ± 0,008	0,000	0,237 ± 0,008	0,233 ± 0,010	0,725
RA	0,024 ± 0,001	0,039 ± 0,003	0,000	0,040 ± 0,003	0,065 ± 0,007	0,001
PR	0,040 ± 0,001	0,022 ± 0,003	0,000	0,057 ± 0,004	0,017 ± 0,002	0,000
Autres	0,057 ± 0,002	0,012 ± 0,002	0,000	0,030 ± 0,003	0,035 ± 0,006	0,459

Milieu	Mise bas			Rut		
	Disponibilité ± e. t.	Utilisation ± e. t.	P	Disponibilité ± e. t.	Utilisation ± e. t.	P
Eau	0,124 ± 0,004	0,016 ± 0,002	0,000	0,123 ± 0,004	0,010 ± 0,001	0,000
DH	0,108 ± 0,008	0,124 ± 0,009	0,197	0,113 ± 0,009	0,139 ± 0,010	0,046
DS	0,041 ± 0,003	0,051 ± 0,005	0,091	0,042 ± 0,003	0,147 ± 0,010	0,000
JP	0,187 ± 0,009	0,077 ± 0,009	0,000	0,184 ± 0,010	0,142 ± 0,013	0,010
MFM	0,037 ± 0,002	0,025 ± 0,004	0,002	0,036 ± 0,001	0,010 ± 0,001	0,000
PSOJ	0,021 ± 0,001	0,029 ± 0,004	0,041	0,021 ± 0,001	0,040 ± 0,004	0,000
PSOM	0,077 ± 0,002	0,124 ± 0,007	0,000	0,078 ± 0,002	0,115 ± 0,006	0,000
PSFJ	0,076 ± 0,003	0,119 ± 0,008	0,000	0,073 ± 0,003	0,084 ± 0,007	0,168
PSFM	0,229 ± 0,008	0,364 ± 0,015	0,000	0,230 ± 0,009	0,234 ± 0,012	0,793
RA	0,037 ± 0,003	0,028 ± 0,004	0,079	0,038 ± 0,003	0,046 ± 0,006	0,215
PR	0,054 ± 0,003	0,036 ± 0,006	0,014	0,050 ± 0,003	0,021 ± 0,004	0,000
Autres	0,028 ± 0,003	0,022 ± 0,006	0,359	0,028 ± 0,003	0,026 ± 0,005	0,809



*Développement durable,
Environnement,
Faune et Parcs*

Québec 

