

**Département de géomatique appliquée
Faculté des lettres et sciences humaines
Université de Sherbrooke**

**Analyse spatio-temporelle de l'utilisation de l'habitat par la population boréale du caribou
des bois dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.**

Natacha Fontaine Séguin

**Essai présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences géographiques (M. Sc.),
cheminement géodéveloppement durable**

Décembre 2020

© Natacha Fontaine Séguin, 2020

Membres du jury :

Jérôme Théau, Directeur de l'essai, Département de géomatique appliquée, Université de Sherbrooke

Fabrice Calmels, Codirecteur de l'essai, Affiliation YukonU Research Center, Yukon University

Alexandre Langlois, Département de géomatique appliquée, Université de Sherbrooke

Résumé

Depuis 2000, la population boréale de caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) est sur la liste des espèces en péril du Canada. Cet animal emblématique joue un rôle important dans les écosystèmes nordiques et pour la sécurité alimentaire des communautés des Premières Nations. Malgré les efforts de conservation, les changements climatiques pourraient avoir des impacts importants sur cette population. L'objectif principal de cet essai est d'analyser l'utilisation de l'habitat par la population boréale du caribou des bois dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest sur une superficie variant de 2 300 à 5 500 km² et d'évaluer comment les variations de végétation causées par les changements climatiques affectent cette utilisation. Une description des déplacements, une comparaison temporelle de l'utilisation de l'habitat et la validation d'un indice de qualité de l'habitat (IQH) développée dans une étude précédente ont été effectuées. Les statistiques descriptives de 19 970 relevés de localisations par collier GPS de 33 caribous ont été utilisées afin d'analyser leurs déplacements journaliers moyens entre 2005 et 2017. Les données matricielles de cinq classes de végétation retrouvées en 2011 et 2017 ont été combinées à 21 721 points de localisations de dix caribous et à 2 853 points de sept caribous afin d'analyser leur utilisation des classes de végétation de 2010 à 2012 et de 2016 à 2017 respectivement. Un total de 1 751 données de localisations de trois individus en 2017 ont été combinées aux valeurs d'un IQH afin de valider ce dernier. Les résultats montrent que les déplacements des caribous sont plus élevés lors des périodes été (du 7 juin au 12 septembre) et de la reproduction (du 13 septembre au 20 octobre) avec des distances moyennes journalières de 2,4 et 2,8 km respectivement. La distance moyenne la plus basse est de 1,3 km durant la période automne-hiver (du 21 octobre au 4 avril). Pour l'ensemble des périodes de 2010 à 2012, les résultats suggèrent que les caribous utilisent plus souvent la classe conifère, suivi de la classe tourbière à mousses. Entre 2016 à 2017, les caribous ont fréquenté majoritairement la classe tourbière à mousses avec un pourcentage d'occurrence de localisations supérieur à 70 % durant la période automne-hiver et à 60 % durant la période de la reproduction. Durant les périodes été et de la mise bas (du 5 avril au 6 juin), les caribous sont plus souvent présents et de façon équivalente dans les classes conifère et tourbière à mousses. Selon les résultats, la présence de caribous en 2017 ne suit pas les valeurs de l'IQH en fonction de la superficie disponible. Les caribous ont fréquenté le plus souvent les superficies dont la classe d'IQH était entre 0,65 et 0,74. Cette classe est également celle dont la superficie est la plus élevée. Très peu de présences sont observées dans les faibles

superficies et celles dont les valeurs d'IQH sont les plus basses et les plus élevées. Globalement, l'utilisation de l'habitat par le caribou semble valider l'IQH développé par Lavoie (2019).

Fontaine-Séguin, N. (2020) Analyse spatio-temporelle de l'utilisation de l'habitat par la population boréale du caribou des bois dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada. Département de géomatique appliquée, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 59 p.

Mots clés

Caribou des bois

Rangifer tarandus caribou

Analyse spatio-temporelle

Classe de végétation

Indice de qualité de l'habitat

Taux de déplacements

Utilisation de l'habitat

Territoires du Nord-Ouest

Changements climatiques

Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	v
Glossaire	vii
Remerciements	viii
1. Introduction	1
1.1. Mise en contexte	1
1.2. Problématique	2
1.3. Objectifs	3
2. Cadre théorique	4
2.1. Description de l'espèce	4
2.1.1. Morphologie et reproduction	4
2.1.2. Aire de répartition, habitat et alimentation	5
2.1.3. État des populations	9
2.2. Premières Nations et caribous	13
2.2.1. Préoccupations des Premières Nations	13
2.2.2. Communauté de Premières Nations de Jean Marie River	15
2.3. Conséquences liées aux changements climatiques	17
2.3.1. Effets en milieu nordique	17
2.3.2. Impacts sur le caribou et les Premières Nations	18
3. Matériel et méthodes	21
3.1. Site d'étude	21
3.2. Données utilisées	24
3.2.1. Relevés de localisations	26

3.2.2.	Division périodique des données.....	30
3.2.3.	Classes de végétation	31
3.2.4.	Indice de qualité de l’habitat	32
3.3.	Traitement des données	32
3.3.1.	Retrait des données de localisations problématiques	33
3.3.2.	Analyse de l’utilisation des classes de végétation.....	37
3.3.3.	Validation de l’indice de qualité de l’habitat	37
4.	Résultats	38
4.1.	Déplacements des individus	38
4.2.	Utilisation de l’habitat	40
4.3.	Validation de l’indice de qualité de l’habitat.....	43
5.	Discussion	45
5.1.	Déplacements des individus	45
5.2.	Utilisation de l’habitat	48
5.3.	Validation de l’indice de qualité de l’habitat.....	49
5.4.	Impacts des changements climatiques.....	51
5.5.	Limites méthodologiques de l’essai	52
6.	Conclusion.....	53
7.	Références	54

Liste des figures

Figure 1. Photographie de trois caribous des bois de la population boréale (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) aux Territoires du Nord-Ouest, Canada (Environment and Natural Resources, 2019b).	5
Figure 2. Aire de répartition de la population boréale du caribou des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) au Canada. L'aire de répartition actuelle est représentée en brun. L'extrémité sud de l'aire de répartition historique estimée est marquée par une ligne pointillée (Gouvernement du Canada, 2019).	7
Figure 3. Aire de répartition de la population boréale du caribou des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) en brun et limites de l'habitat essentiel, c'est-à-dire l'habitat indispensable à sa survie ou à son rétablissement, en vert aux Territoires du Nord-Ouest, Canada (Gouvernement du Canada, 2019).	8
Figure 4. Aires de répartition du caribou boréal (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) dans les écozones et écorégions du Canada (Gouvernement du Canada, 2019).	9
Figure 5. Régions administratives du Ministère de l'Environnement et des ressources naturelles, Territoires du Nord-Ouest, Canada (Environnement et Ressources naturelles, 2020b).	16
Figure 6. Localisation de Jean Marie River et des principales communautés environnantes, Territoires du Nord-Ouest, Canada.	17
Figure 7. Localisation des zones d'étude utilisées afin de répondre aux objectifs spécifiques sur les déplacements, l'utilisation de l'habitat et la validation de l'indice de qualité de l'habitat pour la population boréale du caribou des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.	24
Figure 8. Localisation des zones d'étude liées aux objectifs spécifiques sur les déplacements, l'utilisation de l'habitat et la validation de l'indice de qualité de l'habitat par la population boréale du caribou des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) dans la région de Jean Marie River et distribution des feux survenus entre 1965 et 2016 dans la partie au sud de l'océan Arctique aux Territoires du Nord-Ouest, Canada,	25
Figure 9. Organigramme méthodologique présentant les principales étapes pour l'étude sur l'utilisation de l'habitat par la population boréale du caribou des bois (<i>Rangifer</i>	

tarandus caribou) dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.35

Figure 10. Valeurs de l'indice de qualité de l'habitat pour la population boréale de caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) de la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada, modifiée de Lavoie (2019).39

Figure 11. Distance moyenne journalière (km) parcourue par individu par la population boréale de caribous des bois (*Rangifer tarandus caribou*), lors des périodes été (du 7 juin au 12 septembre, 98 jours), de la reproduction (du 13 septembre au 20 octobre, 38 jours) automne-hiver (du 21 octobre au 4 avril, 166 jours) et de la mise bas (du 5 avril au 6 juin, 63 jours), entre 2005 et 2017 dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada. Sur le diagramme de quartiles, la barre inférieure correspond à la valeur minimale, la barre située au milieu du rectangle correspond à la médiane, la lettre x correspond à la moyenne et la barre supérieure correspond à la valeur normale la plus élevée. Les valeurs hors normes sont représentées par des points. Les valeurs maximales sont considérées hors normes lorsqu'elles sont supérieures à la valeur de l'équation suivante; valeur du quartile 3 + 1,5*écart interquartile.40

Figure 12. Pourcentage d'occurrences de localisations de la population boréale de caribous des bois (*Rangifer tarandus caribou*) pour les périodes été (du 7 juin au 12 septembre, 98 jours), de la reproduction (du 13 septembre au 20 octobre, 38 jours) automne-hiver (du 21 octobre au 4 avril, 166 jours) et de la mise bas (du 5 avril au 6 juin, 63 jours) selon la classe de végétation et les années, dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada. La classe sol nu/feu est présente pour les années 2016 à 2017 seulement.42

Figure 13. Pourcentage d'occurrences de localisations de la population boréale des caribous des bois (*Rangifer tarandus caribou*) n° 221, 239 et 249 en 2017 et pourcentage de superficie occupée pour les classes de valeurs de l'indice de qualité de l'habitat (IQH) dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.44

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques biophysiques de l’habitat essentiel de la population boréale du caribou des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) dans l’écozone de la taïga des plaines selon la période (modifié de Gouvernement du Canada, 2019).....	12
Tableau 2. Sources et descriptions des données utilisées pour l’étude de l’utilisation de l’habitat par la population boréale du caribou des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.	26
Tableau 3. Dénombrement des relevés de localisations et des individus de la population boréale du caribou des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) aux Territoires du Nord-Ouest, Canada, selon la marque, le modèle et la catégorie de colliers GPS utilisés lors de l’analyse des déplacements des individus. La précision du modèle Argos de catégorie 0 est de 1 500 m ou plus, de catégorie 1 de 500 à 1 500 m, de catégorie 2 de 250 à 500 m et de catégorie 3 de 250 m ou moins. La précision des catégories 5 et G des modèles GPS/Argos et GPS/Iridium de Telonics et GPS Plus de Vectronic est inférieure à 100 m.	28
Tableau 4. Dénombrement des relevés de localisations et des individus de la population boréale du caribou des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) aux Territoires du Nord-Ouest, Canada, selon la marque, le modèle et la catégorie de colliers GPS utilisés lors de l’analyse de l’utilisation de l’habitat. La précision du modèle Argos de catégorie 0 est de 1 500 m ou plus, de catégorie 1 de 500 à 1 500 m, de catégorie 2 de 250 à 500 m et de catégorie 3 de 250 m ou moins. La précision des catégories 5 et G des modèles GPS/Argos et GPS/Iridium de Telonics et GPS Plus de Vectronic est inférieure à 100 m.	29
Tableau 5. Dénombrement des relevés de localisations et des individus de caribou des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) aux Territoires du Nord-Ouest, Canada, selon la marque, le modèle et la catégorie de colliers GPS utilisés lors de l’analyse de la validation de l’indice de qualité de l’habitat. La précision du modèle Argos de catégorie 0 est de 1 500 m ou plus, de catégorie 1 de 500 à 1 500 m, de catégorie 2 de 250 à 500 m et de catégorie 3 de 250 m ou moins. La précision des catégories 5 et G des modèles GPS/Argos et GPS/Iridium de Telonics et GPS Plus de Vectronic est inférieure à 100 m.	30

Tableau 6. Superficies (km ² et pourcentage) des classes de végétation définies selon la végétation dominante établis par Calmels <i>et al.</i> (2014a, b) et obtenues lors de la classification effectuée par Lavoie (2019) pour 2011 et 2017.	33
Tableau 7. Équations développées par Lavoie (2019) pour l'élaboration de l'indice de qualité de l'habitat selon les catégories et leur poids relatif pour la population boréale de caribous des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>) aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.....	34
Tableau 8. Nombre total d'individus et de localisations obtenues par collier GPS selon les regroupements d'années lors des périodes de la mise bas (du 5 avril au 6 juin, 63 jours), été (du 7 juin au 12 septembre, 98 jours), de la reproduction (du 13 septembre au 20 octobre, 38 jours) et automne-hiver (du 21 octobre au 4 avril, 166 jours), utilisé pour l'objectif de l'utilisation de l'habitat par la population boréale de caribous des bois (<i>Rangifer tarandus caribou</i>), aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.....	38

Remerciements

Un merci titanesque à Jérôme pour sa patience, ses directives précises et son ouverture d'esprit à mes blagues plates. Merci à Fabrice Calmels pour le temps qu'il a pris comme codirecteur. Merci à Alexandre Langois d'avoir pris le temps d'évaluer mon essai.

Je voudrais également remercier le ministère Environnement et ressources naturelles du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest qui ont eu la confiance de me partager leurs données. Je leur souhaite de pouvoir soutenir les communautés autochtones dans leur tradition et leur unicité.

Un merci particulier à Sylvianne qui m'a permis de trouver ma bonne paire de lunettes.

Merci à Josianne Caron qui me suit dans mes folies. Tu vois, ils se réalisent mes projets aux pays des Calinours !

Je voudrais remercier Charles Beaudette pour tous ses efforts consacrés à tenter de récupérer mes données sur mon ordinateur défectueux.

Merci à mon père, Marc Séguin, de m'avoir permis de reprendre ma rédaction grâce à son ordinateur.

Merci à ma correctrice personnelle, ma mère, Patricia Fontaine, tu auras eu la joie de lire des textes incompréhensibles !

Un profond remerciement à ma grand-mère Pauline, tu auras été une des plus fortes personnes que j'aurais eu la chance de rencontrer.

Finalement, merci à toute ma famille, mes parents, ma sœur et mon conjoint, sans qui ce retour aux études n'aurait pas été possible. Vous allez enfin pouvoir l'ouvrir, votre bouteille de champagne !

1. Introduction

1.1. Mise en contexte

En 2000, le Comité sur la situation des espèces en péril du Canada a évalué que la population boréale de caribous des bois (*Rangifer tarandus caribou*, ci-après nommé caribou boréal) est menacée. Depuis 2003, le gouvernement du Canada a assigné le statut menacé à cette population selon la *Loi sur les espèces en péril* et déploie depuis des efforts de rétablissement et de conservation (Gouvernement du Canada, 2019). En 2012, le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest a également attribué ce statut à cette population selon la *Loi sur les espèces en péril* des territoires (Environment and Natural Resources, 2019a). Depuis 2014, les autorités gouvernementales ont mis en œuvre des actions pour la protection des caribous et de leur habitat via l'implantation d'une nouvelle loi qui exige le développement de plans de gestion et de suivi. En 2016, le gouvernement du Canada a publié le *Document d'orientation sur les plans par aires de répartition du caribou boréal* (Environnement et Changement climatique Canada, 2016). Ce rapport a pour but de caractériser les actions prises par le gouvernement et ses collaborateurs pour l'élaboration d'un réseau de conservation sur un horizon de 2016 à 2021. Le gouvernement du Territoires du Nord-Ouest et ses collaborateurs ont subséquemment diffusé un programme de rétablissement de l'espèce sur leurs territoires ainsi qu'un consensus de respect d'implantation de ce programme en 2017 (Gouvernement du Canada, 2019).

Afin de supporter la prise de décision, des indices de qualité de l'habitat (IQH) sont développés dans le but d'évaluer la capacité d'un habitat à supporter l'ensemble des besoins d'une espèce faunique durant son cycle vital (Zajac *et al.*, 2015, Environmental Protection Agency, 2020, Forêts, Faune et Parcs Québec, 2020). Ces modèles incluent les caractéristiques biologiques et physiques du milieu qui peuvent affecter l'espèce, comme le type de peuplement forestier et sa distance d'une route (Forêts, Faune et Parcs Québec, 2020). Ils fournissent une évaluation de la relation d'une espèce à cet habitat selon un indice de 0 à 1, où 0 indique un habitat de qualité nulle et 1 de qualité maximale (Environmental Protection Agency, 2020, Forêts, Faune et Parcs Québec, 2020). Malgré la valeur attribuée à un habitat donné, certains facteurs exclus de l'analyse, comme la densité de prédateurs ou la pression de chasse, peuvent influencer l'utilisation réelle d'un habitat. Ce modèle ne permet donc pas d'évaluer la densité d'individus dans un habitat (Forêts, Faune et Parcs Québec,

2020). L'intégration de la géomatique dans les IQH permet d'améliorer l'analyse par l'ajout de variables nouvelles ou mises à jour (Jihyang *et al.*, 2016).

Les changements climatiques sont déjà ressentis aux Territoires du Nord-Ouest et les répercussions observées sont importantes et généralisées (Bureau du vérificateur général du Canada, 2017, Calmels *et al.*, 2014a). Depuis les années 40, alors qu'à l'échelle planétaire la température a subi une augmentation de 0,74 °C, celle-ci s'est élevée en moyenne de 2 °C aux Territoires du Nord-Ouest. Ces changements ont causé une réduction de la glace de mer, une formation tardive de la glace à l'automne et une fonte hâtive au printemps, une variabilité régionale et saisonnière importante du niveau de précipitations, une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes ainsi que le dégel du pergélisol. Malgré le fait que les Territoires du Nord-Ouest contribuent seulement à 0,2 % du total canadien des émissions de gaz à effet de serre, une des principales causes des changements climatiques, cette région est très sensible aux répercussions de cette problématique (Bureau du vérificateur général du Canada, 2017). Les changements climatiques affectent les Premières Nations entre autres au niveau de leur mode de vie et leurs moyens de subsistance (Calmels *et al.*, 2014a). De plus, les conséquences des changements climatiques comme le dégel du pergélisol et l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes dont les feux de forêt représentent une menace importante pour la faune, la flore et les habitants (Bureau du vérificateur général du Canada, 2017).

1.2. Problématique

Le caribou joue un rôle essentiel dans l'écosystème, y compris pour les Premières Nations. C'est un important emblème du Nord, ainsi sa perte aurait sans contredit des répercussions (Mallory and Boyce, 2018). Les Premières Nations possèdent un lien important avec le caribou (Gouvernement du Canada, 2019, Mallory and Boyce, 2018), car cette espèce fait partie intégrante de la culture et des traditions de ces communautés, tant au niveau spirituel qu'alimentaire (Conference of Management Authorities, 2017, Environment and Natural Resources, 2019b). Cette relation fondamentale est observable, entre autres, dans les noms de lieux, dans les légendes et dans les marques de respect envers l'animal (Gouvernement du Canada, 2019). Depuis plusieurs générations, les communautés des Premières Nations, dont celle de Jean Marie River, comptent sur la présence des populations de caribous comme source alimentaire, de base ou de dernier recours. Le caribou revêt également un rôle dans l'écosystème par son broutage de la végétation et comme

proie supportant les espèces prédatrices (Bernes *et al.*, 2015). Malgré le fait que la densité de caribous boréaux semble assez stable aux Territoires du Nord-Ouest, les Premières Nations s'inquiètent de la pérennité de cette population. Sa disparition au sud du Canada, l'augmentation et l'arrivée de prédateurs, de maladies et de parasites ainsi que l'intensification d'événements stochastiques, dont les feux de forêt, sont quelques exemples des causes qui accroissent l'inquiétude générale (Gouvernement du Canada, 2019). Sur l'ensemble du Canada, certains efforts ont été déployés afin de protéger et rétablir la population de caribous boréaux (Environment and Natural Resources, 2019b). Malgré ces efforts, les changements climatiques pourraient avoir des impacts importants sur cette population, entre autres au niveau de la disponibilité des habitats recherchés et des ressources alimentaires. Or, la généralisation des impacts des changements climatiques sur les différentes espèces et sous-espèces du genre *Rangifer* reste problématique étant donné la variabilité et la complexité des patrons de climats et l'étendue des divers habitats occupés (Mallory and Boyce, 2018, Joly *et al.*, 2012).

Afin de supporter la conservation présente et future du caribou boréal dans un environnement changeant, il est impératif de bien connaître les caractéristiques entourant les besoins de cette population selon son cycle vital. Or, peu de données spatio-temporelles sont disponibles à ce jour à propos de la population boréale du caribou des bois. La faible densité des individus dispersés en petits groupes dans un habitat très vaste et parfois difficile d'accès complexifie l'acquisition d'informations essentielles. Grâce à la télédétection, il est maintenant possible d'acquérir des données et d'en extraire les informations géospatiales.

1.3. Objectifs

L'objectif principal de cet essai est d'analyser l'utilisation saisonnière par la population boréale du caribou des bois dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest.

Les objectifs spécifiques sont :

- Décrire les déplacements des individus de 2005 à 2017.
- Déterminer l'utilisation de l'habitat selon les déplacements saisonniers des individus et la végétation présente en 2011 et 2017.
- Valider un indice de qualité de l'habitat de la population boréale du caribou des bois préalablement développé.

2. Cadre théorique

2.1. Description de l'espèce

2.1.1. Morphologie et reproduction

Le caribou (*Rangifer tarandus* spp.) est un mammifère terrestre de la famille des Cervidés (*Cervidae*) d'une seule espèce comprenant 14 sous-espèces (Integrated Taxonomic Information System, 2019). Chaque sous-espèce présente des variations morphologiques, comportementales et géographiques (Gouvernement du Canada, 2019). Les sous-espèces retrouvées au sud sont généralement plus imposantes que celles au nord. La taille des mâles est supérieure à celle de la femelle et atteint parfois le double chez certaines sous-espèces (Animal Diversity Web, 2019). Le caribou des bois est la sous-espèce la plus grande au Canada et a une hauteur au garrot entre 1,0 et 1,2 m. En moyenne, le mâle a un poids de 180 kg et la femelle de 135 kg. Le poids des individus matures peut varier entre 110 à 210 kg (Gouvernement du Canada, 2019).

Le caribou est la seule espèce de cervidés dont les deux sexes possèdent des ramures (Animal Diversity Web, 2019, Conference of Management Authorities, 2017, Environment and Natural Resources, 2019a). Les ramures du caribou des bois sont plutôt aplaties, complexes et compactes et poussent généralement autour du mois de mars (Gouvernement du Canada, 2019). Les ramures des mâles sont plus massives et imposantes que celles des femelles (Environment and Natural Resources, 2019a) et servent ces derniers lors des combats durant le rut (Gouvernement du Canada, 2019) afin d'établir la dominance (Environment and Natural Resources, 2019a). Le caribou boréal est très bien adapté aux climats nordiques (Conference of Management Authorities, 2017). En effet, plusieurs caractéristiques corporelles, comme son corps compact, ses petites oreilles et sa queue courte, assurent l'adaptation du caribou des bois aux particularités de son milieu, dont la conservation de sa température lors des conditions environnementales extrêmes (Animal Diversity Web, 2019). Son pelage épais est constitué de poils creux et effilés ayant des propriétés isolantes, légères, résistantes aux températures extrêmement froides et améliorant la flottabilité (Animal Diversity Web, 2019, Conference of Management Authorities, 2017). Au Canada, le caribou des bois possède un manteau aux couleurs les plus foncées. Elles varient du blanc au gris sur le cou, la crinière, le bas des épaules, le ventre, le dessous de la queue et au-dessus des sabots en hiver, au brun foncé en été sur le restant du corps (Gouvernement du Canada, 2019, Figure 1). Leurs sabots

larges et concaves facilitent les déplacements sur la neige, le sol meuble et dans l'eau (Animal Diversity Web, 2019). Leur sens de l'odorat très développé leur permet de trouver de la nourriture sous la neige qu'ils creusent grâce à leurs deux doigts en forme de croissant (Gouvernement du Canada, 2019).



Figure 1. Photographie de trois caribous des bois de la population boréale (*Rangifer tarandus caribou*) aux Territoires du Nord-Ouest, Canada (Environment and Natural Resources, 2019b).

La période d'accouplement du caribou boréal se déroule de la fin septembre à la mi-octobre. La femelle met bas annuellement à un seul faon entre mai et mi-juin (Environment and Natural Resources, 2019b, Faune et flore du pays, 2019). Chez la femelle, la maturité sexuelle survient vers 16 mois, le premier accouplement se produit à partir de 28 mois (Gouvernement du Canada, 2019) et elle se reproduit jusqu'à l'âge de 17 ans (Environment and Natural Resources, 2019a). La maturité sexuelle des mâles survient entre 18 et 20 mois, mais le premier accouplement se produit probablement vers trois ou quatre ans (Gouvernement du Canada, 2019). L'âge plus tardif pourrait être dû au fait que seul le gagnant du combat du rut se reproduit, généralement un gros mâle dominant et plus âgé (Gouvernement du Canada, 2019, Environment and Natural Resources, 2019a). Un seul mâle peut se reproduire avec plusieurs femelles (Environment and Natural Resources, 2019a). Comparativement aux autres ongulés, le caribou boréal a un faible taux de reproduction (Gouvernement du Canada, 2019).

2.1.2. Aire de répartition, habitat et alimentation

La répartition géographique de cette espèce est presque circumpolaire (Animal Diversity Web, 2019) incluant l'Europe, l'Asie et l'Amérique du Nord (Naturalis Biodiversity Center, 2019), dont le Canada, d'où il est endémique (Integrated Taxonomic Information System, 2019, Gouvernement du Canada, 2019). Au Canada, on retrouve trois sous-espèces, soit le Caribou de Peary (*Rangifer*

tarandus pearyi), le Caribou de la toundra (*Rangifer tarandus groenlandicus*) et le Caribou des bois. La sous-espèce dawsoni (*Rangifer tarandus dawsoni*), anciennement retrouvée en Colombie-Britannique, est maintenant disparue. Le caribou des bois possède trois populations distinctes, soit la boréale, des montagnes du Sud et des montagnes du Nord (Gouvernement du Canada, 2019). Autrefois, le caribou boréal était retrouvé dans la majorité du territoire couvert par la forêt boréale (Environment and Natural Resources, 2019a). Maintenant, sa distribution est vaste et irrégulière dans les forêts boréales de l'Alberta, la Colombie-Britannique, l'Ontario, le Québec, la Saskatchewan, de Terre-Neuve-et-Labrador, du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest (Figure 2). Au cours du dernier siècle, la disparition de sous-populations locales principalement dans la portion sud a réduit l'aire de répartition. Selon un sommaire des connaissances autochtones, la perte d'habitats au sud aurait forcé le caribou boréal à chercher des habitats plus favorables au nord (Gouvernement du Canada, 2019). Aux Territoires du Nord-Ouest, la distribution des caribous boréaux est relativement stable et se situe principalement dans les forêts retrouvées au nord du 60° parallèle nord jusqu'au Delta Mackenzie et à l'est des monts Mackenzie (Environment and Natural Resources, 2019a, Figure 3).

Le caribou boréal est forestier et ne migre pas (Environment and Natural Resources, 2019c). Ses déplacements se limitent aux changements d'habitats selon ses préférences saisonnières (Conference of Management Authorities, 2017). En été, soit de juin à août, le caribou réduit ses déplacements. Durant la période de la reproduction jusqu'au début de l'hiver, soit de fin août au début novembre, les déplacements à travers divers habitats deviennent de plus en plus importants. Finalement, ils atteignent un maximum durant l'hiver (Gouvernement du Canada, 2019).

Afin de combler son cycle vital, le caribou boréal nécessite de grands territoires continus non perturbés permettant l'accès aux divers habitats recherchés (Conference of Management Authorities, 2017, Gouvernement du Canada, 2019). Ces habitats sur de grandes superficies permettent au caribou de limiter la densité des groupes et les risques de prédateurs associés aux habitats à forte densité de prédateurs et d'autres espèces proies. Il se tient en petit groupe de deux ou trois individus en moyenne, mais cet effectif était plus élevé dans le passé (Gouvernement du Canada, 2019). La densité des individus peut varier en fonction de la qualité de l'habitat, de la saison et du cycle vital. Les femelles sont solitaires lors de la mise bas, mais elles se retrouvent habituellement parmi des groupes plutôt mixtes le restant de l'année (Environnement Canada,

2011). Les individus commencent à se regrouper à l'automne et c'est au moment du rut que la taille des groupes est la plus élevée (Gouvernement du Canada, 2019).



Figure 2. Aire de répartition de la population boréale du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) au Canada. L'aire de répartition actuelle est représentée en brun. L'extrémité sud de l'aire de répartition historique estimée est marquée par une ligne pointillée (Gouvernement du Canada, 2019).

La survie du caribou boréal est étroitement liée à la qualité de l'habitat disponible aux femelles et leurs faons (Conference of Management Authorities, 2017). Lors de la mise bas, la présence combinée de secteurs couverts et à découvert sont critiques pour la survie des individus (Gouvernement du Canada, 2019). À cette période, la femelle recherche un site isolé qui fournit des ressources alimentaires et limite l'exposition aux prédateurs (Environment and Natural Resources, 2019d). Le succès de gestation et la survie des faons peuvent être affectés par la qualité et la disponibilité de l'habitat (Joly *et al.*, 2007). Les femelles restent très fidèles à leurs sites de mise bas et retournent chaque année à moins de 15 km de l'emplacement de l'année précédente. Durant l'été, le caribou se nourrit de végétation aquatique, de saule et de ses feuilles, du carex et

d'herbe. La présence de pergélisol lui permet de se refroidir lorsqu'il se couche sur les lits de mousses épaisses (Gouvernement du Canada, 2019).

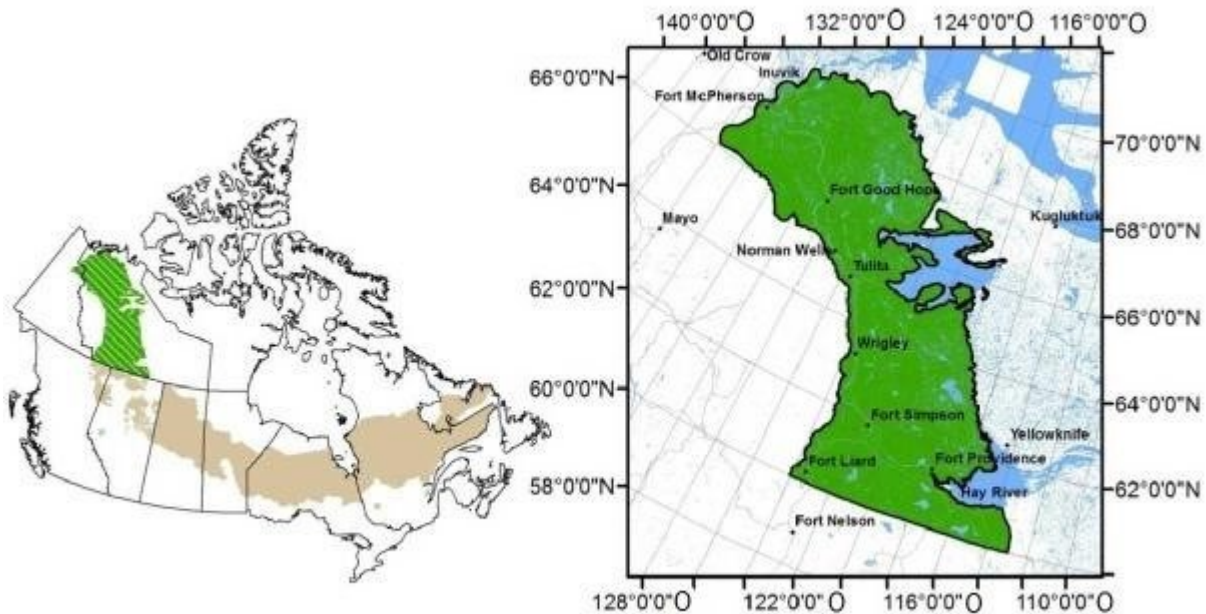


Figure 3. Aire de répartition de la population boréale du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) en brun et limites de l'habitat essentiel, c'est-à-dire l'habitat indispensable à sa survie ou à son rétablissement, en vert aux Territoires du Nord-Ouest, Canada (Gouvernement du Canada, 2019).

Le caribou évite l'eau, les habitats à faible diversité de ressources alimentaires et où il est difficile de se déplacer, comme les forêts en début de succession, les coupes totales, les milieux à haute densité d'arbustes ou de peupliers faux-trembles (*Populus tremuloides*) et les lieux récemment perturbés (Gouvernement du Canada, 2019). Il évite les secteurs brûlés où le lichen a disparu (Joly *et al.*, 2007), mais peut l'utiliser comme corridor de déplacements lors de sa quête de nourriture, sauf durant l'hiver où il l'évite totalement. En hiver, soit de novembre à mars, les secteurs ouverts exposés au vent offrent des emplacements où la neige est moins profonde, ce qui facilite l'accès aux lichens. À mesure que l'épaisseur de la neige augmente, les caribous demeurent plus fréquemment dans les zones densément boisées de pins ou d'épinettes noires comportant des lichens suspendus (Gouvernement du Canada, 2019).

Selon un sommaire des connaissances autochtones, le territoire du Dehcho, la région administrative où se trouve Jean Marie River, offre généralement aux caribous un accès facile aux habitats

recherchés pour l'ensemble de ses besoins vitaux. Le caribou évite les secteurs avec les tourbières ouvertes situées entre Fort Simpson et la rivière Jean Marie. À travers le Canada, le caribou boréal fréquente diverses écozones. Dans la région du Dehcho, il est retrouvé dans la taïga des plaines (Figure 4). Le Tableau 1 regroupe les éléments biophysiques de cette écozone et inclut les caractéristiques de cet habitat essentiel au caribou boréal, c'est-à-dire l'habitat indispensable à sa survie ou à son rétablissement (Gouvernement du Canada, 2019).

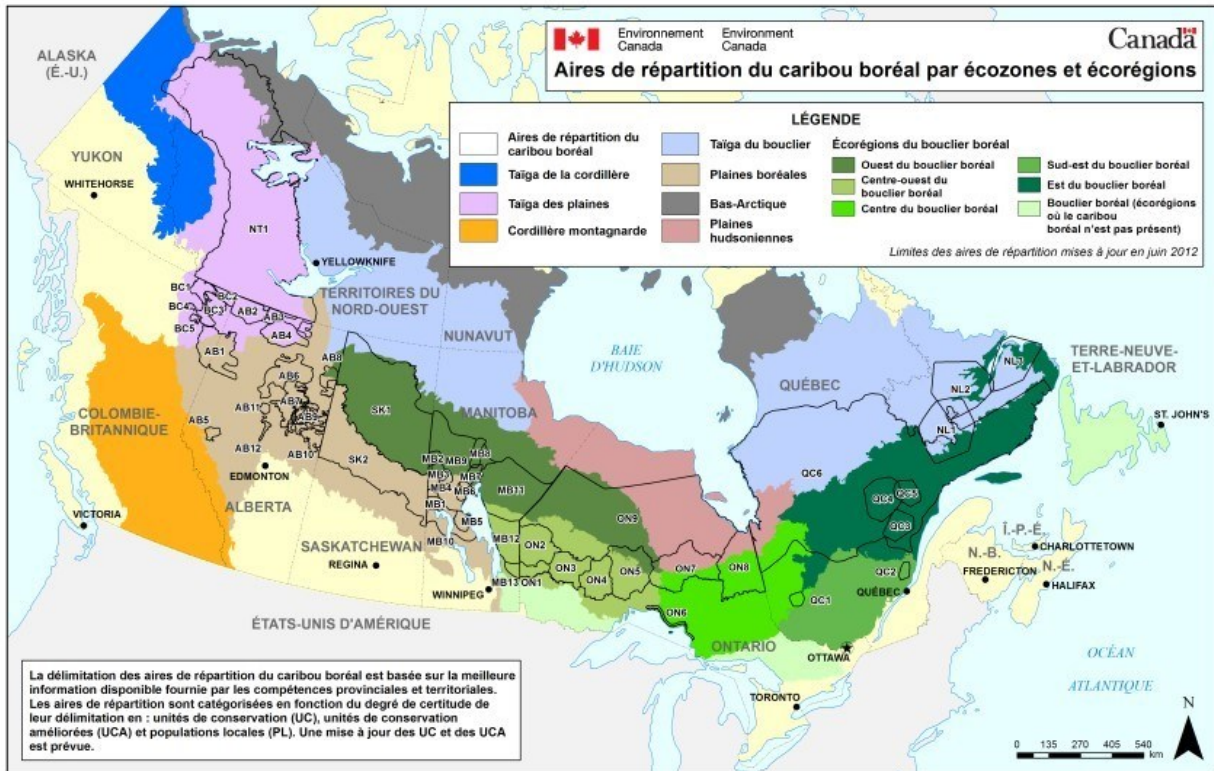


Figure 4. Aires de répartition du caribou boréal (*Rangifer tarandus caribou*) dans les écozones et écorégions du Canada (Gouvernement du Canada, 2019).

2.1.3. État des populations

Au Canada, la taille de la population de caribous boréaux est estimée à environ 33 000, soit 18 % des caribous des bois (Gouvernement du Canada, 2019). Dans les Territoires du Nord-Ouest, cette taille est grossièrement estimée entre 6 000 et 7 000 individus (Conference of Management Authorities, 2017, Environnement et Ressources naturelles, 2020a). Certaines sous-populations locales sont en déclin (Gouvernement du Canada, 2019). Elles sont majoritairement retrouvées au sud, où les perturbations naturelles et anthropiques sont les plus importantes et où la quantité de

caribous est la plus élevée (Conference of Management Authorities, 2017, Environment and Natural Resources, 2019c). Dans la région du Dehcho, les Premières Nations ont observé une lente diminution des populations dans certains secteurs touchés par les incendies de forêt, par l'introduction du bison, par la chasse et par le développement anthropique. Selon le Gouvernement du Canada (2019), la population boréale est possiblement la moins étudiée, ce qui limite l'exactitude des effectifs et des tendances liées aux manques de connaissances des populations locales. La faible densité des groupes dans des habitats pouvant atteindre des milliers de kilomètres carrés et le comportement généralement solitaire pourraient expliquer les limitations aux dénombrements exacts des populations locales (Callaghan *et al.*, 2010). Selon une étude d'Environnement Canada (2011), les perturbations anthropiques et naturelles ont une influence négative évidente sur la survie des faons. Or, les connaissances spécifiques sur la mise bas restent encore méconnues. Selon un sommaire des connaissances autochtones, plusieurs mesures peuvent être mises en place pour assurer la survie des faons. Ces mesures pourraient inclure la protection des habitats de mise bas, le contrôle des prédateurs des faons ainsi que la restriction des perturbations des secteurs brûlés, des milieux humides de la fin avril au début juin et des habitats vers la fin de l'hiver, car c'est le moment où la conservation d'énergie est primordiale et que les déplacements sont les plus ardues (Gouvernement du Canada, 2019). À ce jour, le gouvernement du Canada estime à plus de 64 le nombre de sous-populations locales réparties dans 51 aires de répartition. Parmi ces aires, seulement 15, dont celle de Jean Marie River, possèdent la capacité à soutenir une sous-population locale autosuffisante, c'est-à-dire qui possède la capacité à résister aux phénomènes incertains, à persister au moins 50 ans sans interventions de gestion anthropique et qui présente une croissance généralement stable ou positive d'ici 20 ans. Selon le Gouvernement du Canada (2019), cette capacité résulte de la taille de l'aire et de la qualité de l'habitat. Inévitablement, l'utilisation d'une aire par une sous-population locale fluctue temporellement et peut être modifiée par un changement dans la qualité de l'habitat, causé entre autres par des variations écologiques et les perturbations anthropiques affectant le paysage. Selon Environnement Canada (2011), plus de 300 caribous devraient être répartis sur un territoire d'au moins 10 000 à 15 000 km² pour qu'une sous-population locale soit autosuffisante. Parmi les sous-populations locales suivies, 81 % d'entre elles ont un taux de croissance démographique négatif. À court terme, Environnement Canada (2011) prédit que plus de 30 % de la population boréale disparaîtra. Selon le Gouvernement du Canada (2019), les petites sous-populations locales ayant un faible taux de

recrutement sont susceptibles d'être affectées de façon démesurée par les phénomènes aléatoires et imprévisibles, comme les feux de forêt et les maladies, ce qui accroît leur probabilité de disparition. Finalement, les changements climatiques affectent également la viabilité des sous-populations locales (Gouvernement du Canada, 2019).

Une cause principale de déclin du caribou boréal à travers le Canada regroupe toutes les perturbations de l'habitat essentiel qui favorisent les risques de prédation (Conference of Management Authorities, 2017, Environment and Natural Resources, 2019d, Gouvernement du Canada, 2019). Ces perturbations qui facilitent les déplacements des prédateurs peuvent être d'origine anthropique, par exemple lors de développement de corridors linéaires ouverts, comme les routes et les lignes sismiques,. Elles peuvent également être naturelles, comme l'altération d'un habitat qui devient favorable aux prédateurs à la suite de feux de forêt (Environment and Natural Resources, 2019d). Les principaux prédateurs du caribou boréal sont le loup (*Lupus* spp.), l'ours (*Ursus* spp), le coyote (*Canis latrans*), le lynx (*Lynx* spp.) et l'humain (*homo sapiens*, Gouvernement du Canada, 2019). Le loup est le prédateur principal de la femelle (Conference of Management Authorities, 2017), mais il s'attaque aux caribous de tous âges. Or, une augmentation des populations globales de ce prédateur est observée. Les populations d'ours, un prédateur qui s'attaque aux femelles (Conference of Management Authorities, 2017) et aux faons, sont également en augmentation. Malgré le fait qu'il n'existe pas de preuves de prédation à ce jour, la modification des habitats causée par les changements climatiques pourrait contribuer à l'arrivée de nouveaux prédateurs comme le cougar (*Felis concolor cougar*) provenant des régions plus au sud (Gouvernement du Canada, 2019). Dans tous les cas, l'augmentation des habitats recherchés par d'autres espèces proies, comme les jeunes forêts retrouvées après les feux de forêt ou l'exploitation forestière, peut augmenter la densité des populations de prédateurs communs et augmenter les risques de prédation pour le caribou (Environment and Natural Resources, 2019c).

Tableau 1. Caractéristiques biophysiques de l’habitat essentiel de la population boréale du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) dans l’écozone de la taïga des plaines selon la période (modifié de Gouvernement du Canada, 2019).

Période	Description de l’habitat
Saison d’hiver	<ul style="list-style-type: none"> • Muskegs au début de l’hiver • Forêts ouvertes d’épinettes noires et de pins avec couvert, sphaignes et abondance de lichens • Zones ouvertes de végétation mixte pour l’alimentation au sol, riveraines ou régénérées après un incendie • Habitat constitué de graminées, de grands arbustes et à la végétation clairsemée
Période de la mise bas	<ul style="list-style-type: none"> • Forêts ouvertes de conifères • Toundra parsemée de buttes de graminées, de petits arbustes, de zones riveraines et de brûlis récents • Collines et zones en altitude • Muskegs, marais et zones situées à proximité de sources d’eau • Petites îles composées de forêts d’épinettes noires matures et de forêts mixtes dans des tourbières, dans d’anciens brûlis à la lisière de milieux humides et dans des taillis d’aulnes comportant une abondance d’eau stagnante
Période suivant la mise bas	<ul style="list-style-type: none"> • Muskegs, zones d’accès et proximité de plans d’eau (lacs et cours d’eau) • Prés ouverts en altitude et toundra parsemée de buttes de graminées • Forêts ouvertes de conifères comportant une abondance de lichens et de petits arbustes et zones boisées mixtes • Habitat à la végétation clairsemée et brûlis récents et anciens • Vestiges de forêts non brûlées avoisinantes
Saison du rut	<ul style="list-style-type: none"> • Forêts ouvertes de conifères et mixtes • Petits arbustes • Zones riveraines et muskegs avec lichens terricoles et carex • Zones en altitude • Brûlis récents, en régénération et habitat à la végétation clairsemée

2.2. Premières Nations et caribous

Aux Territoires du Nord-Ouest, l'habitat essentiel du caribou boréal a une superficie totale de 441 665 km². De ce nombre, 9 % sont affectés par des perturbations anthropiques et 28 % par les feux de forêt. Dans la région du Dehcho, les modifications de l'habitat les plus importantes sont l'exploitation gazière et pétrolière, l'introduction du bison et les feux de forêt. Or, à l'instar des collines Cameron et du sanctuaire de bisons Mackenzie, l'arrêt des exploitations gazières et pétrolières aux Territoires du Nord-Ouest au début des années 70 a favorisé la repousse végétale des milieux, la conservation de l'habitat et le retour des caribous (Gouvernement du Canada, 2019). Cependant, le développement de projets gaziers, pétroliers et miniers dans l'habitat du caribou boréal reste une préoccupation pour les Premières Nations (Environment and Natural Resources, 2019d). Malgré le fait que les feux de forêt n'endommagent pas beaucoup les fondrières ouvertes, elles touchent une partie de l'habitat du caribou boréal. Dans le Dehcho, les secteurs au sud du lac Bulmer, entre le lac Mills et le plateau Horn ainsi que celui au sud-est du lac Beaver sont affectés par les feux de forêt. Plusieurs secteurs ont été épargnés, dont un riche habitat à l'est des monts Franklin de la région de Wrigley, le secteur autour des lacs Kakisa et Tathlina, le secteur autour de la réserve Déné de la rivière au Foin, les rives au nord et à l'ouest du lac Buffalo et la plupart de la région de Jean Marie River, incluant les importantes forêts anciennes au sud de la communauté et au nord-est, entre le fleuve Mackenzie et le plateau Horn (Gouvernement du Canada, 2019).

2.2.1. Préoccupations des Premières Nations

Le caribou des bois est sans contredit important pour les Premières Nations (Conference of Management Authorities, 2017, Gouvernement du Canada, 2019, Environment and Natural Resources, 2019c). Il fait partie de nombreuses références culturelles dans les légendes, les récits de nature historique et les noms de lieux et de sentiers. À ce jour, l'utilisation de certaines parties du corps, dont les ramures et le poil, est encore considérée comme tabou par certaines communautés. Les Premières Nations possèdent une relation spirituelle importante avec le caribou et lui vouent un grand respect (Conference of Management Authorities, 2017, Environment and Natural Resources, 2019c). Des cérémonies et des rassemblements saisonniers sont organisés afin de remercier pour les individus chassés. Selon les Premières Nations, manquer de respect ou affliger de douleur les caribous, par exemple par la pose de colliers, pourraient contribuer à la diminution des populations (Gouvernement du Canada, 2019). Pour plusieurs, la présence du

caribou boréal témoigne d'un écosystème sain, est un symbole nordique et fait partie intégrante de la biodiversité du Nord (Conference of Management Authorities, 2017, Environment and Natural Resources, 2019c, Mallory and Boyce, 2018).

Les chasseurs des Premières Nations estiment qu'au minimum, entre 100 et 150 caribous boréaux sont chassés par l'homme annuellement (Gouvernement du Canada, 2019), mais ce nombre pourrait se situer plutôt entre 80 et 200 vu le manque de données adéquates de certains rapports (Conference of Management Authorities, 2017). Malgré le fait qu'il n'est généralement pas l'intérêt principal lors de la chasse, le caribou des bois est considéré comme une source alimentaire d'urgence essentielle dont la viande est bonne à être consommée (Conference of Management Authorities, 2017, Gouvernement du Canada, 2019). Il pallie le manque des autres sous-espèces chassées, dont le caribou de la Porcupine (*Rangifer tarandus granti*) et Bluenose (*Rangifer tarandus groenlandicus*). Ainsi, le déclin des autres sous-espèces entraîne une croissance dans l'intérêt pour le caribou boréal (Gouvernement du Canada, 2019). Aux Territoires du Nord-Ouest, la chasse au caribou boréal est réglementée et il est chassé de façon opportuniste (Conference of Management Authorities, 2017). La chasse se déroule habituellement à l'automne et à l'hiver conformément aux anciennes pratiques, soit lorsque les individus sont regroupés en plus grand nombre dans des secteurs précis et que les déplacements sont plus importants. La chasse traditionnelle par les chasseurs du Dehcho a sans contredit diminuée aux fils des dernières décennies, mais elle est stable ou a légèrement augmentée chez les chasseurs provenant de l'extérieur de la région. Le caribou boréal est considéré comme rapide, même sur les terrains accidentés ou enneigés, et difficile à voir et à chasser. Or, la diminution de la présence des nouvelles générations de chasseurs sur les terres réduit les possibilités de chasse résultant des rencontres fortuites avec l'animal. L'utilisation de motoneiges limite également le potentiel de rencontre de cet animal discret et sensible aux perturbations sensorielles. De plus, la diminution de l'utilisation de chiens de chasse réduit le besoin de viande de caribou pour les nourrir. Malgré le fait que la peau soit prisée pour la fabrication de produits comme les courroies de raquette, les harnais pour chiens et les tambours, la demande de ce matériau diminue. Les chasseurs ont également plus tendance à chasser l'orignal qui a plus de viande et dont le goût est meilleur (Gouvernement du Canada, 2019). Certains chasseurs ont réduit la chasse de caribous boréaux vu son statut d'espèce en péril lié aux baisses notables des populations du sud (Conference of Management Authorities, 2017, Gouvernement du Canada, 2019). Malgré le fait que la menace associée à la pression de la

chasse sur les populations de caribous boréaux soit de niveau moyen aux Territoires du Nord-Ouest, certaines inquiétudes persistent par rapport aux incidences d'une augmentation de cette activité. L'amélioration des connaissances et de l'accessibilité des habitats fréquentés, le manque de surveillance du nombre d'individus chassés ainsi que l'absence de période fermée de chasse inquiètent les Premières Nations face à la chasse excessive du caribou boréal. De plus, traditionnellement, lorsque plusieurs groupes de caribous sont rencontrés, l'individu chassé est davantage le mâle que la femelle ou le faon, et les individus chassés sont répartis parmi l'ensemble des groupes. Or, le prélèvement des plus gros mâles, qui sont potentiellement les meilleurs géniteurs, par les chasseurs de l'extérieur des communautés inquiète les Premières Nations. De plus, les restrictions imposées sur la chasse au caribou de la toundra pourraient forcer les chasseurs extérieurs des communautés à chasser plutôt le caribou boréal. (Gouvernement du Canada, 2019).

2.2.2. Communauté de Premières Nations de Jean Marie River

La communauté de Premières Nations de Jean Marie River, traditionnellement nommée Tthets'éhk'e Délî, est située dans la région administrative du Dehcho (Figure 5) aux Territoires du Nord-Ouest, au Canada, à 127 km à l'est de Fort Simpson et à 354 km à l'ouest de la Hay (Figure 6, Jean Marie River First Nation, 2020). Jean Marie River abrite une communauté d'environ 70 personnes, ce qui en fait la deuxième plus petite communauté des Territoires du Nord-Ouest. La plupart des services n'y sont pas disponibles et les résidents doivent se déplacer à Fort Simpson pour y recourir (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2020). Depuis 2012, la construction d'un pont au-dessus de la rivière Mackenzie a facilité son accessibilité tout au long de l'année (Jean Marie River First Nation, 2020). La langue primaire est l'anglais, mais un total de 11 langues sont considérées officielles, dont le South Slavey (Dene Zhatie) qui est parlé par la communauté de Jean Marie River (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2020). Malheureusement, cette langue qui autrefois était primaire n'est plus connue des nouvelles générations, ce qui crée une barrière dans la transmission des connaissances entre les aînés et les nouvelles générations. L'héritage Dene reste le fondement des lois de cette communauté, dont leur mode de vie, leur art, leur nourriture, c'est-à-dire la chasse, la pêche et le trappage, et leurs cérémonies (Jean Marie River First Nation, 2020). Cette culture traditionnelle inclut l'utilisation et le respect de la terre, de l'eau et des animaux (Dehcho First Nations, 2020). La communauté de Jean Marie River est gouvernée par un conseil de bande comprenant un chef élu et six conseillers (Jean Marie River First Nation, 2020).

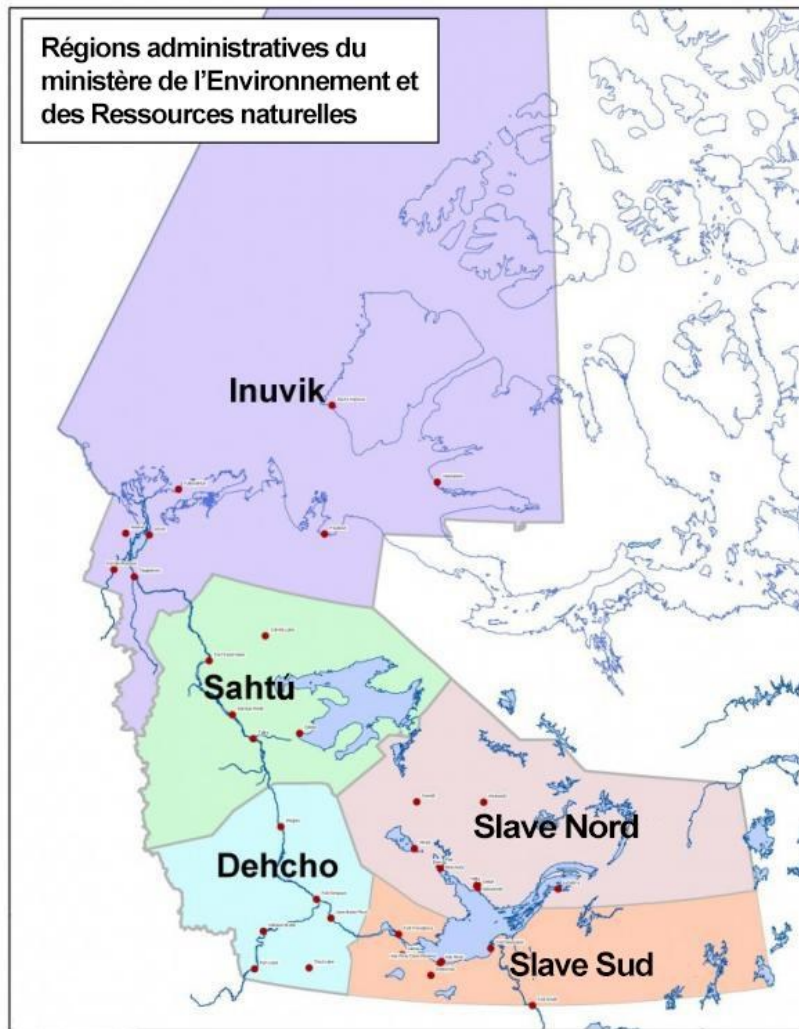


Figure 5. Régions administratives du Ministère de l'Environnement et des ressources naturelles, Territoires du Nord-Ouest, Canada (Environnement et Ressources naturelles, 2020b).

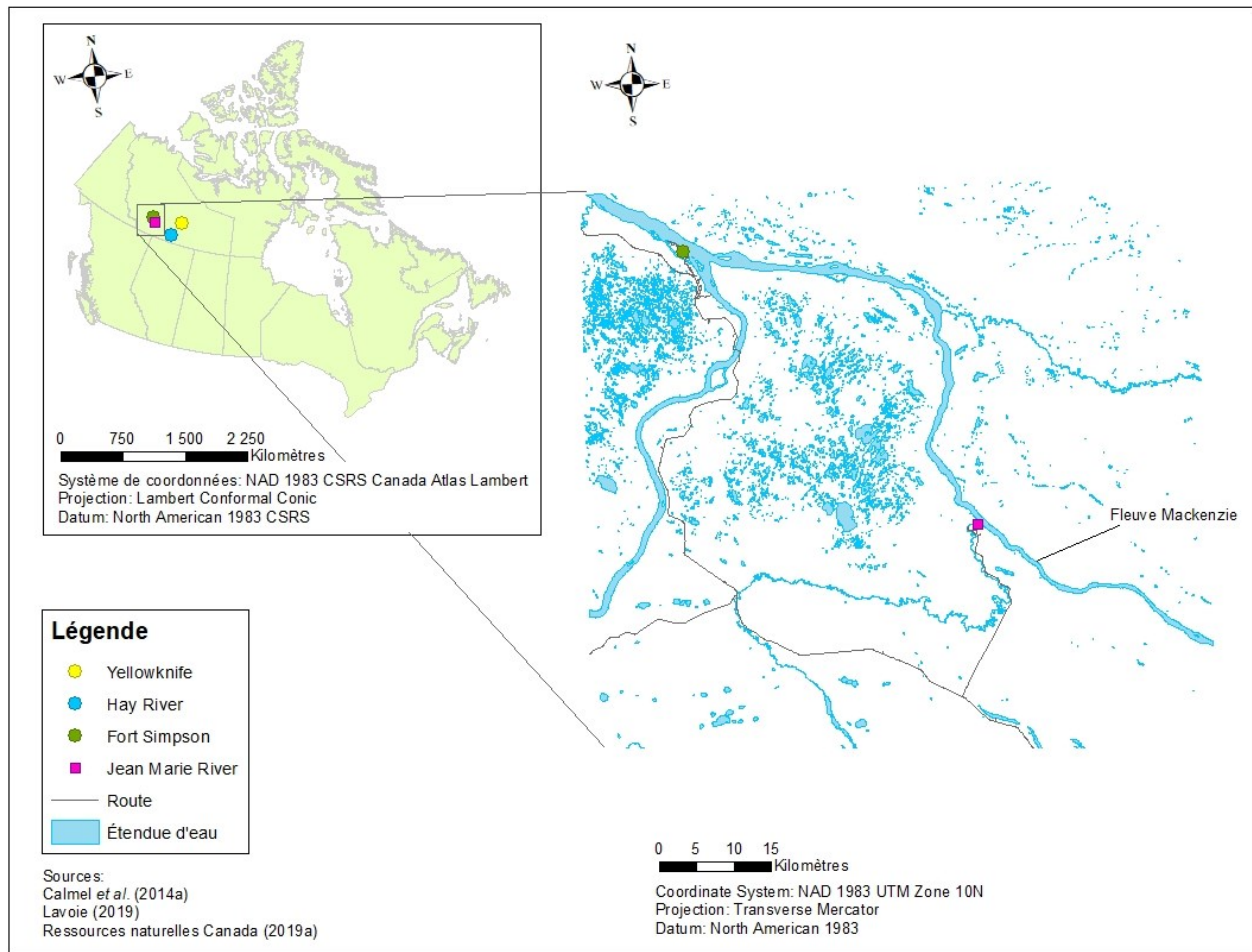


Figure 6. Localisation de Jean Marie River et des principales communautés environnantes, Territoires du Nord-Ouest, Canada.

2.3. Conséquences liées aux changements climatiques

2.3.1. Effets en milieu nordique

Les changements climatiques peuvent avoir des effets locaux et régionaux (Mallory and Boyce, 2018). Ils perturbent la température et les précipitations (Kurylyk *et al.*, 2014). En milieux nordiques, les prédictions comprennent l'augmentation des feux de forêt (Joly *et al.*, 2012). Or, une dégradation rapide de l'environnement causée par les changements climatiques affecte déjà cette région (Mallory and Boyce, 2018). Dans le Dehcho, la température devient généralement plus élevée, les pluies sont plus fréquentes et les dernières averses surviennent plus tard dans la saison, parfois jusqu'en novembre (Gouvernement du Canada, 2019). Le pergélisol est un indicateur cryosphérique clé des conséquences des changements climatiques (Akerman and Johansson, 2008),

car il participe activement à l'écosystème terrestre nordique et est très sensible aux variations de température (Osterkamp, 2007). L'augmentation de la température causée par les changements climatiques perturbe l'épaisseur, la présence et la distribution du pergélisol. Sa dégradation change le taux d'humidité et la disponibilité des nutriments dans le sol, modifiant la composition (Yang *et al.*, 2010), la distribution et la fonction des végétaux. La majorité de la forêt boréale mondiale se situe sur le pergélisol. En Amérique du Nord, le dégel du pergélisol a entraîné la perte de forêts provoquant des effets similaires à la déforestation retrouvée dans les régions plus au sud (Baltzer *et al.*, 2014). La présence de pergélisol a une influence importante sur la structure et la diversité des végétaux. Lorsqu'il y a présence de pergélisol dans les tourbières, on retrouve jusqu'à 47 % plus de diversités végétales, incluant plusieurs espèces de mousses (Beilman, 2001). Dans les milieux de faible altitude, le dégel du pergélisol a transformé des écosystèmes terrestres en écosystèmes aquatiques ou en milieux humides; alors que dans les milieux de haute altitude, la composition végétale s'est transformée d'espèces hygrophiles en espèces xérophytes et arbustives (Yang *et al.*, 2010). Dans la région de Jean Marie River, le pergélisol se situe à la limite de deux catégories d'étendues (Calmels *et al.*, 2014a), soit un pergélisol discontinu et dispersé présent sur 10 à 50 % du territoire (Gouvernement du Canada, 2020) ainsi que discontinu et répandu présent sur 50 à 90 % du territoire. De 2013 à 2014, Calmels *et al.* (2014a) ont effectué une étude visant à caractériser le pergélisol de la région de Jean Marie River. Selon les résultats, il y avait présence de pergélisol sur 52 % du site d'étude. De ce nombre, 51 % du territoire avaient une vulnérabilité moyenne ou élevée face à la dégradation et 16 % en étaient déjà affectées. De plus, la dégradation du pergélisol a le potentiel d'affecter 40 % des forêts de cette région. De ce nombre, 14 % sont déjà affectées par la dégradation, transformant les forêts en milieux humides et fondrières à mousses (Calmels *et al.*, 2014a).

2.3.2. Impacts sur le caribou et les Premières Nations

La survie de plusieurs espèces dépend de sa capacité d'adaptation aux variations de son environnement, dont celles causées par les changements climatiques (Mallory and Boyce, 2018). Les changements climatiques perturbent les habitats, la disponibilité des ressources alimentaires et favorisent l'arrivée de nouveaux prédateurs (Environment and Natural Resources, 2019c), parasites et maladies (Gouvernement du Canada, 2019). Ils contribuent aussi à l'arrivée de nouvelles espèces compétitrices (Simard *et al.*, 2016). En milieu nordique, les conséquences peuvent affecter

positivement et négativement les populations de caribous . Avec les changements climatiques, on prédit l'augmentation du harcèlement par les insectes nuisibles en été, la variation de qualité et quantité des ressources en hiver et en été, ainsi qu'un changement des comportements saisonniers (Joly *et al.*, 2012). À long terme, une modification des conditions environnementales pourrait forcer les populations de caribous à restreindre leur distribution aux habitats plus nordiques (Sharma *et al.*, 2009), changer leur comportement migratoire (Heggberget *et al.*, 2002) ou isoler certaines populations (Poole *et al.*, 2010). À Jean Marie River, l'habitat avec du lichen est majoritairement retrouvé sur le pergélisol et son dégel défavorise le lichen qui est remplacé par de la mousse (Calmels *et al.*, 2014a).

Certaines espèces se sont adaptées aux conditions particulières de ce milieu, mais elles pourraient perdre cet avantage face à l'arrivée de nouvelles espèces (Davidson *et al.*, 2011). Au fil de l'évolution, divers événements du cycle vital du caribou, comme la mise bas et la lactation, ont été synchronisés avec la disponibilité et la qualité optimale des ressources végétales afin de pouvoir soutenir ces fortes demandes énergétiques (Post *et al.*, 2003). Avec le réchauffement de la température et la fonte hâtive de la neige, ce pic des ressources végétales pourrait être devancé, créant un asynchronisme avec les besoins du caribou (Mallory and Boyce, 2018). Une condition corporelle inadéquate, causée par une carence nutritive, pourrait avoir un impact néfaste sur la survie et la reproduction des individus (Parmesan, 2006). Inversement, un accès hâtif à des ressources plus nutritives pourrait être bénéfique en permettant un apport supplémentaire lors de la mise bas et l'allaitement (Couturier *et al.*, 2009). Finalement, une augmentation dans la durée de productivité végétale pourrait permettre de réduire la période où l'accès à la nourriture est plus difficile (Veiberg *et al.*, 2017).

En milieu nordique, le harcèlement par les insectes parasites a un lien avec le comportement, les déplacements et la condition corporelle des caribous (Mallory and Boyce, 2018). Afin de réduire ces désagréments, les caribous peuvent adopter des comportements plus énergivores qui empiètent sur le temps pour s'alimenter (Hagemoen and Reimers, 2002) et les forcer à prioriser des habitats de pauvres qualités, mais défavorables aux insectes (Toupin *et al.*, 1996). Ces comportements peuvent être néfastes face à l'obtention d'une condition corporelle adéquate à la survie et à la fécondité (Thomas and Kiliaan, 1998). Selon Tompkins *et al.* (2011), la densité de certaines espèces du genre *Rangifer* peut être contrôlée par l'intensité du harcèlement. De plus, certaines conditions environnementales, comme la température, le vent et les précipitations, affectent la

présence d'insectes parasites (Downes *et al.*, 1986). Or, une variation de ces conditions causée par les changements climatiques pourrait avoir des conséquences négatives ou positives sur le caribou. Par exemple, des étés plus chauds pourraient contribuer à augmenter l'abondance et l'activité de harcèlement des insectes (Callaghan *et al.*, 2004) et ultimement, contribuer à l'abaissement de la condition corporelle des caribous (Weladji *et al.*, 2003). Inversement, les changements climatiques pourraient contribuer à l'augmentation des précipitations et du couvert nuageux, ce qui réduit le harcèlement (Heggberget *et al.*, 2002).

Les changements climatiques peuvent également modifier la fréquence et l'intensité de certains phénomènes stochastiques. Une augmentation des feux de forêt pourrait entraîner une dégradation dans la qualité et la quantité des ressources pour le caribou tout en favorisant d'autres espèces d'ongulés (Joly *et al.*, 2012). La présence plus importante d'autres espèces proies pourrait augmenter la compétition interspécifique, introduire de nouvelles maladies (Kutz *et al.*, 2009) et favoriser la présence de prédateurs (Latham *et al.*, 2011). Après un feu, plusieurs dizaines d'années sont nécessaires au milieu afin de récupérer de ces changements (Gouvernement du Canada, 2019). Selon le Gouvernement du Canada (2019), les forêts boréales en Alberta et en Saskatchewan prennent généralement entre 40 et 80 ans à retrouver leur état avant le feu et entre 200 à 350 ans en Colombie-Britannique.

Les changements climatiques favorisent également la présence de croûtes de glace sur les surfaces enneigées créées lors d'événements de pluie sur neige suivis d'un refroidissement (Langlois *et al.*, 2017). Durant l'hiver, la réduction ou même l'absence de gel qui protège le lichen et la présence de croûtes de glace complexifient l'accès à la nourriture (Gouvernement du Canada, 2019), obligeant l'utilisation d'habitats moins favorables ou pouvant même entraîner une famine généralisée (Langlois *et al.*, 2017). De plus, cette glace nuit aux déplacements et peut empêcher la fuite face aux prédateurs. À cause des changements climatiques, le niveau de certains cours d'eau, plus particulièrement les petites rivières et les ruisseaux, augmente et favorise l'accès par bateaux à des habitats du caribou qui étaient anciennement inaccessibles aux chasseurs (Gouvernement du Canada, 2019).

Chez les Premières Nations de Jean Marie River, la modification du paysage causée par la dégradation du pergélisol force la communauté à faire des changements importants et pourrait mettre en péril leur santé, leur culture, leur tradition, leur régime et leur sécurité alimentaire. Leur

mode de vie est ancré sur la pratique d'activités traditionnelles, comme la chasse, le trappage, la pêche et la récolte. Cette pratique permet de transmettre aux nouvelles générations le savoir-faire, la culture et les traditions de la communauté. À cause des modifications du paysage, les Premières Nations perdent les valeurs culturelles, spirituelles, traditionnelles et relationnelles avec le territoire. Le savoir-faire traditionnel devient désuet et les points de repère dans le territoire disparaissent. L'accessibilité et la disponibilité des ressources alimentaires sont modifiées, il est maintenant plus difficile de récolter les ressources et la communauté doit s'adapter en utilisant de nouvelles espèces ou en changeant de territoire de récolte. Le climat et la courte saison de croissance sont peu favorables aux cultures végétales. Le manque de connaissances techniques et de support financier complexifie la création de jardins pour la communauté. Les déplacements sur le territoire deviennent plus dangereux, la neige arrive avant que le sol soit gelé, la glace des lacs et des rivières est plus mince, forçant les chasseurs à toujours parcourir leur territoire à deux ou à chasser à partir du bord de l'autoroute. Aucun point commercial n'est situé à Jean Marie River et l'apport de nourriture du commerce peut être onéreux et moins nutritif. Les ressources récoltées sur le territoire contribuent à l'équilibre du régime, à l'apport nutritif et possiblement à réduire des problèmes de santé comme le diabète et l'obésité (Calmels *et al.*, 2014a). À Jean Marie River, tous les membres de la communauté consomment de la viande qui a été chassée (Jean Marie River First Nation and PACTeam Canada Inc., 2011). Pour la moitié d'entre eux, 75 % ou plus des repas sont basés sur cette viande (Statistics Canada *in* Jean Marie River First Nation and PACTeam Canada Inc., 2011). Lorsqu'un caribou de grande taille est chassé, sa viande est partagée entre les familles et peut être utilisée durant les rassemblements. La chasse des caribous de petite taille est un important supplément alimentaire et permet un apport financier lorsqu'il est vendu. La santé du caribou semble avoir changé, la fourrure est de moins bonne qualité et la viande est moins grasse et moins bonne au goût. Pour les Premières Nations, la chasse est culturelle et spirituelle et cette pratique devient problématique lorsque les chasseurs provenant de l'extérieur des communautés gaspillent de la viande (Calmels *et al.*, 2014a).

3. Matériel et méthodes

3.1. Site d'étude

Le site d'étude est divisé en 3 zones distinctives liées aux objectifs spécifiques des déplacements, de l'utilisation de l'habitat et de validation d'un IQH. Le site d'étude est localisé sur le territoire

de la communauté des Premières Nations de Jean Marie River qui est établie en bordure du fleuve Mackenzie (Figure 7, Jean Marie River First Nation, 2020) et qui fait partie du plus grand bassin de drainage hydrographique du Canada, débutant à l'ouest des montagnes Rocheuses jusqu'à la mer de Beaufort de l'océan Arctique (Encyclopaedia Britannica, 2019). Le climat varie selon les saisons et est caractérisé par des étés courts avec des températures moyennes de 24 °C en juillet et des hivers longs et froids avec températures maximales entre -21 et -31 °C en janvier (Jean Marie River First Nation, 2020). On y retrouve des marais vallonés, des saulaies (*Salix* spp.) et des forêts denses (Jean Marie River First Nation and PACTeam Canada Inc., 2011). Les essences arborescentes dominantes sont principalement des conifères (Ressources naturelles Canada, 2019), dont l'épinette blanche (*Picea glauca*), le pin gris (*Pinus banksiana*), l'épinette noire (*Picea mariana*), le mélèze laricin (*Larix laricina*) et le sapin subalpin (*Abies lasiocarpa*). Les essences d'arbres feuillus principalement retrouvées sont le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), le bouleau nain (*Betula nana*), le bouleau à papier (*Betula papyrifera*), l'aulne de montagne (*Alnus incana*, Environnement et Ressources naturelles, 2019) et le saule pédicellé (*Salix pedicellaris*, Ressources naturelles Canada, 2019). Cet habitat est affecté par le dépérissement du pergélisol (Government of Northwest Territories, 2018) et les feux de forêt qui se produisent normalement entre le 1^{er} mai et le 30 septembre (Environnement et Ressources naturelles, 2019), quasi annuellement selon l'historique débutant en 1965 du Northwest Territories Center for Geomatics (2019). Afin de situer ce phénomène relativement aux différentes zones du site d'étude, la Figure 8 présente l'étendue des feux survenus entre 1965 et 2016.

Cette étude est la suite d'un projet de recherche de Calmels *et al.* (2014a) sur la vulnérabilité de la sécurité alimentaire traditionnelle associée à la dégradation du pergélisol pour la communauté de Jean Marie River. Selon ces auteurs, les communautés situées sur des territoires caractérisés par la présence de pergélisol discontinu, comme celle de Jean Marie River, sont particulièrement sensibles aux impacts des changements climatiques au niveau de la communauté et des infrastructures. Ils ajoutent que la communauté de Jean Marie River a déjà subi des répercussions des changements climatiques. Ainsi, cette communauté a cherché à identifier sa vulnérabilité face aux principaux impacts des changements climatiques, plus particulièrement en lien avec son territoire et ses activités traditionnelles, afin de développer des stratégies efficaces face à ces perturbations. Parmi les inquiétudes de cette communauté, les perturbations des activités traditionnelles et de subsistances comme la chasse, le trappage et la pêche font partie des sujets

ciblés, intégrant ainsi la population de caribous boréaux comme valeur importante. Dans leur étude, Calmels *et al.* (2014a) ont identifié trois facteurs pouvant influencer localement la sensibilité et la distribution du pergélisol: la nature du sol, la géologie de surface et la végétation. En 2019, Lavoie (2019) a publié une étude qui faisait suite aux recherches de Calmels *et al.* (2014a). Cette dernière cherchait à évaluer la qualité de l'habitat du caribou boréal dans la région de Jean Marie River grâce à la classification de la végétation et à développer un IQH adapté à cette population pour l'analyse de l'habitat sur ce territoire. La classification de la végétation et son évolution spatio-temporelle ont été déterminés à l'aide d'imagerie satellitaire. La délimitation du site d'étude pour cette classification a été établie selon celle utilisée lors de l'étude de Calmels *et al.* (2014a). La présente étude vise à s'intégrer à ces recherches afin d'améliorer les connaissances sur le caribou des bois dans le but de mieux outiller la communauté de Jean Marie River aux impacts des changements climatiques. Les mêmes délimitations des sites d'étude de Calmels *et al.* (2014a) et de Lavoie (2019) ont été utilisées afin de pouvoir lier les résultats de cette étude à la recherche de ces auteurs.

Plus particulièrement, la zone d'étude nommée peuplements, présentée à la Figure 7, a été utilisée afin de répondre à l'objectif spécifique sur l'analyse de l'utilisation de l'habitat par la population boréale du caribou des bois. Elle possède une superficie de 3 567 km² et a les mêmes délimitations utilisées par Calmels *et al.* (2014a) et par Lavoie (2019) lors de leurs études de classification de la végétation. Une deuxième zone d'étude, nommée indice de qualité de l'habitat, possède les mêmes délimitations que le site délimité par Lavoie (2019) lors de son analyse de l'habitat par IQH. Cette zone a été utilisée lors de la présente étude afin de répondre à l'objectif spécifique sur la validation de l'IQH et est située à l'intérieur des limites de la zone d'étude peuplements. La superficie de cette zone est de 2 400 km². Finalement, la délimitation de la zone d'étude déplacements a été utilisée afin de répondre à l'objectif spécifique sur la description des déplacements de la population boréale du caribou des bois. Cette zone englobe la majorité des superficies des zones d'étude indice de qualité de l'habitat et peuplements et a une superficie de 5 551 km².

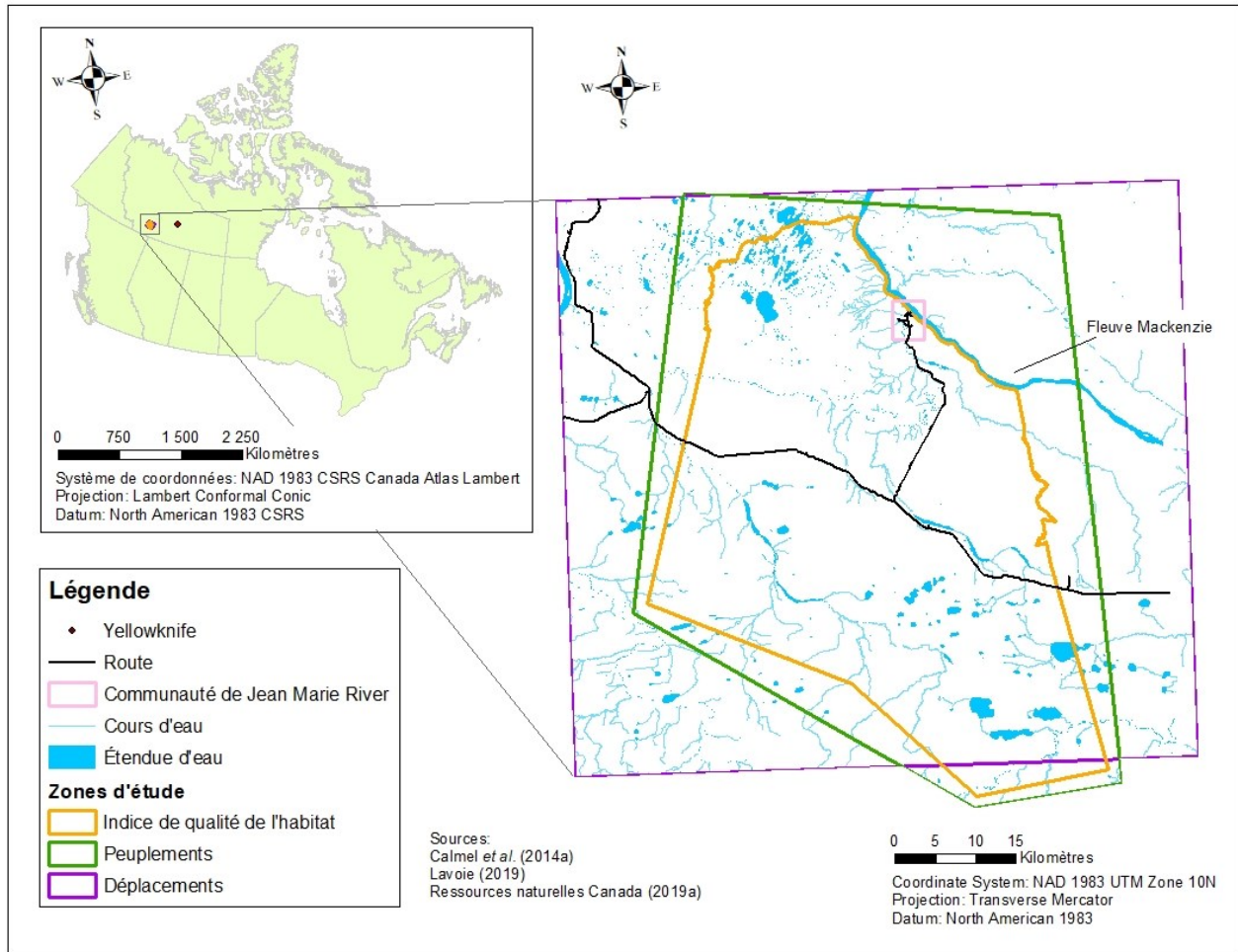


Figure 7. Localisation des zones d'étude utilisées afin de répondre aux objectifs spécifiques sur les déplacements, l'utilisation de l'habitat et la validation de l'indice de qualité de l'habitat pour la population boréale du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.

3.2. Données utilisées

Le projet utilise trois données principales, soit les localisations de caribous, les valeurs de l'IQH et les classes de végétation (Tableau 2). Les données de localisations de caribous ont été fournies par le ministère Environnement et ressources naturelles du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (Environment and Natural Resources, 2019d). Elles ont été acquises par des colliers GPS à code unique installés sur 41 femelles entre 2005 et 2017. Malgré le fait que des localisations ont été obtenues chaque année entre 2005 et 2017, l'installation de nouveaux colliers dans la zone d'étude n'a pas été effectuée certaines années à la demande de la communauté de Jean Marie River. Les valeurs de l'IQH et les classes de végétation proviennent des résultats de l'étude de Lavoie (2019). Cette étude a permis d'obtenir des valeurs estimant la qualité de l'habitat de 0 à 1, où 0 est

la plus faible et 1 la plus élevée, grâce à une équation adaptée aux caribous boréaux de cette région qui intègre des catégories d'habitats et d'infrastructures humaines.

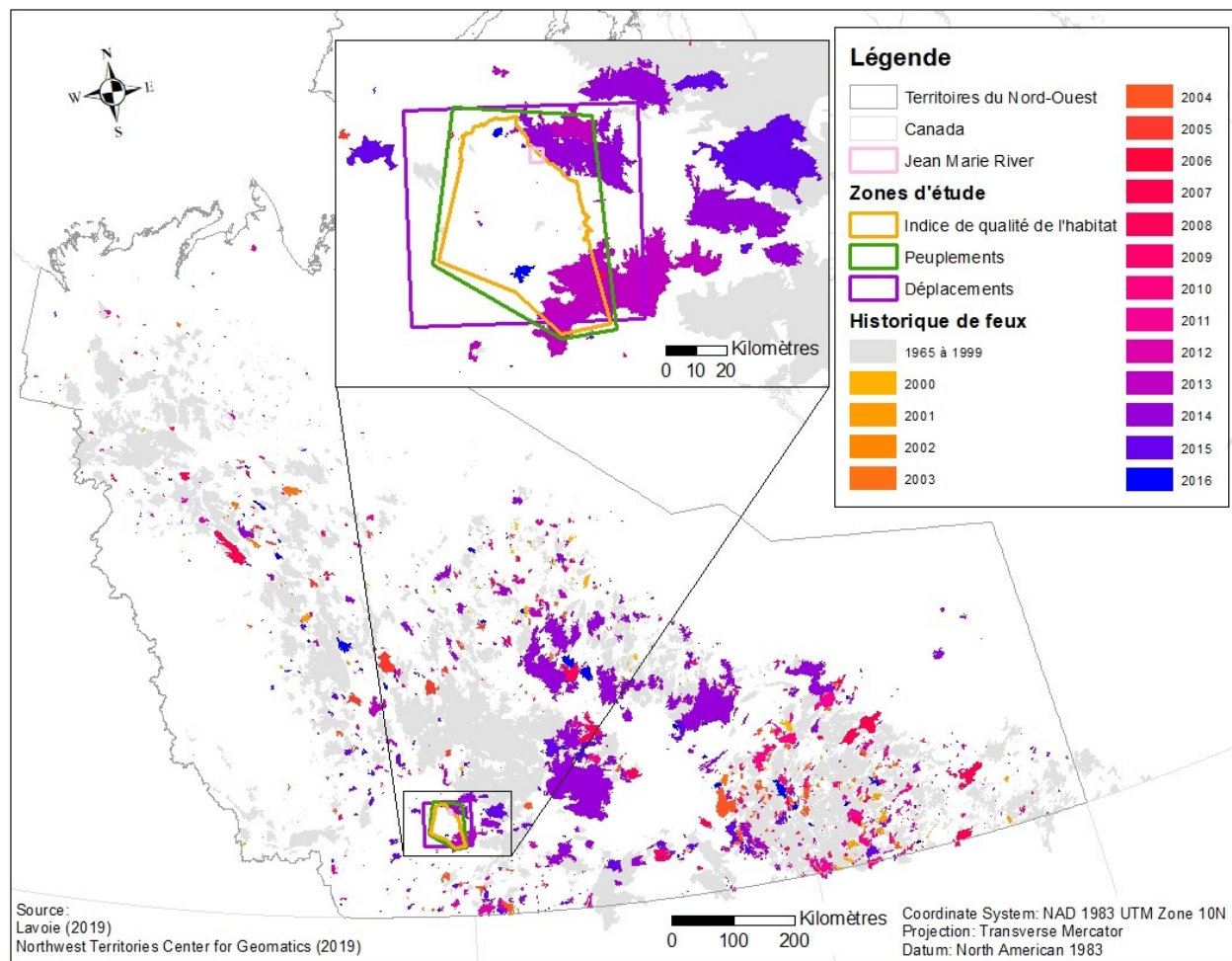


Figure 8. Localisation des zones d'étude liées aux objectifs spécifiques sur les déplacements, l'utilisation de l'habitat et la validation de l'indice de qualité de l'habitat par la population boréale du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) dans la région de Jean Marie River et distribution des feux survenus entre 1965 et 2016 dans la partie au sud de l'océan Arctique aux Territoires du Nord-Ouest, Canada,.

Tableau 2. Sources et descriptions des données utilisées pour l'étude de l'utilisation de l'habitat par la population boréale du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.

Données	Format	Résolution (en m)	Source	Référence
Localisations de caribous	Vectorel	-	Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest	Environment and Natural Resources (2019c)
Indice de qualité de l'habitat	Matriciel	100 x 100	Université de Sherbrooke	Lavoie (2019)
Classes de végétation		30 x 30		

3.2.1. Relevés de localisations

Malgré la possibilité de déplacements plus vastes des individus, seuls les relevés de localisations retrouvés à l'intérieur des limites du site d'étude ont été pris en compte. Ainsi, les données de localisations analysées représentent seulement un échantillon lié à la zone d'étude et pourraient exclure d'autres habitats utilisés, mais non présents dans la zone d'étude. Il est à noter qu'au fil du temps, plusieurs modèles et catégories de colliers peuvent avoir été installés sur un individu. La marque Telonics a trois modèles, soit l'Argos, le GPS/Argos et le GPS/Iridium (Tableau 3). Le modèle Argos a quatre catégories et les deux autres ont deux catégories. La marque Vectronic a un seul modèle, soit le GPS Plus qui a deux catégories. Le modèle Argos des catégories 0 ont été installés de 2006 à 2007, 1 de 2005 à 2011, 2 de 2005 à 2012 et 3 de 2005 à 2012. Les modèles GPS/Argos ont été installés de 2013 à 2016 pour la catégorie 5 et de 2007 à 2017 pour la catégorie G. Les modèles GPS/Iridium et GPS Plus de catégorie 5 ont été utilisés en 2016 et G en 2017. Les modèles plus anciens ont été programmés pour recueillir majoritairement les localisations à un intervalle d'environ trois jours. La collecte de localisations des modèles plus récents était de trois fois par jour, alors que cette fréquence était exclusivement pendant la période de la mise bas pour les anciens modèles. La précision spatiale dépend du modèle et de sa catégorie. Pour le modèle Argos, la précision des catégories 0 est de 1 500 m ou plus, 1 de 500 à 1 500 m, 2 de 250 à 500 m et 3 de 250 m ou moins. Pour les catégories 5 et G des modèles GPS/Argos, GPS/Iridium et GPS Plus, la précision est inférieure à 100 m. Il faut noter que les modèles 5 ou G peuvent produire des erreurs de localisations liées aux arrêts de transmission (Environment and Natural Resource, 2019d).

Le nombre de localisations utilisées varie selon l'objectif spécifique. Pour celui lié aux déplacements des caribous, 19 970 localisations entre 2005 et 2017 associées à 33 individus ont été utilisées (Tableau 3). Ce chiffre inclut le retrait des doublons et de certaines données aberrantes dont la justification est retrouvée à la section 3.3. Les nombres de localisations et d'individus liés aux colliers GPS/Iridium et GPS Plus sont identiques aux données sources. La catégorie 3 a fourni la majorité des localisations du modèle Argos avec un sous-total de 1 115 (70 %) données associées à neuf individus. Le modèle GPS/Argos a fourni la majorité de l'ensemble des données avec un sous-total de 14 783 (74 %) localisations associées à 23 individus.

Pour l'analyse de l'utilisation de l'habitat, seules certaines données sources de 2010, 2011, 2012, 2016 et 2017 ont été conservées. Des justifications plus détaillées sur la sélection des données peuvent être retrouvées à la section 3.3. Pour les relevés entre 2010 et 2012, 2 172 localisations associées à dix individus ont été utilisées (Tableau 4). Aucune localisation ne provenait de collier de modèle GPS Plus et GPS/Iridium. Les localisations proviennent majoritairement du modèle GPS/Argos, avec un sous-total de 1 917 (88 %) localisations associées à huit individus. Le modèle Argos a fourni un sous-total de 255 (12 %) localisations associées à deux individus qui provenaient principalement de la catégorie 3. Pour les relevés de 2016 et 2017, 2 853 localisations associées à sept individus ont été utilisées. Aucune localisation n'a été fournie par le modèle Argos. Les données proviennent principalement des modèles GPS/Argos avec un sous-total de 1 203 (42 %) localisations associées à quatre individus, du modèle GPS/Iridium avec 856 (30 %) localisations associées à deux individus et du modèle GPS Plus avec 794 (28 %) localisations associées à trois individus. La majorité des données du modèle GPS/Iridium proviennent de la catégorie G avec 853 (près de 100 %) localisations. Pour les données fournies par les colliers de modèle GPS Plus, la majorité proviennent de la catégorie G avec 722 (91 %) localisations.

Pour la validation de l'IQH, les données sources de 2017 ont été utilisées. Celles-ci proviennent de la catégorie G des modèles GPS/Argos, GPS/Iridium et GPS Plus, chacun associé à un individu (Tableau 5). Respectivement, les sous-totaux de localisations fournis par les modèles sont de 529 (30 %), 734 (42 %) et 488 (28 %). Le total de localisations est de 1 751 associé à trois individus.

Tableau 3. Dénombrement des relevés de localisations et des individus de la population boréale du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) aux Territoires du Nord-Ouest, Canada, selon la marque, le modèle et la catégorie de colliers GPS utilisés lors de l'analyse des déplacements des individus. La précision du modèle Argos de catégorie 0 est de 1 500 m ou plus, de catégorie 1 de 500 à 1 500 m, de catégorie 2 de 250 à 500 m et de catégorie 3 de 250 m ou moins. La précision des catégories 5 et G des modèles GPS/Argos et GPS/Iridium de Telonics et GPS Plus de Vectronic est inférieure à 100 m.

Colliers			Nombre de données	
Marques	Modèles	Catégories	Localisations	Individus ^{1,2}
Telonics	Argos	0	2	1
		1	80	6
		2	395	9
		3	1 115	9
	Sous-total		1 592	9
	GPS/Argos	5	7 079	11
		G	7 704	17
	Sous-total		14 783	23
	GPS/Iridium	5	201	1
		G	957	1
Sous-total		1 158	2	
Vectronic	GPS Plus	5	305	2
		G	2 132	1
	Sous-total		2 437	3
Total			19 970	33

¹ Plusieurs modèles et classes de colliers peuvent être associés à un individu. Le sous-total du nombre d'individus correspond aux différents individus totaux et non à la somme selon chaque modèle.

² Les données de localisations initiales de chaque objectif proviennent des données sources et le nombre utilisé varie selon les traitements nécessaires à chaque objectif.

Tableau 4. Dénombrement des relevés de localisations et des individus de la population boréale du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) aux Territoires du Nord-Ouest, Canada, selon la marque, le modèle et la catégorie de colliers GPS utilisés lors de l'analyse de l'utilisation de l'habitat. La précision du modèle Argos de catégorie 0 est de 1 500 m ou plus, de catégorie 1 de 500 à 1 500 m, de catégorie 2 de 250 à 500 m et de catégorie 3 de 250 m ou moins. La précision des catégories 5 et G des modèles GPS/Argos et GPS/Iridium de Telonics et GPS Plus de Vectronic est inférieure à 100 m.

Colliers			Nombre de données				
			2010 à 2012		2016 à 2017		
Marques	Modèles	Catégories	Localisations	Individus ^{1,2}	Localisations	Individus ^{1,2}	
Telonics	Argos	0	0	0	0	0	
		1	12	1			
		2	55	2			
		3	188	2			
	Sous-total			255	2	0	0
	GPS/Argos	5	0	0	655	4	
		G	1 917	8	548	1	
	Sous-total			1 917	8	1 203	4
	GPS/Iridium	5	0	0	3	1	
		G			853	1	
Sous-total			0	0	856	2	
Vectronic	GPS Plus	5	0	0	72	2	
		G			722	1	
	Sous-total			0	0	794	3
Total			2 172	10	2 853	7	

¹ Plusieurs modèles et classes de colliers peuvent être associés à un individu. Le sous-total du nombre d'individus correspond aux différents individus totaux et non à la somme selon chaque modèle.

² Les données de localisations initiales de chaque objectif proviennent des données sources et le nombre utilisé varie selon les traitements nécessaires à chaque objectif.

Tableau 5. Dénombrement des relevés de localisations et des individus de caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) aux Territoires du Nord-Ouest, Canada, selon la marque, le modèle et la catégorie de colliers GPS utilisés lors de l'analyse de la validation de l'indice de qualité de l'habitat. La précision du modèle Argos de catégorie 0 est de 1 500 m ou plus, de catégorie 1 de 500 à 1 500 m, de catégorie 2 de 250 à 500 m et de catégorie 3 de 250 m ou moins. La précision des catégories 5 et G des modèles GPS/Argos et GPS/Iridium de Telonics et GPS Plus de Vectronic est inférieure à 100 m.

Colliers			Nombre de données	
Marques	Modèles	Catégories	Localisations	Individus ^{1,2}
Telonics	Argos	0	0	0
		1		
		2		
		3		
	Sous-total		0	0
	GPS/Argos	5	0	0
		G	529	1
	Sous-total		529	1
	GPS/Iridium	5	0	0
		G	734	1
Sous-total		734	1	
Vectronic	GPS Plus	5	0	0
		G	488	1
	Sous-total		488	1
Total			1 751	3

¹ Plusieurs modèles et classes de colliers peuvent être associés à un individu. Le sous-total du nombre d'individus correspond aux différents individus totaux et non à la somme selon chaque modèle.

² Les données de localisations initiales de chaque objectif proviennent des données sources et le nombre utilisé varie selon les traitements nécessaires à chaque objectif.

3.2.2. Division périodique des données

Pour l'analyse des objectifs sur les déplacements et l'utilisation de l'habitat par les caribous, les données de localisations ont été divisées en quatre périodes temporelles. La division des données par période a été basée sur une étude du lien entre la grandeur du domaine vital, les mouvements et la sélection d'habitats chez une espèce d'ongulés effectuée par Viana *et al.* (2018). Ces auteurs indiquent que plusieurs facteurs peuvent influencer les déplacements et la sélection d'habitats,

comme la distribution et la disponibilité des ressources, le comportement des individus lors d'interactions sociales (p. ex. durant la reproduction) et les conditions climatiques. Ils soulignent que des variations saisonnières pourraient expliquer certains changements dans les habitats sélectionnés par les individus, la disponibilité et la distribution des ressources. Étant donné que le territoire de Jean Marie River est caractérisé par des changements saisonniers (Jean Marie River First Nation, 2020) et que selon Nagy (2011), les caribous de cette région présentent des variations comportementales importantes selon les saisons, les déplacements et l'utilisation de l'habitat chez les individus étudiés pourraient être affectés. La division périodique des données cherche à mettre en évidence les variations dans les déplacements et l'utilisation de l'habitat qui pourraient survenir selon les périodes. La définition des dates spécifiques de chaque période a été basée sur la biologie et les principales activités de l'espèce pour les populations retrouvées dans la zone d'étude Dehcho-south selon les résultats obtenus par Nagy (2011). La période associée à la mise bas a été répartie du 5 avril au 6 juin (63 jours), la période été du 7 juin au 12 septembre (98 jours), la période de la reproduction du 13 septembre au 20 octobre (38 jours) et la période automne-hiver du 21 octobre au 4 avril (166 jours).

3.2.3. Classes de végétation

Afin de pouvoir répondre à l'objectif lié à l'utilisation de l'habitat par le caribou boréal, la végétation de la zone d'étude a été groupée par classe, selon les principales essences arborescentes, arbustives et herbacées. Les classes de végétation ont été utilisées conjointement aux relevés de localisations des caribous durant quatre périodes temporelles afin d'analyser leur utilisation des classes selon la période. Les classes de végétation ont initialement été définies lors de l'étude de Calmels *et al.* (2014a) par la classification dirigée d'imageries multispectrales de Landsat 5 du 27 août 2011. Ces classes correspondent également à la classification utilisée par Lavoie (2019). Cette dernière a été effectuée à partir d'images satellitaires ayant une résolution spatiale de 30 m sous format matriciel. Pour la classification de 2017, les images ont été prises le 8 août 2017 par le capteur *Operation Land Imager* de Landsat 8. Pour la classification de 2011, les images ont été prises le 27 août 2011 par le capteur *Thematic Mapper* de Landsat 5. De plus, trois images du 10 août 2017 et une image du 9 septembre 2017 du satellite Sentinel 2-Multi-Spectral Instrument S2A ont servi comme zones d'entraînement et de validation. La validation de chaque classe de végétation a également été effectuée grâce à la combinaison des résultats obtenus avec les images

satellitaires et cinq ou six points GPS sur le terrain. Pour les données de 2011, quatre classes ont été définies, soit conifère, mixte, tourbière à mousses et tourbière à arbustes (Tableau 6). Le Tableau 6 présente la végétation dominante associée à chacune des classes. Une classe autre a été ajoutée pour les localisations situées dans des zones où la classification n'est pas disponible. Les mêmes classes ont été utilisées pour la classification 2017. Cependant, une classe a été ajoutée afin d'inclure les perturbations causées par le feu survenues entre 2011 et 2017. Étant donné l'importance des feux dans la dynamique de la mosaïque forestière (Ressources naturelles Canada, 2019) et les changements de classes de végétation observés entre 2011 et 2017 par Lavoie (2019), les données de localisations ont été divisées en deux groupes afin de prendre en considération ces variations. Ainsi, les localisations obtenues des années 2010 à 2012 ont été analysées avec les classes de 2011 et celles de 2016 et 2017 avec les classes de 2017, car ces dernières incluent les zones de sol nu et de feu.

3.2.4. Indice de qualité de l'habitat

Les valeurs de l'IQH ont été obtenues grâce aux résultats de l'étude de Lavoie (2019). Le Tableau 7 présente les catégories des variables, leurs poids relatifs et les équations nécessaires à l'élaboration de l'IQH développé par Lavoie (2019) et basé sur l'étude de Leblond *et al.* (2014). Afin de connaître plus en détails la méthodologie liée ce développement, il est conseillé de consulter ces deux études. La variable mine a été prise en compte lors des analyses initiales par Lavoie (2019), mais puisqu'aucune infrastructure minière n'était présente dans la zone d'étude, cette catégorie n'a pas été conservée.

3.3. Traitement des données

Le traitement des données a été effectué à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.6.1. (Environmental Systems Research Institute, 2015). La Figure 9 montre l'organigramme méthodologique présentant les principales étapes effectuées pour les analyses menées en parallèle des trois objectifs spécifiques, soit pour la description des déplacements, l'utilisation de l'habitat de 2010 à 2012 et de 2016 et 2017 et la validation de l'IQH élaboré par Lavoie (2019) pour le caribou boréal.

Tableau 6. Superficies (km² et pourcentage) des classes de végétation définies selon la végétation dominante établis par Calmels *et al.* (2014a, b) et obtenues lors de la classification effectuée par Lavoie (2019) pour 2011 et 2017.

Classes de végétation	Végétation dominante	Superficie			
		km ²		%	
		2011	2017	2011	2017
Conifère	Conifères et mixtes à dominance de conifères	1 468,23	1 074,17	43,2	33,6
Mixte	Feuillus et mixtes à dominance feuillus	341,10	303,41	10,0	9,5
Tourbière à mousses	Sphaignes (<i>Sphagnum</i> spp.)	1 082,87	1 064,63	31,9	33,3
Tourbière à arbustes	Arbustes, graminées (<i>Poaceae</i>) et carex (<i>Carex</i> spp.)	503,99	487,50	14,8	15,2
Sol nu/feu	En régénération	-	270,99	-	8,5
Superficie totale		3 396,19	3 200,70	100,0	100,0

3.3.1. Retrait des données de localisations problématiques

Tout d’abord, les 20 239 données de localisations acquises initialement ont été analysées grâce à ArcGIS (Environmental Systems Research Institute, 2015). Certaines recommandations de Aguinis *et al.* (2013) ont été suivies afin de définir, d’identifier et de gérer les données aberrantes liées à de possibles erreurs. Ces auteurs indiquent que les données aberrantes provenant d’observations illégitimes doivent être définies et analysées afin de cerner les erreurs potentielles d’exactitude, comme des données retrouvées hors des valeurs possibles ou des erreurs créées lors de l’observation ou de l’enregistrement. Après cette analyse, les données doivent être corrigées ou supprimées (Aguinis *et al.*, 2013). À la suite de l’analyse initiale des données, 134 doublons ont été identifiés et supprimés et 20 105 données de localisations ont été conservées. Ces dernières étaient considérées comme un doublon lorsque toutes les valeurs des attributs étaient identiques entre deux localisations ou plus. Ensuite, les données aberrantes ont été recherchées en analysant visuellement la table d’attributs afin de déceler des données impossibles ou des erreurs d’exactitude. Au total, sept colliers étaient liés à deux individus et un individu possédait des localisations liées à deux colliers. Après l’analyse des dates associées à l’ensemble des localisations

de ces individus, les données ont été conservées seulement lorsque le délai était cohérent à la réutilisation du collier. Ce dernier était considéré cohérent lorsque la date de la dernière localisation du collier sur un individu et la date de la première localisation de l'individu suivant n'avaient pas de dates concomitantes. Ainsi, dix localisations liées à deux colliers ont été supprimées puisqu'elles étaient associées à deux individus qui auraient porté un collier à code unique durant la même période temporelle. Cette opération a éliminé par le fait même les données aberrantes liées à un individu qui avait également des localisations associées à deux colliers durant la même période temporelle. Suite à ces traitements, le nombre de données de localisations restant était de 20 095.

Tableau 7. Équations développées par Lavoie (2019) pour l'élaboration de l'indice de qualité de l'habitat selon les catégories et leur poids relatif pour la population boréale de caribous des bois (*Rangifer tarandus caribou*) aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.

Catégories			Poids relatifs	Équations	
				Valeurs par catégorie	Indice de qualité de l'habitat
Habitats	Conifères matures	Superficie (Km ²)	0,42	(0,42 × Conifères matures) + (0,27 × Milieux humides) + (0,11 × Perturbations naturelles) + (0,08 × Bandes défrichées) + (0,12 × Milieux en régénération)	[(0,55 × Catégories d'habitats) × Distance route × Distance chemin × Distance mine] – (0,45 × Infrastructures humaines)
	Milieux humides		0,27		
	Perturbations naturelles ≤ 20 ans		0,11		
	Bandes défrichées ≤ 35 ans		0,08		
	Milieux en régénération		0,12		
Infrastructures humaines	Routes asphaltées	Densité (Km/Km ²)	0,35	(0,35 × Routes asphaltées) + (0,30 × Chemins forestiers) + (0,35 × Mines)	
	Chemins forestiers		0,30		
	Mines	Nombre d'installations	0,35		
	Distance	Route	-	$-0,000003x^2 + 0,0343x + 8,2524$	
Chemin		$-0,000000002x^3 + 0,00002x^2 + 0,032x + 21,886$			
Mine		$-0,000002x^2 + 0,0279x + 5,9313$			

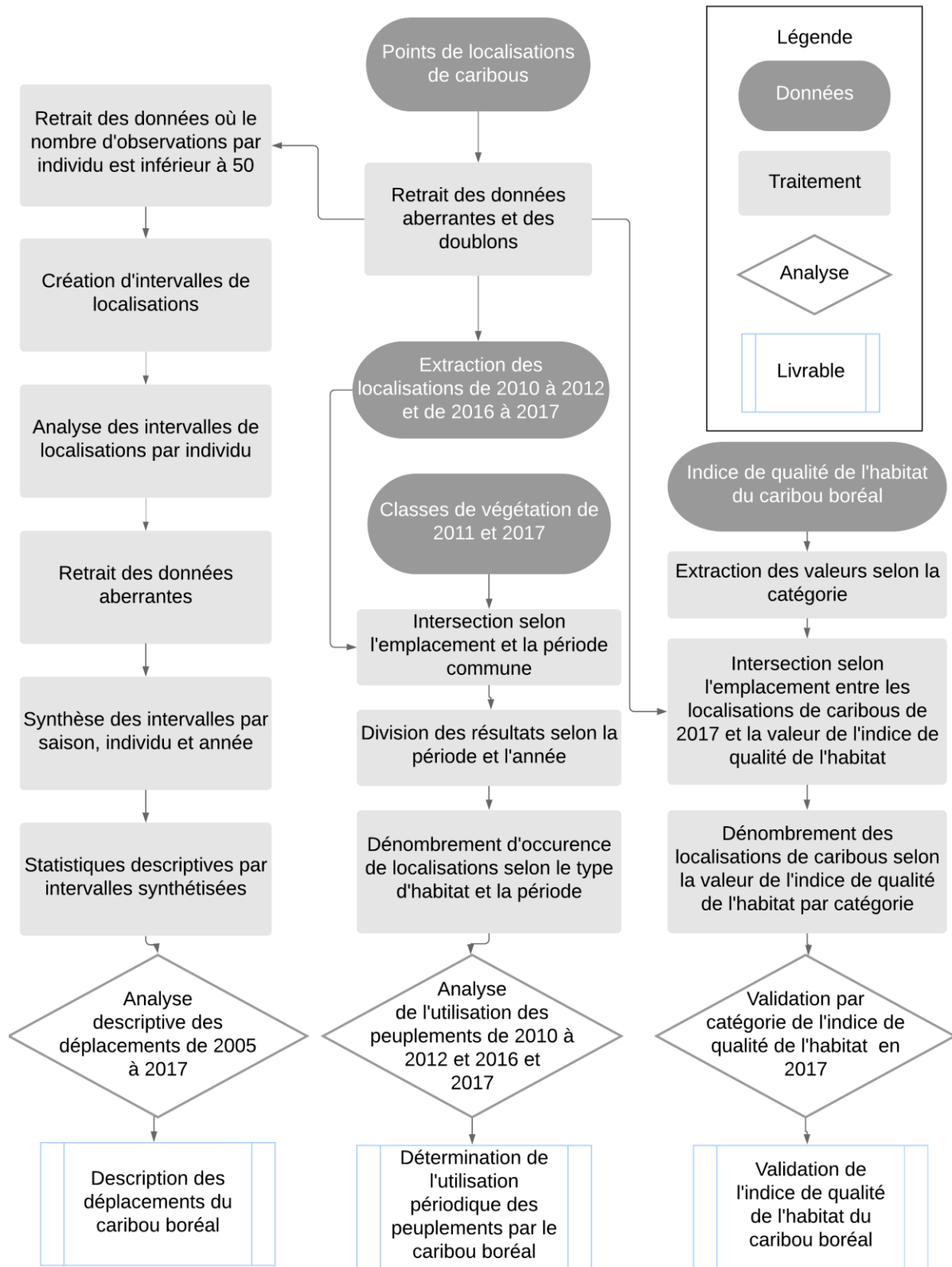


Figure 9. Organigramme méthodologique présentant les principales étapes pour l'étude sur l'utilisation de l'habitat par la population boréale du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.

Afin de faire ressortir les résultats selon les individus, un nombre minimal de données de localisations par individu était nécessaire. Comme suggéré par Seaman *et al.* (1999), les données de localisations des individus ayant un nombre total d'au moins 50 observations entre 2005 et 2017 ont été conservées afin de limiter les erreurs d'estimation. Sur les 40 individus restants à la suite des retraits des données aberrantes, sept d'entre eux ne respectaient pas ce critère, car ils avaient entre 1 à 28 localisations entre 2005 à 2017. Il est à noter que malgré le fait que les colliers possédaient un code unique, certains étaient associés à plusieurs types de modèles. Pour ces cas, leurs données ont été considérées comme venant du même collier. Un total de 19 974 localisations étaient restantes à cette étape.

Des intervalles de localisations ont ensuite été créés en liant les localisations chronologiquement par individu. Cette étape permet de suivre les déplacements dans l'espace et le temps de chaque individu et de pouvoir estimer les caractéristiques des déplacements comme la vitesse et la distance. Afin de retirer les données aberrantes, les données de distance en kilomètre par jour ont été analysées. Selon les recommandations de Aguinis *et al.* (2013) pour la gestion des données aberrantes, outre les erreurs liées à des valeurs illégitimes, les données aberrantes ne doivent pas être systématiquement corrigées ou éliminées puisqu'elles peuvent être associées à des valeurs exactes possédant des caractéristiques intéressantes. Afin de déterminer ce critère, des données de références ont été utilisées. Selon une étude de Nagy (2011), les caribous retrouvés dans les régions de Dehcho et South Slave peuvent parcourir jusqu'à 60 km par jour. En respectant cette valeur maximale, deux intervalles de localisations semblaient problématiques, car ils représentaient des déplacements aberrants. Selon le premier intervalle, un individu avait effectué un déplacement d'une distance de 27,2 km, d'une durée d'une minute et à une vitesse de 1 608 km/h ou 38 583 km par jour. Pour le second intervalle, le déplacement était d'une distance de 2,8 km, d'une durée d'une minute et d'une vitesse de 171,9 km/h. Dans les deux cas, les localisations associées à ces déplacements ont été supprimées. Ensuite, les intervalles ont été analysés de nouveau. À cette étape, aucune donnée aberrante n'a été identifiée. Les intervalles ont été synthétisés par saison, par individu et par année. Pour chaque individu, la distance journalière moyenne a été calculée par saison. La moyenne, la médiane et les quartiles ont été calculés pour l'ensemble des distances journalières moyennes par saison tous individus confondus. Si une distance moyenne journalière était inférieure à 1,5 fois la valeur de l'écart interquartile soustraite de la valeur du premier quartile ou supérieure à 1,5 fois la valeur de l'écart interquartile additionnée à la valeur du troisième

quartile, celle-ci était considérée hors norme (Kirkman, 2020). Lorsqu'une valeur hors norme était présente, la valeur normale la plus élevée était considérée comme celle maximale.

3.3.2. Analyse de l'utilisation des classes de végétation

Le Tableau 8 montre le nombre total de localisations selon les quatre périodes et les regroupements d'années. Afin de calculer l'utilisation des classes de végétation par les individus, une intersection a été effectuée entre les localisations et les classes de végétation selon leur emplacement commun. Les résultats ont ensuite été séparés selon les périodes et les années. Étant donné que la période automne-hiver comprend deux années consécutives, soit les mois d'octobre à décembre d'une année et de janvier à avril de l'année suivante, les localisations obtenues pour la période automne-hiver de 2012 incluent également une portion des mois de l'année suivante, soit 2013. Il est à noter que la période automne-hiver 2010 ne comprend pas de localisation pour les mois d'octobre à décembre de 2009, car il n'y avait aucune localisation. Les pourcentages d'occurrences de localisations de caribous ont été analysés par classe de végétation pour chaque période selon les groupements d'années de 2010 à 2012 et de 2016 à 2017. L'analyse inclut l'ensemble des utilisations possibles de différentes classes de végétation par le caribou boréal, comme les déplacements, l'alimentation ou la mise bas.

3.3.3. Validation de l'indice de qualité de l'habitat

La validation de l'IQH a comme objectif de vérifier si les valeurs de qualité attribuées aux habitats pour le caribou boréal selon l'équation définie par Lavoie (2019) représentent un indicateur de l'utilisation réelle. Pour ce faire, les valeurs de l'IQH basées sur les catégories d'habitats et d'infrastructures définies par Lavoie (2019, Figure 10) ont été comparées à 1 751 points de localisations de trois individus en 2017. Le pourcentage d'occurrences de localisations a été calculé pour chaque caribou selon des classes de valeurs de l'IQH. Afin de comparer la présence et l'importance de chaque classe d'IQH, le pourcentage de superficie occupée par les classes d'IQH a été également calculé.

Tableau 8. Nombre total d'individus et de localisations obtenues par collier GPS selon les regroupements d'années lors des périodes de la mise bas (du 5 avril au 6 juin, 63 jours), été (du 7 juin au 12 septembre, 98 jours), de la reproduction (du 13 septembre au 20 octobre, 38 jours) et automne-hiver (du 21 octobre au 4 avril, 166 jours), utilisé pour l'objectif de l'utilisation de l'habitat par la population boréale de caribous des bois (*Rangifer tarandus caribou*), aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.

Nombre total	Périodes							
	Automne-hiver	Été	Mise bas	Reproduction	Automne-hiver	Été	Mise bas	Reproduction
	2010 à 2012				2016 à 2017			
Localisations	1514	411	615	209	543	494	322	149
Individus	12	3	9	3	6	5	7	2

4. Résultats

4.1. Déplacements des individus

Cette section présente les déplacements parcourus par 33 caribous boréaux suivis entre 2005 et 2017 dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest au Canada.

Les distances moyennes journalières parcourues par les caribous sont plus élevées lors des périodes été et de la reproduction, avec des valeurs respectives moyennes de 2,4 et de 2,8 km et médianes de 2,3 et de 2,8 km (Figure 11). La distance parcourue la plus élevée est de 5,2 km durant la période de la reproduction, puis de 4,8 km lors de la période été. Les distances moyenne et médiane les plus basses sont lors de la période automne-hiver avec des distances respectives de 1,3 et 1,2 km. Des valeurs hors normes sont retrouvées à certaines périodes. Pour la période été, cette valeur est de 6,5 km, pour la période de la mise bas elle est de 3,9 km et pour la période automne-hiver, ces valeurs sont de 2,6, 3,2 et 3,4 km. Ces distances hors normes représentent des valeurs éloignées de la distribution normales.

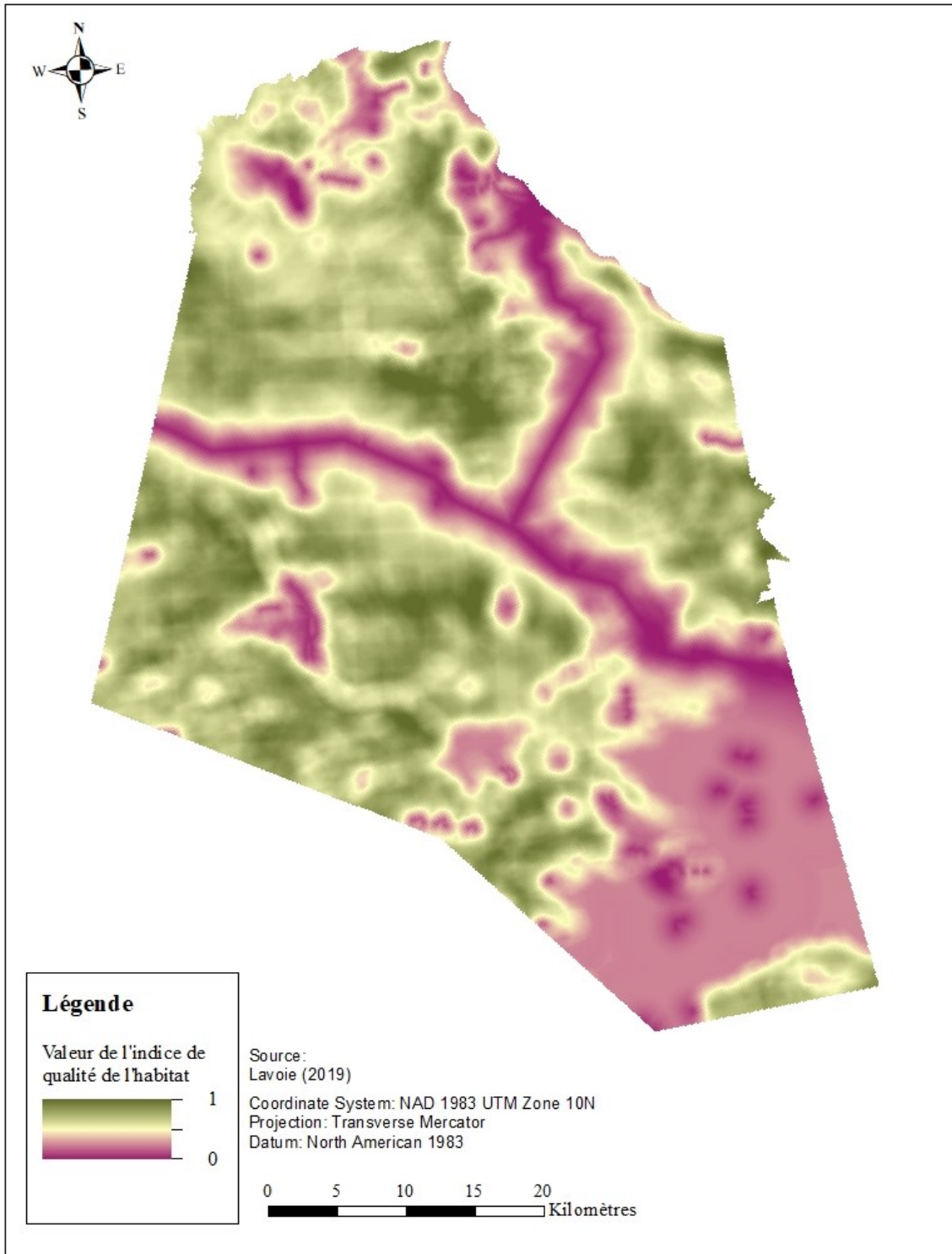


Figure 10. Valeurs de l'indice de qualité de l'habitat pour la population boréale de caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) de la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada, modifiée de Lavoie (2019).

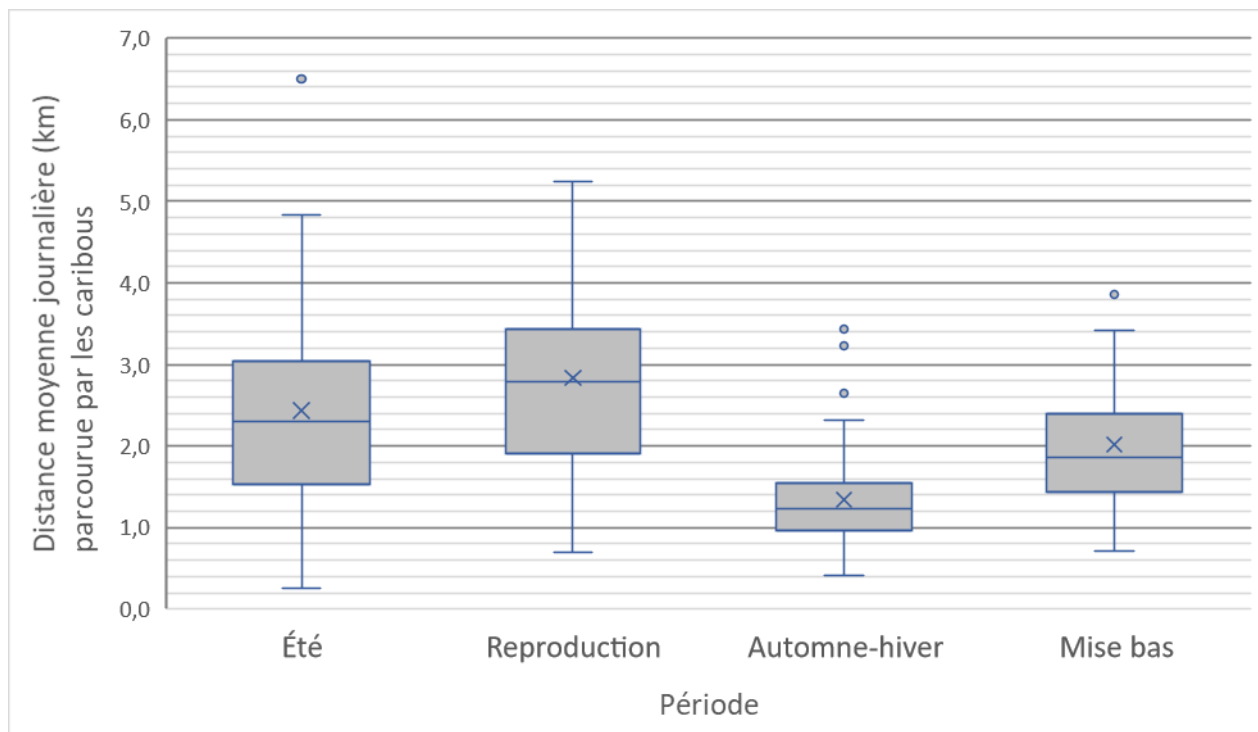


Figure 11. Distance moyenne journalière (km) parcourue par individu par la population boréale de caribous des bois (*Rangifer tarandus caribou*), lors des périodes été (du 7 juin au 12 septembre, 98 jours), de la reproduction (du 13 septembre au 20 octobre, 38 jours) automne-hiver (du 21 octobre au 4 avril, 166 jours) et de la mise bas (du 5 avril au 6 juin, 63 jours), entre 2005 et 2017 dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada. Sur le diagramme de quartiles, la barre inférieure correspond à la valeur minimale, la barre située au milieu du rectangle correspond à la médiane, la lettre x correspond à la moyenne et la barre supérieure correspond à la valeur normale la plus élevée. Les valeurs hors normes sont représentées par des points. Les valeurs maximales sont considérées hors normes lorsqu'elles sont supérieures à la valeur de l'équation suivante; valeur du quartile 3 + 1,5*écart interquartile.

4.2. Utilisation de l'habitat

Pour l'ensemble des périodes et des années, les occurrences de localisations de caribous les plus basses sont inférieures à 10 % et se retrouvent dans les classes de végétation mixte, tourbière à arbustes, sol nu et feu et autres (Figure 12). Les classes conifère et tourbière à mousses ont les occurrences les plus élevées, avec des valeurs variant respectivement de 18 à 60 % et de 29 à 73 %. Toutes années confondues, l'occurrence la plus élevée est de 73 % dans la classe tourbière à mousses lors de la période automne-hiver.

Pour l'ensemble des années, les tendances d'occurrences sont similaires pour les périodes été et de la mise bas, avec des valeurs les plus élevées dans la classe conifère, suivi de tourbière à mousses.

Durant les périodes automne-hiver et de la reproduction, cette tendance n'est pas observée, puisque les occurrences les plus élevées se retrouvent dans la classe conifère durant les années 2010 à 2012 et dans la classe tourbière à mousses durant les années 2016 à 2017. Les autres classes présentent des valeurs variables selon les années.

Durant les années 2010 à 2012, les occurrences de localisations les plus élevées pour l'ensemble des périodes sont dans la classe conifère, puis la classe tourbière à mousses. Lors des périodes automne-hiver, 49 % des occurrences sont dans la classe conifère et 44 % dans la classe tourbière à mousses, soit une différence de seulement 5 %. Cette différence est de 11 % lors de la période de la reproduction, avec 51 % des occurrences liées à la classe conifère et 40 % à la classe tourbière à mousses. Cette tendance est également observable lors des périodes été et de la mise bas, avec des différences d'occurrences respectives plus importantes de 32 et 21 %. Lors de la période été, 60 % des occurrences sont retrouvées dans la classe conifère et 29 % dans la classe tourbière à mousses. Durant la période de la mise bas, les occurrences de ces classes sont respectivement de 55 % et 34 %. Les occurrences dans la classe autres sont retrouvées seulement lors des périodes automne-hiver et de la mise bas et ont des valeurs de 1 % ou moins. Hormis les classes autres et sol nu/feu, les occurrences dans la classe mixte sont les plus basses, avec des valeurs de moins de 6 % durant l'ensemble des périodes.

Pour les années 2016 et 2017, l'occurrence de localisations maximale a une valeur de 73 % et est retrouvée dans la classe de la tourbière à mousses durant la période automne-hiver. Durant les périodes été et de la mise bas, la classe conifère a les occurrences les plus élevées, avec des valeurs respectives 41 et 45 %. La classe tourbière à mousses suit avec des occurrences respectives de 37 et 41 %. Lors de la période de la reproduction, 59 % des occurrences sont observées dans la classe tourbière à mousses. Les différences d'occurrences entre les deux principales classes lors des périodes automne-hiver et de la reproduction sont respectivement de 55 et 30 %. Les occurrences associées à la classe sol nu/feu sont les plus élevées durant la période été.

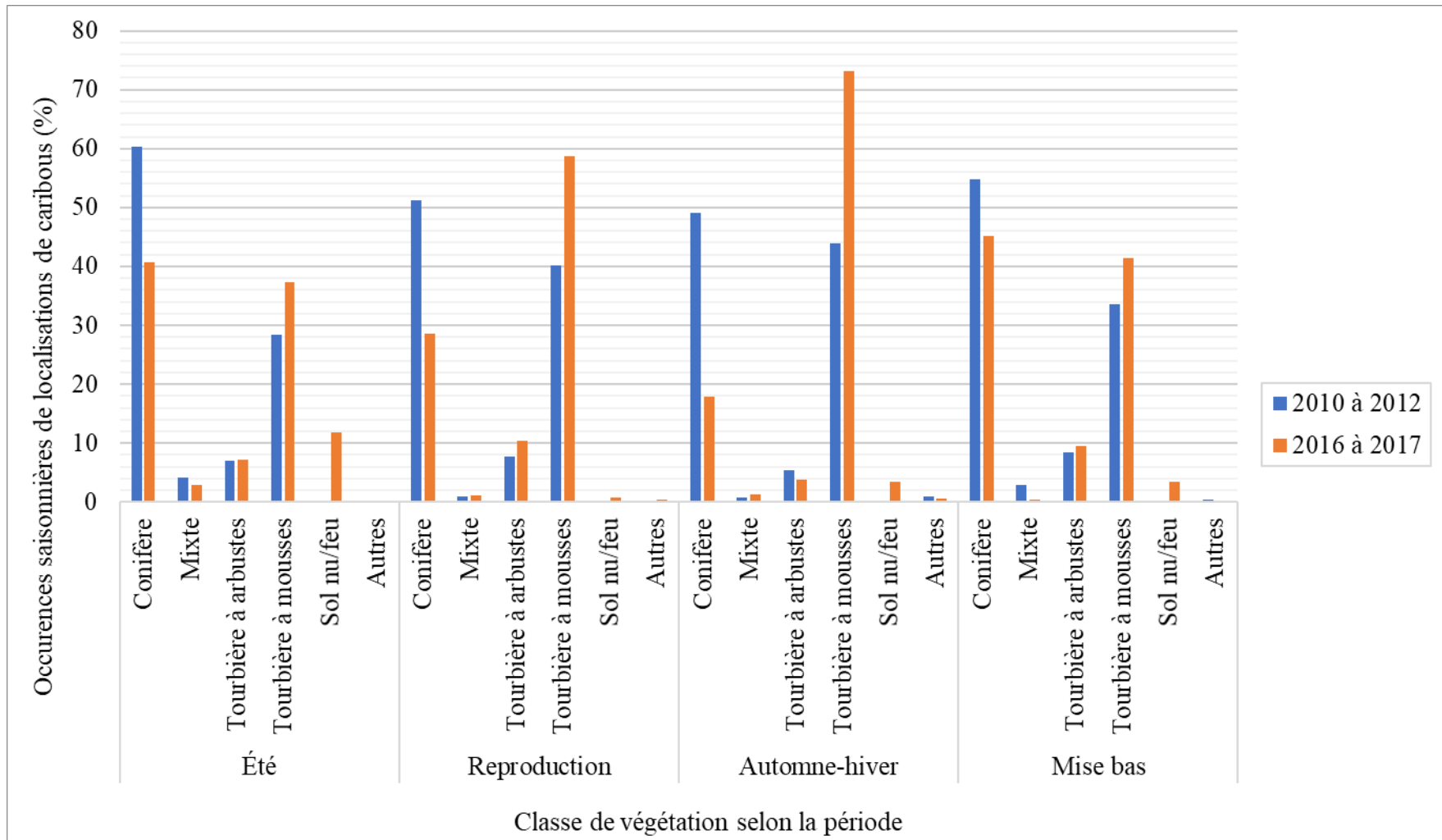


Figure 12. Pourcentage d'occurrences de localisations de la population boréale de caribous des bois (*Rangifer tarandus caribou*) pour les périodes été (du 7 juin au 12 septembre, 98 jours), de la reproduction (du 13 septembre au 20 octobre, 38 jours) automne-hiver (du 21 octobre au 4 avril, 166 jours) et de la mise bas (du 5 avril au 6 juin, 63 jours) selon la classe de végétation et les années, dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada. La classe sol nu/feu est présente pour les années 2016 à 2017 seulement.

4.3. Validation de l'indice de qualité de l'habitat

L'individu 221 a le plus d'occurrences de localisations avec une valeur de 30 % dans la classe de valeurs d'IQH de 0,65 à 0,74 (Figure 13). En général, les occurrences augmentent graduellement à partir de la classe de plus basse valeur jusqu'à la classe de 0,55 à 0,64, puis diminuent plus rapidement jusqu'à la classe de valeurs maximale. Moins de 10 % des occurrences sont retrouvées dans les classes de 0,00 à 0,34 et de 0,85 à 1,00.

Les occurrences de localisations du caribou 221 augmentent progressivement à partir de la classe la plus basse jusqu'à un maximum de 30 % à la classe de valeurs d'IQH 0,65 à 0,74, puis diminuent à moins de 15 % dans les classes supérieures. Les occurrences de localisations les plus élevées concordent avec la classe de valeurs d'IQH qui a la plus grande superficie. Au total, 50 % des occurrences sont retrouvées dans les classes de 0,55 à 0,74. Moins de 1 % des occurrences sont observées dans les classes de 0,85 à 1,00 et aucune n'est associée à la classe de 0,00 à 0,04. Seulement 16 % des occurrences sont observées dans les classes égales ou supérieures à 0,75.

Les occurrences de localisations du caribou 239 augmentent également progressivement jusqu'à une occurrence maximale de 29 % à la classe de valeurs d'IQH de 0,55 à 0,64, puis diminuent à moins de 15 % d'occurrences dans les classes supérieures. Au total, 54 % des occurrences sont retrouvées dans les deux principales classes de 0,45 à 0,64. Moins de 1 % des occurrences sont observées dans les classes 0,00 à 0,14 et 0,95 à 1,00. Au total, 7 % des occurrences sont dans les classes supérieures ou égales à 0,75.

Les mêmes tendances d'augmentation et de diminution des occurrences de localisations sont observées pour le caribou 249. Les occurrences maximales sont de 26 % dans la classe de valeurs d'IQH de 0,55 à 0,64. Au total, 43 % des occurrences sont observées dans les deux principales classes, soit entre 0,55 et 0,84. Les classes de 0,00 à 0,04 et de 0,95 à 1,00 ont moins de 1 % des occurrences. Moins de 14 % des occurrences sont retrouvées dans les classes égales ou supérieures à 0,75.

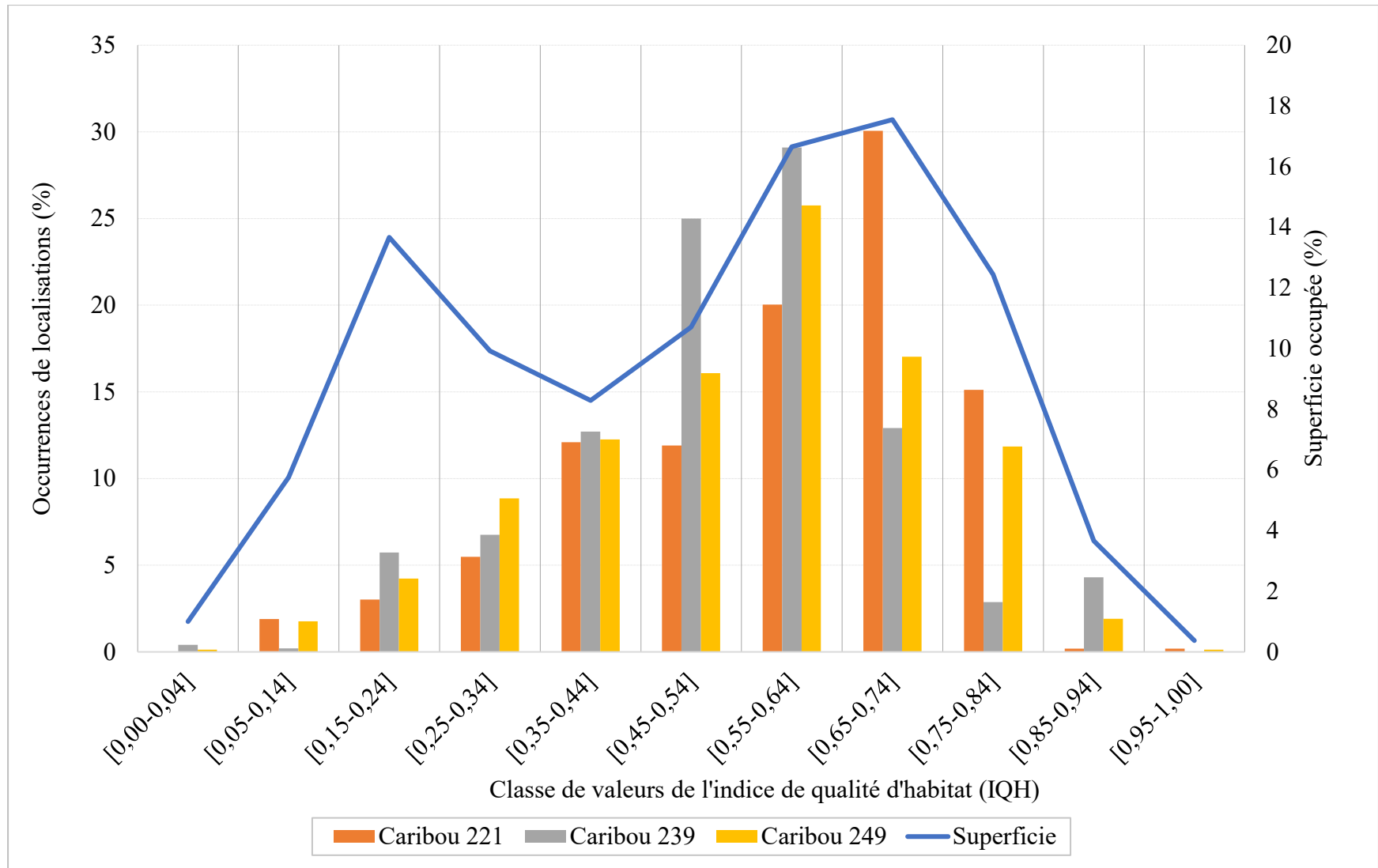


Figure 13. Pourcentage d'occurrences de localisations de la population boréale des caribous des bois (*Rangifer tarandus caribou*) n° 221, 239 et 249 en 2017 et pourcentage de superficie occupée pour les classes de valeurs de l'indice de qualité de l'habitat (IQH) dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest, Canada.

Généralement, la tendance des superficies occupées par les classes de valeurs d'IQH est bimodale. Le mode principal est associé aux classes de 0,65 à 0,74 avec 18 % des superficies, puis de 0,55 à 0,64 avec 17 % des superficies. Le deuxième mode possède 14 % des superficies et est associé à la classe de 0,15 à 0,24. Les classes de 0,00 à 0,14, de 0,25 à 0,44 et de 0,85 à 0,94 représentent 10 % ou moins des superficies. Les classes de valeurs les plus basses et les plus élevées, soit respectivement de 0,00 à 0,04 et de 0,95 à 1,00, ont des superficies égales ou inférieures à 1 %.

À l'exception des classes de valeurs de 0,15 à 0,34, les occurrences de localisations de caribous suivent les superficies présentes par les classes de valeurs d'IQH. Les occurrences de localisations les plus importantes concordent également avec les plus grandes superficies occupées par les classes d'IQH.

5. Discussion

L'objectif principal de cet essai est d'analyser l'utilisation saisonnière par la population boréale du caribou des bois dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest au Canada. Le premier objectif spécifique est de décrire les déplacements des individus de 2005 à 2017. Le second est de déterminer l'utilisation de l'habitat selon les déplacements saisonniers des individus et la végétation présente en 2011 et 2017. Finalement, le troisième est de valider un indice de qualité de l'habitat pour la population boréale du caribou des bois préalablement développé. L'ensemble des objectifs ont été atteints.

5.1. Déplacements des individus

Cette section présente la discussion des résultats des déplacements effectués par 33 caribous des bois suivis entre 2005 et 2017 dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest. Selon les résultats de notre étude, le caribou boréal est plutôt sédentaire et limite ses déplacements selon la saison. Comparativement aux résultats de déplacements par le caribou boréal du Dehcho présentés par Nagy (2011), les résultats observés lors de notre étude ne suivent pas totalement les mêmes tendances. Même si Nagy (2011) a utilisé plus de périodes lors de son étude, il est possible de comparer nos résultats. En combinant les valeurs de déplacements des sous-périodes de son étude pour former les mêmes quatre périodes que notre étude, on obtient une moyenne de ses résultats. Selon les résultats observés par Nagy (2011), les déplacements moyens journaliers des caribous sont les plus élevés lors de la période été et de la reproduction et sont les plus bas lors des

périodes automne-hiver et de la mise bas. Cependant, les résultats observés lors de notre étude montrent que le caribou ne réduit pas ses déplacements durant la période été et que les déplacements n'atteignent pas leur maximum durant l'hiver. Les déplacements sont le résultat d'un processus dynamique qui peut être influencé par plusieurs variables (Van Beest *et al.*, 2010). Les variables potentielles seront expliquées dans cette section.

Dans notre étude, des variations dans les déplacements sont observables entre les saisons. Ces dernières peuvent être associées aux changements dans la distribution et la disponibilité des ressources à travers les différentes périodes. Selon nos résultats, les déplacements des caribous atteignent un maximum durant la période été (7 juin au 12 septembre) et un minimum durant la période automne-hiver (21 octobre au 4 avril). Cette différence pourrait être attribuée à la variation périodique de la disponibilité et la distribution des ressources. Selon Van Beest *et al.*, 2010, les changements de saison entraînent une variation de la distribution et de la disponibilité des ressources, ce qui influence les déplacements de la faune lors de son choix d'habitat. Cette variation qui affecte la disponibilité des ressources et les déplacements de la faune peut être attribuée à la température, l'épaisseur de la neige et les averses de pluie (Ferguson *et al.*, 1999, Morellet *et al.*, 2013).

Durant l'été, la disponibilité et la distribution des ressources sont optimales. Les déplacements élevés durant cette période suggèrent que les caribous ont tendance à effectuer de plus grands déplacements afin d'accéder à des ressources de meilleure qualité lorsqu'elles sont disponibles. En revanche, la période automne-hiver est associée à la sénescence des végétaux et à la disponibilité limitée des ressources. Les faibles déplacements de cette période suggèrent que les caribous limitent leurs déplacements lorsque les ressources disponibles sont équivalentes dans l'ensemble du paysage. En effet, ils éviteront de se déplacer si les habitats aux alentours n'offrent pas de ressources de meilleure qualité ou en plus grande quantité (Viana *et al.*, 2018). De plus, pendant la période automne-hiver, l'accès aux ressources plus ardu et les conditions environnementales plus intenses imposent une demande énergétique plus élevée. Par exemple, la présence de neige contraint les caribous à réduire leurs déplacements dans un espace plus restreint de l'habitat. Durant l'hiver, la conservation de l'énergie corporelle est plus importante pour les caribous, ce qui impose une réduction de leurs déplacements. Il est intéressant de souligner que lors de son étude sur le caribou boréal du sud des Territoires du Nord-Ouest dont le Dehcho, Nagy (2011) a observé le

déplacement moyen journalier le plus élevé pendant de la période fin automne (du 21 octobre au 30 novembre), soit de 5,0 km, et le plus faible pendant la période fin hiver (du 16 mars au 4 avril), soit de 1,4 km. Cette variation importante dans les déplacements liée à une résolution temporelle plus fine pourrait mettre en évidence les changements biotiques, comme la sénescence végétale et abiotiques et l'augmentation de l'épaisseur de neige qui perturbent la disponibilité et la distribution des ressources et rendent les déplacements plus ardues. La résolution plus grossière de la période automne-hiver de notre étude qui inclut quatre périodes de l'étude de Nagy (2011), fournit une valeur plus globale. Cependant, lorsque les déplacements sur des périodes plus grossières équivalentes sont comparés, les tendances sont similaires.

Les faibles déplacements observés lors de la période de la mise bas (du 5 avril au 6 juin) pourraient être liés au fait que l'ensemble des individus suivis lors de cette étude étaient des femelles. La gestation, la mise bas et l'allaitement imposent une demande énergétique importante chez les femelles. Les faibles déplacements pourraient être associés aux femelles qui ont mis bas et sont accompagnées d'un petit. Les femelles vont restreindre leurs déplacements (Myysterud *et al.*, 2001) afin de surveiller et nourrir leurs petits pour maximiser leur succès de survie (Bleich *et al.*, 1997). À l'intérieur de cette période, la présence de déplacements plus élevés pourraient indiquer que certaines femelles n'étaient pas gestantes, qu'il y a eu la mortalité de certains faons ou que les déplacements ont été effectués juste avant la mise bas. Si cette étude avait inclus des caribous mâles, l'observation d'une plus grande variation dans les déplacements à l'intérieur de cette période aurait pu être possible. Pour le mâle, l'absence de soins aux petits, son métabolisme énergétique plus élevé et le fait qu'il soit moins affecté par les prédateurs lui permettent d'augmenter le temps consacré à la recherche de ressources et aux déplacements (Myysterud *et al.*, 2001).

Les déplacements sont parmi les plus importants lors de la période de la reproduction (du 13 septembre au 20 octobre) comme observés aux mêmes dates par Nagy (2011). La reproduction entraîne une variation dans les mouvements lors de la saison du rut (Dahle and Swenson, 2003). Les déplacements peuvent être modulés par des interactions biotiques. Ces dernières incluent l'interaction sociale entre individus de la même espèce, dont celle liée à la dynamique d'un groupe et celle associée à la territorialité (Börger *et al.*, 2008). Lors de cette période, l'importance des déplacements pourrait être due au fait que les femelles parcourent de plus grandes distances afin

de trouver un partenaire ou qu'elles suivent les mâles qui se déplacent davantage pour protéger et conquérir un territoire.

5.2. Utilisation de l'habitat

Cette section présente la discussion des résultats de l'utilisation de l'habitat par 17 caribous des bois suivis de 2010 à 2012 et de 2016 à 2017 dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest.

Conformément aux connaissances existantes, les caribous fréquentent plus souvent les classes de végétation de conifères et les tourbières à mousses. Pour l'ensemble des années, ces classes sont généralement 2 à 3 fois plus occupées que les autres classes, qui sont peu fréquentées. Ces résultats suggèrent que les caribous occupent les peuplements selon la disponibilité des ressources. Comme observé par Nagy (2011), les habitats les plus utilisés se résument à des peuplements offrant une abondance de lichen avec un couvert faible à modéré à proximité de tourbières. Les classes conifère et tourbières à mousses offrent plusieurs ressources recherchées par le caribou boréal. Ces préférences de classes de végétation pourraient également suggérer que les superficies disponibles sont assez importantes pour que les femelles limitent la densité entre elles et avec les autres espèces proies. En effet, les caribous boréaux femelles sélectionnent les habitats où la densité de femelles ou d'autres ongulés est faible, plutôt qu'un habitat spécifique (Nagy, 2011).

Conformément à la littérature, les caribous utilisent très peu les classes de végétation mixte, tourbière à arbustes, sol nu et feu (Joly *et al.*, 2007). C'est en 2016 à 2017 que la classe sol nu et feu est la plus fréquentée. Étant donné l'historique de la région (voir Figure 8 section 3.1), plusieurs secteurs des zones d'étude et adjacents ont été affectés par des feux de forêt entre 2014 et 2016. La plus grande superficie de ces classes de végétation a forcément obligé les caribous à utiliser ces milieux habituellement évités. Conformément aux résultats de Nagy (2011), les femelles évitent les milieux récemment perturbés, par exemple par le feu, car le lichen a disparu. Le caribou pourrait plutôt utiliser ses peuplements comme milieux de transition lorsqu'il se déplace entre deux peuplements plus favorables. Il pourrait également éviter ces peuplements afin de réduire ses chances de prédation. En effet, ces peuplements sont fréquentés par d'autres espèces proies, ce qui attire certains prédateurs. Par exemple, l'orignal est une espèce proie qui fréquente les peuplements mixtes. Dans d'autres régions du Canada, le cerf de virginie peut constituer une telle espèce proie

puisque'il est adapté à divers milieux, dont les peuplements mixtes et ceux récemment perturbés (Gouvernement du Canada, 2019). En évitant les milieux à forte densité d'ongulés, le caribou boréal limite ainsi son exposition aux prédateurs (Nagy, 2011).

Pour les années 2016 et 2017, les classes de végétation les plus fréquentées varient selon la période. Les changements dans la distribution et la disponibilité des ressources dans le paysage, par exemple lors des saisons, peuvent influencer l'habitat sélectionné par un individu (Van Beest *et al.*, 2010). Durant la période automne-hiver, contrairement aux résultats de Nagy (2011) et du Gouvernement du Canada (2019) où le milieu forestier avec couvert a une occupation plus élevée, la classe de tourbière à mousses est trois fois plus fréquentée que les autres classes dans notre étude. Le patron d'utilisation d'un habitat peut être influencé par les caractéristiques d'un individu, surtout en hiver. La différence plus importante dans le patron d'utilisation en hiver peut être due aux réactions d'un individu face aux conditions hivernales (Viana *et al.*, 2018). Ces derniers peuvent utiliser les tourbières à mousses plus fréquemment lors de leur recherche de lichens. Ces milieux, plus exposés au vent que ceux couverts, offrent une plus faible profondeur de neige et facilite l'accès aux lichens (Gouvernement du Canada, 2019). Étant donné qu'une plus grande portion de la zone d'étude a été atteinte par des feux de forêt et offrait un milieu ouvert exposé au vent, les individus ont pu privilégier ces milieux lors de la recherche alimentaire. Durant les périodes été et de la mise bas, la classe conifère est la plus importante, mais elle est suivie de près par la classe tourbière à mousses. Comme mentionné par le Gouvernement du Canada (2019), la combinaison de milieux couverts et à découvert joue un rôle important dans la survie lors de la mise bas. Ces milieux offrent une protection contre les prédateurs ainsi que des ressources alimentaires abondantes et diversifiées. Lors de la période de la reproduction, la classe tourbière à mousses est fréquentée près de deux fois plus que la classe conifère. Ce milieu offre du lichen terricole et des carex recherchés par les caribous (Gouvernement du Canada, 2019).

5.3. Validation de l'indice de qualité de l'habitat

Cette section présente la discussion des résultats pour la validation de l'indice de qualité de l'habitat selon l'utilisation de l'habitat par trois caribous des bois de la population boréale en 2017 dans la région de Jean Marie River aux Territoires du Nord-Ouest.

En général, les caribous semblent effectuer une sélection du peuplement plutôt qu'une sélection aléatoire. Si la sélection avait été aléatoire, les caribous auraient occupé les classes de végétation simplement selon les superficies disponibles. Cependant, nos résultats indiquent que les caribous fréquentent les classes de végétation selon sa superficie, mais également sa valeur d'IQH. Selon les résultats, plus un peuplement a une valeur d'IQH et une superficie élevées, plus il sera fréquenté par les caribous. Ainsi, on observe très peu d'occurrences de caribous dans les classes de végétation avec des valeurs d'IQH élevées, car peu de superficies sont disponibles. De la même façon, les caribous occupent très peu les peuplements avec des valeurs d'IQH basses malgré leurs superficies élevées, puisque des classes de végétation de valeurs d'IQH supérieures et de grandes superficies sont disponibles. Ainsi, les caribous ont tendance à sélectionner les classes de végétation avec la valeur d'IQH la plus élevée possible, à condition qu'ils soient de grandes superficies. De plus, le mode des occurrences de caribous et celui des superficies ont des valeurs d'IQH identiques. En somme, les tendances d'occurrences de localisations et de superficies selon les valeurs d'IQH semblent valider la pertinence de l'IQH développé par Lavoie (2019).

En général, les caribous 221 et 249 occupent les classes de végétation selon sa valeur de l'IQH et sa superficie présente. Effectivement, malgré la présence de classes de végétation de valeurs d'IQH supérieures, l'individu 239 occupe plus souvent les classes de végétation de valeurs d'IQH moyennes. Cependant, comparativement aux autres, cet individu occupe le plus souvent les classes de végétation avec des valeurs d'IQH les plus élevées. La sélection d'habitats est un processus complexe qui peut être affecté par plusieurs variables aléatoires, comme le climat ou la prédation (Crête, 2003). Ainsi, les différences entre les individus pourraient être associées à des variables qui n'ont pas pu être prises en compte dans la création de l'IQH. Ces différences pourraient être également dues à des stratégies comportementales spécifiques aux individus. Par exemple, un individu pourrait être plus enclin à utiliser des habitats moins favorables si des habitats de meilleure qualité sont à proximité. À l'opposé, un individu pourrait favoriser un habitat de qualité moyenne, mais qui est plus sécuritaire. Certains caribous font des compromis entre l'abondance d'une ressource et son accessibilité, ce qui crée un équilibre entre le besoin de s'alimenter et l'énergie nécessaire pour y accéder (Mayor *et al.*, 2009).

L'IQH élaboré par Lavoie (2019) pourrait être plus pertinent selon les périodes. Effectivement, selon Nagy (2011), le comportement des caribous face aux infrastructures humaines peut varier

selon la période. Lors de son étude, cet auteur a observé que certaines sous-populations de caribous modifiaient leur comportement, comme l'évitement des lignes sismiques, lors des périodes de vulnérabilités face aux prédateurs et aux chasseurs. Ainsi, le poids relatif attribué aux infrastructures humaines pourrait être plus élevé lorsque les femelles et leurs petits sont plus vulnérables.

5.4. Impacts des changements climatiques

Même si cette étude ne permet pas de faire des liens directs des impacts des changements climatiques sur l'utilisation de l'habitat par le caribou boréal, il est possible d'observer certains changements. Par exemple, des différences globales d'utilisation des classes de végétation sont observées entre deux périodes. Entre 2010 à 2012, les caribous ont principalement occupé les classes de végétation conifère. Cependant, entre 2016 à 2017, les caribous ont majoritairement fréquenté la classe tourbière à mousses pendant les périodes automne-hiver et de la reproduction et de façon équivalente la classe tourbières à mousses et conifère pendant les périodes été et de la mise bas. Ces différences d'utilisation pourraient être attribuées aux changements de végétation. Lors de son analyse spatiotemporelle de la végétation, Lavoie (2019) a observé des changements dans les superficies occupées par chaque classe. Par exemple, à cause des feux de forêt, 20 % de la classe conifère, 10 % de la classe mixte et tourbière à mousse et 5 % de la classe tourbière à arbustes retrouvées entre 2010 et 2012 sont devenues la classe sol nu et feu lors de son analyse de 2016 à 2017. Les caribous ont potentiellement fréquenté cette classe plus souvent entre 2016 et 2017 simplement parce que sa superficie était plus grande. Cette occupation plus élevée suggère que les caribous étaient contraints, d'une façon ou d'une autre, à utiliser cette classe, même si c'était comme milieu de transition seulement. À cause des changements climatiques, plusieurs variations de phénomènes aléatoires, comme les feux de forêt, les sécheresses, les insectes ravageurs, les maladies et les changements de peuplements sont prédits (Gouvernement du Canada, 2019). Ces phénomènes ont le potentiel de transformer les peuplements préférentiels pour le caribou boréal comme les peuplements de conifères, en milieux généralement évités comme les milieux plus ouverts. Une des stratégies contre les prédateurs est l'évitement des milieux brûlés. Advenant que les changements climatiques contribuent à l'augmentation des feux de forêt comme prédit dans les milieux nordiques, les stratégies comportementales pourraient désavantager les caribous boréaux ou les forcer à changer de stratégie (Gouvernement du Canada, 2019). De plus, selon Lavoie

(2019), la transformation de près de 10 % de la classe conifère vers la classe tourbière à mousses pourrait être attribuée au dégel du pergélisol. Or, ce dégel défavorise la présence de lichens en faveur de la mousse. Étant donné que la majorité de l'habitat du lichen est situé sur le pergélisol (Calmels *et al.*, 2014a), les superficies de peuplements peu favorables aux caribous boréaux pourraient augmenter. Même si elle n'est pas très marquée, la présence de variabilité de l'utilisation des classes de végétation à travers les différentes périodes montre l'importance de conservation d'une variété de peuplements, que ce soit pour la recherche de ressources, la mise bas ou pour l'évitement des peuplements à forte densité d'autres espèces proies. Par exemple, les caribous se synchronisent dans un délai plus réduit lorsqu'ils doivent mettre bas en milieux ouverts en présence de prédateurs comparativement aux caribous boréaux qui le fait sur un délai plus long (Nagy, 2011). Ainsi, la perturbation des milieux forestiers par l'augmentation des feux de forêt pourrait accroître les habitats ouverts et désavantager les stratégies de la reproduction du caribou boréal. Selon Nagy (2011), la connaissance des habitats et leur état qui sont favorables à la stratégie contre les prédateurs sont des facteurs clés de la survie à long terme du caribou boréal.

5.5. Limites méthodologiques de l'essai

Étant donné les impacts attendus des changements climatiques sur l'écologie des caribous, il pourrait être pertinent de réduire la résolution temporelle afin de mieux cerner les changements au fil du temps. Par exemple, Nagy (2011) a observé huit périodes distinctes d'activités chez le caribou boréal alors que cette étude en utilise seulement quatre. Étant donné que le nombre de périodes d'activités change selon les écotypes (Nagy, 2011), la définition des activités doit être la plus précise possible à l'unicité de cette sous-population locale.

Certaines années, aucun nouveau collier n'a été installé à la demande de la communauté de Jean Marie River. L'absence de localisations ne veut donc pas nécessairement indiquer l'absence d'individus ou d'utilisation de ces zones. Or, un nombre suffisant de colliers doit être installé et utilisé sur une longue durée afin de pouvoir obtenir une résolution acceptable (Nagy, 2011). Par exemple, les localisations de seulement trois individus ont pu être analysées pour la validation de l'IQH. Une analyse avec un plus grand nombre d'individus offrirait un meilleur échantillon de la population. De plus, la fréquence de localisations de caribous plus élevée lors de la mise bas pourrait induire une surestimation de l'utilisation de certaines classes de végétation étant donné que moins de données sont disponibles pour les autres périodes. Des analyses statistiques

pourraient préciser la signification des résultats et de l'interprétation. Finalement, il est évident que plusieurs autres variables non incluses pourraient permettre de raffiner l'ensemble de l'analyse des données et de l'interprétation des résultats de cet essai. De ce nombre, on pourrait ajouter les données de localisations des prédateurs connus des caribous, les observations visuelles et les dénombrements volontaires par la communauté.

6. Conclusion

Cette étude a permis de décrire les tendances de déplacements journaliers saisonniers par la population boréale de caribous des bois aux Territoires du Nord-Ouest, au Canada, de 2005 à 2017. Elle a également permis de déterminer l'habitat préférentiel grâce à l'étude de leur utilisation saisonnière de classes de végétation entre 2010 et 2012 et entre 2016 et 2017. De plus, elle a permis de valider un IQH développé dans une précédente étude. Ainsi, les résultats permettent de mieux décrire les caractéristiques entourant les besoins de cette population selon son cycle vital, en vue de mieux supporter la conservation de cette population face aux changements climatiques. Finalement, cette étude permet d'évaluer l'impact des changements de classe de végétation sur l'utilisation de l'habitat par le caribou boréal.

Deux limites principales peuvent être identifiées dans cette étude. Premièrement, les données de localisations de seulement sept caribous ont été utilisées lors de l'analyse de l'utilisation saisonnière de l'habitat et de seulement trois caribous lors de la validation de l'IQH. Ces faibles nombres d'individus limitent la possibilité d'étendre les conclusions liées aux résultats à l'ensemble de la population retrouvée à Jean Marie River. Une approche pour contrer cette problématique serait d'augmenter la superficie étudiée aux territoires adjacents qui possèdent les mêmes caractéristiques utilisées lors des analyses, comme les mêmes classes de végétations, afin de permettre l'ajout d'un plus grand nombre d'individus utilisant l'ensemble du territoire. Deuxièmement, l'absence de validation de la significativité par des tests statistiques ne permet pas de contrôler la qualité des résultats obtenus lors des analyses. L'interprétation des résultats pourrait ainsi être limitée.

Les interprétations de cette étude pourraient être bonifiées en introduisant plus de variables lors des analyses. Par exemple, Lamontagne (2009) suggère l'inclusion des conditions d'enneigement lors de modélisation spatio-temporelle. Étant donné les impacts limitatifs connus qu'engendre la

saison hivernale, l'ajout de cette variable pourrait améliorer la compréhension des variations saisonnières.

7. Références

Aguinis, H., Gottfredson, R. H. and Joo, H. (2013) Best-Practice Recommendations for Defining, Identifying, and Handling Outliers. *Organizational Research Methods*, vol. 16, no 2, p. 270-301.

Akerman, J. and Johansson, M. (2008) Thawing Permafrost and Thicker Active Layers in Sub-arctic Sweden. *Permafrost and Periglacial Processes*, vol. 19, no 3, p. 279-292.

Animal Diversity Web (2019) ADW: *Rangifer tarandus*: INFORMATION. in Taxon Information, University of Michigan, Ann Arbor, <https://animaldiversity.org/>.

Baltzer, J. L., Veness, T., Chasmer, L. E., Sniderhan, A. E. and Quinton, W. L. (2014) Forests on thawing permafrost: fragmentation, edge effects, and net forest loss. *Global Change Biology*, vol. 20, no 3, p. 824-834.

Beilman, D. (2001) Plant community and diversity change due to localized permafrost dynamics in bogs of western Canada. *Canadian Journal of Botany*, vol. 79, no 8, p. 983-993.

Bernes, C., Bråthen, K. A., Forbes, B. C., Speed, J. D. M. and Moen, J. (2015) What are the impacts of reindeer/caribou (*Rangifer tarandus* L.) on arctic and alpine vegetation? A systematic review. *Environmental Evidence*, vol. 4, no 4, p. 1-26.

Bleich, V. C, Bowyer, R. T. and Wehausen, J. D. (1997) Sexual segregation in mountain sheep: resources or predation? *Wildlife Monographs*, no 134, p. 3-50.

Börger, L., Dalziel, B. D. and Fryxell, J. M. (2008) Are there general mechanisms of animal home range behaviour? A review and prospects for future research. *Ecology Letters*, vol. 11, no 6, p. 637-650.

Bureau du vérificateur général du Canada (2017) Rapport et pétitions. in Accueil, Bureau du vérificateur général du Canada, Ottawa, <https://www.oag-bvg.gc.ca/>.

Callaghan, C., Virç, S. et Duffe, J. (2010) Tendances de la population boréale du caribou des bois au Canada. Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010, Rapport technique thématique no 11. Conseils canadiens des ministres des ressources, Ottawa, 41 p.

Callaghan, T. V., Björn, L. O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T. R., Huntley, B., Ims, R. A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G., Elster, J., Jónsdóttir, I. S., Laine, K., Taulavuori, K., Taulavuori, E. and Zöckler, C. (2004) Responses to Projected Changes in Climate and UV-B at the Species Level. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, vol. 33, no 7, p. 418-435.

Calmels, F., Laurent, C. and Ireland M. (2014a). Food security vulnerability assessment related to permafrost degradation in the Jean Marie River First Nation. Yukon College, préparé pour Aboriginal Affairs and Northern Development Canada, 90 p.

Calmels, F., Laurent, C. and Ireland M. (2014b). Land Cover Map of Jean Marie River – Summary Report. Document méthodologique, Yukon College, Yukon Research Centre, 6 p.

Conference of Management Authorities (2017) Recovery Strategy for the Boreal Caribou (*Rangifer tarandus caribou*) in the Northwest Territories. Species at Risk (NWT) Act Management Plan and Recovery Strategy Series. Environment and Natural Resources, Government of the Northwest Territories, Yellowknife, 57 p.

Couturier, S., Côté, S. D., Otto, R. D., Weladji, R. B. and Huot, J. (2009) Variation in calf body mass in migratory caribou: The role of habitat, climate, and movements. *Journal of Mammalogy*, vol. 90, no 2, p. 442-452.

Crête, M. (2003) Les modèles d'indice de qualité de l'habitat : des outils utiles pour la gestion de l'habitat de la faune forestière ? Société de la faune et des parcs du Québec, Direction du développement de la faune, Québec, 25 p.

Dahle, B. and Swenson, J. E. (2003) Seasonal range size in relation to reproductive strategies in brown bears *Ursus arctos*. *Journal of Animal Ecology*, vol. 72, no 4, p. 660-667.

Davidson, R., Simard, M., Kutz, S. J., Kapel, C. M. O., Hammes, I. S. and Robertson, L. J. (2011) Arctic parasitology: why should we care ? *Trends in Parasitology*, vol. 27, no 6, p. 238-244.

Dehcho First Nations (2020) Community. *in* Home, Dehcho First Nations, Fort Simpson, <https://dehcho.org/>.

Downes, C. M., Theberge, J. B. and Smith, S. M. (1986) The influence of insects on the distribution, microhabitat choice, and behavior of the Burwash caribou herd. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 64, no 3, p. 622-629.

Encyclopaedia Britannica (2019) Earth and Geography. *in* Encyclopaedia Britannica, Britannica Group, Inc., Chicago, <https://www.britannica.com/>.

Environment and Natural Resources (2019a) Boreal Caribou NWT Species at risk. *in* NWT Species at Risk, Government of the Northwest Territories, Yellowknife, <https://www.nwt-speciesatrisk.ca/>.

Environment and Natural Resources (2019b) Dehcho Boreal Caribou Study Progress Report, April 2019. Government of North-West Territories, Yellowknife, 46 p.

Environment and Natural Resources (2019c) NWT Dehcho Boreal Woodland Caribou Collar Locations 2005-2017. NWT Wildlife Management Information System, Government of the NWT, Yellowknife, NT.

Environment and Natural Resources (2019d) A Framework for Boreal Caribou Range Planning. Government of the Northwest Territories, Yellowknife, 87 p.

Environmental Protection Agency (2020) Research & Development. *in* EPA Home, United States Environmental Protection Agency, Washington, <https://www.epa.gov/>.

Environmental Systems Research Institute (2015) ArcGIS Desktop. Logiciel, version 10.6.1, ordinateur, Environmental Systems Research Institute, Redlands, logiciel en ligne.

Environnement Canada (2011) Évaluation scientifique aux fins de la désignation de l'habitat essentiel de la population boréale du caribou des bois (*Rangifer tarandus caribou*) au Canada, mise à jour 2011. Gouvernement du Canada, Ottawa, 116 p.

Environnement et Changement climatique Canada (2016). Document d'orientation sur les plans par aires de répartition du caribou des bois, population boréale. Loi sur les espèces en péril : Série de Politiques et de Lignes directrices. Environnement et Changement climatique Canada, Ottawa, 26 p.

Environnement et Ressources naturelles (2019) Environnement et ressources naturelles. *in* Accueil, Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Yellowknife, <https://www.gov.nt.ca/fr>.

Environnement et Ressources naturelles (2020a) Programmes et services. *in* Accueil, Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Yellowknife, <https://www.gov.nt.ca/fr>.

Environnement et Ressources naturelles (2020b) L'administration des terres. *in* Accueil, Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Yellowknife, <https://www.gov.nt.ca/fr>.

Faune et flore du pays (2019) Faune. *in* Faune et flore du pays, Fédération canadienne de la faune et Environnement et Changement climatique Canada, Kanata, <https://www.hww.ca/fr/>.

Ferguson, S., Taylor, M., Born, E., Rosing-Asvid, A. and Messier, F. (1999) Determinants of home range size for polar bears (*Ursus maritimus*). *Ecology Letters*, vol. 2, no 5, p. 311-318.

Forêts, Faune et Parcs Québec (2020) La faune. *in* Accueil, Forêts, Faune et Parcs Québec, Québec, <https://mffp.gouv.qc.ca/>.

Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (2020) Jean Marie River. *in* Home, Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Yellowknife, <https://www.gov.nt.ca/>.

Gouvernement du Canada (2019) Environnement et ressources naturelles. *in* Canada.ca, Gouvernement du Canada, Ottawa, <https://www.canada.ca/fr.html>.

Gouvernement du Canada (2020) Gouvernement ouvert. *in* Canada.ca, Gouvernement du Canada, Ottawa, <https://www.canada.ca/fr.html>.

Government of Northwest Territories (2018) Impacts of permafrost thaw and forest fires on boreal caribou habitat. *Northwest Territories Environmental Research Bulletin*, vol. 3, no 16, 2 p.

Hagemoen, R. I. M. and Reimers, E. (2002) Reindeer summer activity pattern in relation to weather and insect harassment. *Journal of Animal Ecology*, vol. 71, no5, p. 883-892.

Heggberget, T. M., Gaare, E. and Ball, J. (2002) Reindeer (*Rangifer tarandus*) and climate change: Importance of winter forage. *Rangifer*, vol. 22, no 1, p. 13-31.

Integrated Taxonomic Information System (2019) ITIS Standard Report Page: *Rangifer tarandus caribou*. *in* Home, Integrated Taxonomic Information System, Washington, <https://www.itis.gov/>.

Jean Marie River First Nation (2020) About. *in* Home, Jean Marie River First Nation, Jean Marie River, <https://jmrfn.com/>.

Jean Marie River First Nation and PACTeam Canada Inc. (2011) Impacts to the Health and Wellness of The Jean Marie River First Nation in the Face of a Changing Climate: Final report. Jean Marie River First Nation; report for Health Canada – Environmental Health Research Division, Jean Marie River, 73 p.

Jihyang, J., Yo, S., Kenji, O., Sungsu, K. and Sangdon, L. (2016) Developing and testing a habitat suitability index model for Korean water deer (*Hydropotes inermis argyropus*) and its potential for landscape management decisions in Korea. *Animal Cells and Systems*, vol. 20, no 4, p. 218-227.

Joly, K., Bente, P. and Dau, J. (2007) Response of Overwintering Caribou to Burned Habitat in Northwest Alaska. *Arctic*, vol. 60, no 4, p. 401-410.

Joly, K., Duffy, P. A. and Rupp, T. S. (2012) Simulating the effects of climate change on fire regimes in Arctic biomes: implications for caribou and moose habitat. *Ecosphere*, vol. 3, no 5, p. 1-18.

Kirkman, T. W. (2020) Display of Statistical Distribution. Stats. *in* Department of Physics, College of Saint Benedict & Saint John's University, Colleagueville, <http://www.physics.csbsju.edu/>.

Kurylyk, B. L., MacQuarrie, K. T. B. and McKenzie, J. M. (2014) Climate change impacts on groundwater and soil temperatures in cold and temperate regions: Implications, mathematical theory, and emerging simulation tools. *Earth-Science Reviews*, vol. 138, p. 313-334.

Kutz, S. J., Jenkins, E. J., Veitch, A. M., Ducrocq, J., Polley, L., Elkin, B. and Lair, S. (2009) The Arctic as a model for anticipating, preventing, and mitigating climate change impacts on host – parasite interactions. *Veterinary Parasitology*, vol. 163, no3, p. 217-228.

Lamontagne, P. (2009). Modélisation spatio-temporelle orientée par patrons avec une approche basée sur individus. Mémoire de maîtrise électronique, Montréal, École de technologie supérieure. 175 p.

Langlois, A., Johnson, C., Montpetit, B., Royer, A., Blukacz, E., Neave, E., Dolant, C., Roy, A., Arhonditsis, G., Kim, D.-K., Kaluskar, S. and Brucker, L. (2017) Detection of rain-on-snow (ROS) events and ice layer formation using passive microwave radiometry: A context for Peary caribou habitat in the Canadian Arctic. *Remote Sensing of Environment*, vol. 189, p. 84-95.

Latham, A. D. M., Latham, M. C., Mccutchen, N. A. and Boutin, S. (2011) Invading white-tailed deer change wolf–caribou dynamics in northeastern Alberta. *Journal of Wildlife Management*, vol. 75, no 1, p. 204-212.

Lavoie, A. (2019) Cartographie de la qualité de l'habitat pour le caribou boréal dans la région de Jean Marie River (Territoires du Nord-Ouest). Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 87 p.

- Leblond, M., Dussault, C. et St-Laurent, M.-H. (2014). Développement et validation d'un modèle de qualité d'habitat pour le caribou forestier *Rangifer tarandus caribou* au Québec. Préparé pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Université du Québec à Rimouski, 104 p.
- Mallory, C. D. and Boyce, M. S. (2018) Observed and predicted effects of climate change on Arctic caribou and reindeer. *Environmental Reviews*, vol. 26, no 1, p. 13-25.
- Mayor, S. J., Schaefer, J. A., Schneider, D. C. and Mahoney, S. P. (2009) The spatial structure of habitat selection: A caribou's-eye-view. *Acta oecologica*, vol. 35, no 2, p. 253-260.
- Morellet, N., Bonenfant, C., Börger, L., Ossi, F., Cagnacci, F., Heurich, M., Kjellander, P., Linnell, J. D. C., Nicoloso, S., Sustr, P., Urbano, F. and Mysterud, A. (2013) Seasonality, weather and climate affect home range size in roe deer across a wide latitudinal gradient within Europe. *Journal of animal ecology*, vol. 82, no 6, p. 1326-1339.
- Mysterud, A., Pérez-Barbería, F. and Gordon, I. (2001) The effect of season, sex and feeding style on home range area versus body mass scaling in temperate ruminants. *Oecologia*, vol. 127, no 1, p. 30-39.
- Nagy, J. A. S. (2011) Use of Space by Caribou in Northern Canada. Thèse de doctorat, University of Alberta, Edmonton, 164 p.
- Naturalis Biodiversity Center (2019) Catalogue of Life: *Rangifer tarandus* (Linnaeus, 1758). in Catalogue of Life, Species 2000 Secretariat, Leiden, <http://www.catalogueoflife.org/>.
- Northwest Territories Center for Geomatics (2019) Data. in Home, Government of the Northwest Territories, Yellowknife, <http://www.geomatics.gov.nt.ca/>.
- Osterkamp, T. (2007) Characteristics of the Recent Warming of Permafrost in Alaska. *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, no F2, 10 p.
- Parmesan, C. (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 37, no 1, p. 637-669.
- Poole, K., Gunn, A., Patterson, B. R. and Dumond, M. (2010) Sea ice and migration of the Dolphin and Union caribou herd in the Canadian Arctic: an uncertain future. *Arctic*, vol. 63, no 4, p. 414-428.
- Post, E., Bøving, P. S., Pedersen, C. and Macarthur, M. A. (2003) Synchrony between caribou calving and plant phenology in depredated and non-depredated populations. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 81, no 10, p. 1709-1714.
- Ressources naturelles Canada (2019) Nos ressources naturelles. in Accueil, Gouvernement du Canada, Ottawa, <https://www.rncan.gc.ca/accueil>.
- Seaman, D. E., Millspaugh, J. T., Kernohan, B. J. and Brundige, G. C. (1999) Effects of Sample Size on Kernel Home Range Estimates. *The Journal of Wildlife Management*, vol. 63, no 2, p. 739-747.

- Sharma, S., Couturier, S. and Côté, S. D. (2009) Impacts of climate change on the seasonal distribution of migratory caribou. *Global Change Biology*, vol. 15, no 10, p. 2549-2562.
- Simard, A.-A., Kutz, S., Ducrocq, J., Beckmen, K., Brodeur, V., Campbell, M., Croft, B., Cuyler, C., Davison, T., Elkin, B., Giroux, T., Kelly, A., Russell, D., Taillon, J., Veitch, A. and Côté S. D. (2016) Variation in the intensity and prevalence of macroparasites in migratory caribou: a quasi-circumpolar study. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 94, no 6, p. 607-617.
- Thomas, D. C. and Kiliaan, H. P. L. (1998) Fire-caribou relationships: (II) Fecundity and physical condition of the Beverly herd, 1980–87. Technical Report Series. No 310, Canadian wildlife service, Edmonton, 96 p.
- Tompkins, D. M., Dunn, A. M., Smith, M. J. and Telfer, S. (2011) Wildlife diseases: from individuals to ecosystems. *Journal of Animal Ecology*, vol. 80, no 1, p. 19-38.
- Toupin, B., Huot, J. and Manseau, M. (1996) Effect of insect harassment on the behaviour of the Rivière George caribou. *Arctic*, vol. 49, no 4, p. 375-382.
- Van Beest, F. M., Mysterud, A., Loe, L. E. and Milner, J. M. (2010) Forage quantity, quality and depletion as scale-dependent mechanisms driving habitat selection of a large browsing herbivore. *Journal of Animal Ecology*, vol. 79, no 4, p. 910-922.
- Veiberg, V., Loe, L. E., Albon, S. D., Irvine, R. J., Tveraa, T., Ropstad, E. and Stien, A. (2017) Maternal winter body mass and not spring phenology determine annual calf production in an Arctic herbivore. *Oikos*, vol. 126, no 7, p. 980-987.
- Viana, D. S., Granados, J. E., Fandos, P., Pérez, J. M., Cano-Manuel, F. J., Burón, D., Fandos, G., Aguado, M. A. P., Figuerola, J. and Soriguer, R. C. (2018) Linking seasonal home range size with habitat selection and movement in a mountain ungulate. *Movement Ecology*, vol. 6, no 1, p. 1-11.
- Weladji, R. B., Holand, Ø. and Almøy, T. (2003) Use of climatic data to assess the effect of insect harassment on the autumn weight of reindeer (*Rangifer tarandus*) calves. *Journal of Zoology*, vol. 260, no 1, p. 79-85.
- Yang, Z., Ouyang, H., Xu, X., Zhao, L., Ming-Hua, S. and Zhou, C.-P. (2010) Effects of permafrost degradation on ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, vol. 30, no 1, p. 33-39.
- Zajac, Z., Stith, B., Bowling, A. C., Langtimm, C. A. and Swain, E. D. (2015) Evaluation of habitat suitability index models by global sensitivity and uncertainty analyses: a case study for submerged aquatic vegetation. *Ecology and evolution*, vol. 5, no 13, p. 2503-2517.