Rapport Technique sur le Modèle Écologique Conceptuel du Caribou Boréal (*BROUILLON*)

Soumis au :

Secrétariat du Consortium National du Savoir sur le Caribou Boréal d'Environnement et Changement Climatique Canada

Proposé par :

Le Groupe de Travail sur la Restauration de l'Habitat du Consortium National du Savoir sur le Caribou Boréal

Résumé

La restauration de l'habitat devrait jouer un rôle clé dans le rétablissement du caribou des bois boréal (*Caribou Rangifer tarandus*) au Canada. Les déclins de population sont corrélés à la proportion d'aires de répartition touchées par des perturbations anthropiques et naturelles et l'inversion de ces impacts devrait profiter aux populations de caribous. Cependant, divers mécanismes entraînent des perturbations de l'habitat et ce jusqu'au déclin du caribou, et les effets de ces mécanismes diffèrent d'une aire de répartition à l'autre. La compréhension des voies écologiques à l'origine des relations observées peut éclairer la planification de la restauration en : 1) orientant les traitements vers les mécanismes spécifiques aux répartitions les plus critiques; 2) identifiant les éventuels facteurs de confusion qui doivent être pris en compte; et 3) soutenant la gestion adaptative en générant des hypothèses vérifiables et en clarifiant les besoins de surveillance.

Nous présentons ici un Modèle Écologique conceptuel du Caribou Boréal élaboré par le Groupe de Travail sur la Restauration de l'Habitat (GTRH) du Consortium National du Savoir sur le Caribou Boréal. Le modèle est composé de 14 facteurs et des relations connexes qui génèrent des voies menant à une variété de perturbations du paysage. Le modèle ne saisit pas tous les facteurs possibles du système, mais seulement ceux ayant probablement des effets significatifs. Il n'aborde pas non plus les options de traitement de rétablissement spécifiques, mais il peut éclairer la conception de traitements en identifiant les effets fonctionnels que les traitements doivent adresser.

La survie et le recrutement du caribou sont directement touchés par la prédation, la nutrition, la maladie et la chasse. Tous ces facteurs sont liés à un ou plusieurs perturbations de l'habitat qui orientent le modèle national de perturbation (c.-à-d. incendie, insectes nuisibles, altération/déboisement de la forêt et développement linéaire). Les voies interagissent et sont également affectées par des facteurs externes (p. ex., le changement climatique). Les perturbations de l'habitat modifient le fourrage disponible pour le caribou et pour d'autres proies principales, la répartition et l'abondance des proies principales, des prédateurs associés et des humains, qui entraînent en fin de compte des déclins de population en raison d'un taux inférieur de survie ainsi que d'un faible taux de succès de reproduction du caribou.

Une prochaine étape clé pour le modèle conceptuel est le développement de mesures de réponse appropriées pour le suivi. Cela fournirait non seulement les moyens de comparer les effets relatifs des différents facteurs entre les répartitions mais aussi mettrait en évidence les principales lacunes dans les connaissances. Le modèle fournirait alors un cadre complet pour la gestion adaptative à mesure que la restauration de l'habitat est mise en œuvre.

Remerciements

Le Modèle Écologique du Caribou Boréal a été élaboré par le Groupe de Travail sur la Restauration de l'Habitat (GTRH) du Consortium National du Savoir sur le Caribou Boréal (CNSCB) sous la direction de Tatyana Flick (Environnement et Changement Climatique Canada, Gouvernement du Canada) et Katalijin MacAfee (Ressources Naturelles Canada, Service Canadien des Forêts). Le GTRH est composé de représentants du gouvernement, de l'industrie, de communautés et d'organisations autochtones, d'ONGEs et de consultants ayant une connaissance pratique de la restauration de l'habitat. Parmi les contributeurs au développement du modèle conceptuel on a : Amanda Dookie (Environnement et Changement Climatique Canada, Service Canadien de la Faune), Amanda Martin (Environnement et Changement Climatique Canada, Direction des Sciences et de la Technologie), Art Rodgers (Gouvernement de l'Ontario), Cynthia Chand (Gouvernement de l'Alberta), Dani Degenhardt (Ressources Naturelles du Canada), Dennis Brannen (Gouvernement du Manitoba), Elston Dzus (Alberta-Pacific Forest Industries Inc.), George Duffy (Gouvernement de l'Alberta), Jaime Pinzon (Ressources Naturelles du Canada), James Hodson (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest), Jason Dicker (Gouvernement du Nunatsiavut), Jérôme Rioux (Gouvernement du Québec), John Pisapio (Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador), Katalijn MacAfee (Ressources Naturelles Canada, Service Canadien des Forêts), Katherine Mehl (Gouvernement de la Saskatchewan), Katherine Wolfenden (Fort Nelson First Nation), Kelli Cote (Matrix Solutions), Kristy Burke (FUSE Consulting / Alberta Regional Caribou Knowledge Partnership), Laura Finnegan (Institut de Recherche Foothills), Lisa Worthington (Gouvernement du Territoires du Nord-Ouest), Maria Ciancio (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest), Mark Boulton (Suncor), Melanie Dickie (Institut de Surveillance de la Biodiversité en Alberta, Unité de Surveillance du Caribou), Michael Cody (Cenovus Energy Inc.), Nadia Skokun (Gouvernement de la Colombie-Britannique), Paula Bentham (Golder Associates Inc.), Peter Friedrichsen (Forêt modèle de Prince Albert), Robin Steenweg (Environnement et Changement Climatique Canada, Service Canadien de la Faune), Scott Schilds (Gouvernement de la Colombie-Britannique), Steven Wilson (EcoLogic Research), Susan Leech (The Firelight Group), Tatyana Flick (Environnement et Changement Climatique Canada, Direction des sciences et de la technologie), Tom Habib (Alberta-Pacific Forest Industries Inc.), Vern Doell (Gouvernement de la Saskatchewan), Walter Andreeff (Nation Métisse de l'Alberta).

Ce rapport technique du modèle conceptuel a été préparé par les membres du GTRH Steven Wilson, Melanie Dickie et Paula Bentham. Nous tenons à remercier le GTRH pour a ses discussions, ses commentaires et ses modifications utiles aux versions antérieures. Un remerciement particulier à Tatyana Flick, Katalijin MacAfee, Art Rodgers et Jérôme Rioux pour leur contribution à la version finale.

Table des Matières

1 INTRODUCTION 1

2 OBJECTIFS 1

3 APPROCHE 2

4 STRUCTURE DU MODÈLE 2

4.1 Perturbation du paysage 3

4.1.1 Le Feu 4

4.1.2 Insectes Nuisibles 5

4.1.3 Altération/Défrichement de la Forêt 6

4.1.4 Développement Linéaire 7

4.2 Changement Climatique 8

4.3 Habitat 10

4.3.1.1 Lichen 11

4.3.1.2 Fourrage 11

4.4 Les dynamiques de Population 12

4.4.1 Chasseur Chassé 12

4.4.1.1 Loups 13

4.4.1.2 Ours 13

4.4.1.3 Ongulés 13

4.4.1.4 Castors 14

4.4.2 Récolte de caribous 15

4.4.3 Prévalence de la Maladie du Caribou 15

4.4.4 La Survie et le Recrutement du Caribou 15

4.5 Lacunes dans les Connaissances 16

4.6 Application Prévue 17

5 PROCHAINES ÉTAPES 18

6 ANNEXE A 18

7 APPENDICE B 22

8 OUVRAGES CITÉS 27

LES FIGURES

Figure 1 : Modèle Écologique du Caribou Boréal élaboré par le Groupe de Travail sur la Restauration de l'Habitat. 3

1 INTRODUCTION

Le *Programme de Rétablissement Modifié du Caribou des Bois (Rangifer tarandus caribou), Population Boréale, au Canada* (Environnement et Changement Climatique Canada, 2020) identifie la restauration de l'habitat comme un facteur clé. Bien qu'ils soient considérés comme critiques dans les aires de répartition fortement perturbées, il existe actuellement peu d'informations disponibles pour guider la planification, la sélection des traitements et le suivi des activités de restauration afin de maximiser l'efficacité des traitements. Le programme de rétablissement fournit une définition claire de l'habitat « perturbé », mais les conditions qui peuvent être accélérées par des traitements de l'habitat pour créer un habitat « non perturbé » écologiquement fonctionnel sont moins claires.

La croissance de la population de caribous est corrélée aux perturbations naturelles et anthropiques (Johnson et col., 2020). Cependant, les mécanismes conduisant à divers facteurs de perturbation de l'habitat, aux changements dans la dynamique des proies et des prédateurs, et finalement aux populations de caribous sont moins bien définis et variables au sein des aires de répartition du caribou. La compréhension des voies écologiques à l'origine du lien entre la perturbation de l'habitat et le déclin du caribou peut éclairer les programmes de restauration en identifiant les voies de déclin spécifiques de l'aire de répartition et la façon dont elles peuvent interagir ou être confondues par d'autres facteurs. Grâce à cette information, les programmes de restauration peuvent être conçus afin de maximiser la probabilité d'une réponse positive de la population de caribou.

Nous présentons ici un Modèle Écologique conceptuel du Caribou Boréal élaboré par le Groupe de Travail sur la Restauration de l'Habitat du Consortium national du savoir sur le caribou boréal (CNSCB) (ci-après GTRH). Le GTRH est composé de représentants du gouvernement, de l'industrie, de communautés et d'organisations autochtones, d'ONGEs et de consultants ayant une connaissance pratique de la restauration de l'habitat. Le modèle conceptuel a pour but de décrire les principaux processus écosystémiques, les voies et les interactions entre les facteurs - décrivant directement les voies mécanistes dans lesquelles la perturbation de l'habitat se précipite dans la forêt boréale pour affecter les populations de caribous. Le modèle conceptuel s'appuie sur le lien national bien établie entre le pourcentage (%) de superficie perturbé et le recrutement du caribou à l'échelle de l'aire de répartition de la population. Le Modèle Écologique du Caribou Boréal (le modèle) illustre la manière dont la relation perturbation-recrutement à l'échelle nationale passe par plusieurs voies interactives qui causent le déclin de la population de caribous, dont l'intensité varie à l'échelle régionale. Il tente d'intégrer les preuves actuellement disponibles dans la littérature scientifique et de gestion, ainsi que les connaissances pratiques des membres du GTRH de partout au Canada, dans les hypothèses de travail complètes pouvant guider l'élaboration ainsi que la mise en œuvre de traitements et d'expériences de restauration de l'habitat, éclairer les programmes de suivi et identifier les lacunes en matières de connaissances.

2 OBJECTIFS

Les objectifs du Modèle Écologique du Caribou Boréal sont les suivants :

1. Développer une **langue commune et partagée** faciliter la communication entre les divers groupes concernant le rétablissement du caribou boréal au Canada;
2. Former une **base pour synthétiser** ce que l'on sait actuellement du système du caribou boréal et du rôle de la restauration de l'habitat au sein de celui-ci; et,

3. Développer **des hypothèses vérifiables** concernant la restauration de l'habitat [et d'autres mesures de gestion] actions.

De plus, les développements futurs pourraient :

1. Fournir un moyen de **définir des métriques de réponse appropriées** de suivi;
2. Fournir un moyen afin de **comparer les effets relatifs** des déterminants du système sur la survie et le recrutement du caribou boréal à l'échelle de l'aire de répartition;
3. Autoriser que **les lacunes en matières de connaissances soient clairement identifiées** et adressées; et,
4. Soutenir une **gestion adaptative** comme approche.

Bien que le modèle n'aborde pas les options de traitement de restauration spécifiques, il peut cependant éclairer la conception de traitements en identifiant les effets fonctionnels que les traitements devraient adresser et, en outre, en fournissant la base théorique pour le suivi de l'efficacité.

3 APPROCHE

Le modèle a été développé de manière itérative via des réunions du GTRH tenues entre mars 2019 et juin 2020. Formellement, le modèle est un graphe orienté acyclique, où les boîtes représentent d'importants facteurs pour le système caribou. Les relations causales directes sont représentées par une seule flèche entre les facteurs, tandis que les causes indirectes impliquent des chaînes de plusieurs flèches et facteurs. Les flèches peuvent représenter des relations positives (pleines) ou négatives (en pointillés). Parce que les flèches représentent des relations causales et un ordre temporel, les boucles ne sont pas autorisées (sinon le futur pourrait causer le passé; d'où un graphe « acyclique »). Les mesures de gestion ne sont pas incluses dans le graphique, seuls les facteurs qui pourraient changer à la suite des mesures de gestion, y compris la restauration de l'habitat.

Ce document a été élaboré pour fournir des conseils techniques basés sur l'état actuel des connaissances scientifiques. Il n'intègre pas explicitement les Connaissances Écologiques Traditionnelles, qui joueront un rôle essentiel dans la réussite de la restauration de l'habitat et du rétablissement des espèces.

4 STRUCTURE DU MODÈLE

Le modèle est composé de 14 facteurs et des relations connexes qui génèrent des voies menant à une variété de perturbations du paysage. Ceux-ci affectent la distribution et l'abondance des composants de l'habitat convenable pour le caribou, la distribution et l'abondance des principaux prédateurs et proies, et ultimement la survie et le recrutement du caribou (Figure 1). Le changement climatique est inclus en tant que facteur de stress qui peut modifier les taux de perturbation du paysage, il affecte d'importantes composantes de l'habitat du caribou et de ses principales proies, et peut également affecter directement le système prédateur-proie.

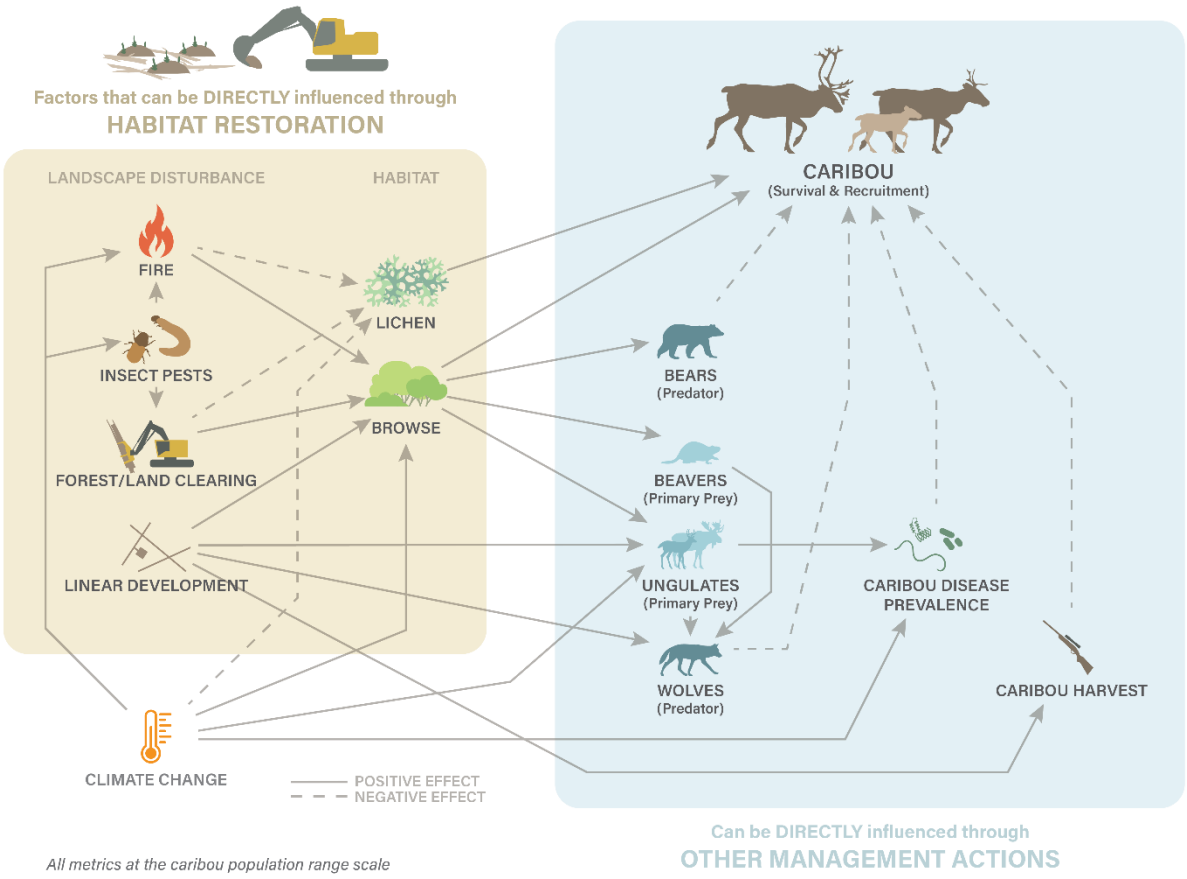


Figure 1 : Modèle Écologique du Caribou Boréal élaboré par le Groupe de Travail sur la Restauration de l'Habitat. Les flèches pleines représentent les effets positifs et les flèches en pointillés indiquent les effets négatifs (*en anglais*).

Le modèle n'est pas destiné à saisir tous les facteurs possibles du système, mais uniquement ceux qui exercent probablement des effets significatifs. Tout comme le modèle national de perturbation original, il est destiné à être appliqué de manière aspatiale à l'échelle des aires de répartition du caribou. La force relative de chacune de ces voies varie probablement dans le temps et dans l'espace, et en tant que telles, ces pondérations ne sont pas représentées ici. De plus, ces voies fonctionnent généralement à travers quatre types de facteurs clés (la prédation, la nutrition, la maladie et la chasse) qui sont décrits dans l'annexe A.

4.1 Perturbation du paysage

L'examen scientifique de l'habitat essentiel du caribou boréal a fourni une évaluation probabiliste de l'habitat essentiel du caribou boréal par rapport à l'ensemble des conditions (démographiques et environnementales) dans chaque aire de répartition (EC, 2011). Une méta-analyse du recrutement de la population par rapport aux perturbations a été entreprise et le modèle combiné de perturbation (feu et perturbation anthropique tamponnée de 500 m) a expliqué environ 70 pour cent de la variation du

recrutement du caribou boréal au Canada (EC, 2011). Les contributions à la perturbation du paysage sont reconnues comme étant à la fois naturelles (incendies, insectes ravageurs) et d'origine anthropique (altération/défrichement forestier, perturbation linéaire). La contribution relative des différentes perturbations varie d'une aire de répartition à l'autre au Canada. Par exemple, l'effet du feu a été documenté comme étant inférieur à l'effet des coupes forestières (Vors et coll., 2007).

4.1.1 Le Feu

Le feu crée une mosaïque de parcelles d'habitat brûlées et non brûlées (résiduelles). La superficie totale brûlée chaque année par les incendies de forêt est extrêmement variable et dépend des conditions météorologiques. Certains caribous du Canada ont évolué dans des zones où les intervalles de retour des feux sont relativement courts (EC, 2011). Les caribous présentent des réponses ambivalentes au brûlage, abandonnant rarement des répartitions à l'échelle du domaine vital (Silva et al., 2020), mais sélectionnant des parcelles résiduelles non brûlées telles que des peuplements forestiers anciens ou des tourbières ombrotrophes et des tourbières minérotrophes plutôt que des forêts en régénération à un stade précoce (Skatter et coll., 2017; Konkolics 2019). Les brûlis (< 50 ans depuis la perturbation) pendant la période ou il n'y a pas de neige offrent un accès aux arbustes et à la végétation herbacée, permet de se protéger des insectes et d'éviter les prédateurs (Nagy, et coll., 2005 *comme cité dans* Culling & Culling, 2006). Des preuves récentes suggèrent qu'une utilisation accrue des habitats brûlés n'affecte pas la survie des femelles (Konkolics, 2019).

Les voies directes suivantes sont illustrées dans le modèle pour caractériser les conséquences prévues d'un incendie :

1. **L'abondance de lichen diminué**

La modification par les feux de forêt de conifères matures et surannées avec un vaste fourrage de lichens terrestres peut réduire l'état de l'habitat propice au caribou (Russell, 2018). Au cours des premières décennies suivant la perturbation, le feu affecte fortement l'abondance et la distribution des lichens terrestres (Coxson & Marsh, 2001) lorsque les forêts matures brûlent.

2. **Augmentation de l'abondance du fourrage**

À mesure que les conditions s'aggravent pour les lichens terrestres, elles s'améliorent généralement pour les arbustes et la végétation herbacée (Coxson et Marsh, 2001; Heggberget et coll., 2002). Comme indiqué ci-dessus, bien que le feu réduise initialement la disponibilité du fourrage hivernal de lichen pour le caribou, il peut fournir une augmentation importante du

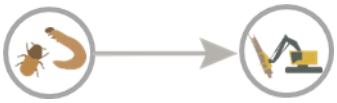
fourrage herbacé afin de répondre aux besoins énergétiques pendant la mise bas et les saisons estivales (Nagy et coll., 2005), faciliter la régénération naturelle des conifères (c'est-à-dire le pin gris) et empêcher le remplacement des lichens par des mousses plumeuses non comestibles dans les forêts matures (COSEPAC, 2012).

4.1.2 Insectes Nuisibles

Les impacts des insectes ravageurs comprennent la mortalité généralisée des arbres ou la création de défauts du tronc, la réduction de la vigueur des arbres et leurs taux de croissance, l'augmentation de la susceptibilité des arbres aux insectes secondaires et aux maladies (Alfaro, 1988). Les ravageurs, ou les mesures d'atténuation pour lutter contre les ravageurs, peuvent modifier la structure du peuplement en tuant sélectivement certaines espèces d'arbres en particulier (p. ex. pin mature) ou en modifiant la composition des espèces pour favoriser davantage de broutage (p. ex. Chagnon et coll., 2021).

Les voies directes suivantes sont illustrées dans le modèle pour caractériser les conséquences prévues des épidémies ou de la propagation des ravageurs forestiers :

1. **Augmentation du défrichement des forêts et des terres**



L'utilisation de la récolte du bois et des brûlages dirigés pour lutter contre les ravageurs (Nobert et al., 2020) entraîne le défrichement des forêts/arbres. Même en l'absence de ces traitements, la mortalité des arbres causée par des ravageurs comme le dendroctone du pin ponderosa peut éclaircir les peuplements et entraîner des changements dans la pénétration de la lumière et les conditions du sol forestier, en particulier l'humidité et la température (Cichowski et Williston, 2005). Au Québec, l'infestation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette contribue à modifier la structure forestière avec pour conséquence une augmentation des arbustes à feuilles caduques (Chagnon et coll., 2021). L'augmentation des arbustes à feuilles caduques a une réponse numérique positive sur l'orignal et un risque de mortalité plus élevé du caribou boréal en hiver (Labadie et coll., 2021).

2. **Augmentation de la prévalence des Incendies/ feux**

Le taux de propagation et l'intensité des incendies ont été prédits (p. ex., Page et Jenkins, 2007) et documentés dans des incendies expérimentaux et des incendies de forêt dans des peuplements récemment détruits par le dendroctone du pin ponderosa (Perrakis et coll., 2014). Bien que très peu de comportement du feu ait été documenté dans les peuplements détruits par le dendroctone du pin ponderosa et que la propagation du feu soit un processus complexe, il existe des preuves globales d'un comportement plus rapide du feu de cime et d'une propagation

très rapide du feu compte tenu des conditions de combustible au cours des premières années suivant l'attaque de coléoptères de pin ponderosa (Perrakis et coll., 2014). Le risque d'incendie varie en fonction du stade d'attaque rouge ou du stade d'attaque grise (post-épidémique). Le sapin baumier tué par la tordeuse des bourgeons de l'épinette crée également des conditions de comportement de feu intense et à propagation rapide (Wotton et coll., 2009, cité dans Perrakis et coll., 2014), bien que l'effet soit probablement à court terme.

4.1.3 Altération/Défrichement de la Forêt

Le défrichement des forêts et des terres se produit dans l'aire de répartition du caribou par le biais de processus naturels (ravageurs), de coupes forestières, d'exploitation minière, de sites de puits, de développement linéaire/routier, de récolte de tourbe et de conversion agricole à différentes échelles selon les juridictions. L'altération/le défrichement de la forêt entraînant la conversion de peuplements de conifères matures ont entraîné la perte de séparation spatiale du caribou avec les autres ongulés et leurs prédateurs (Latham et coll., 2011b; Peters et coll., 2013; cf, Mumma et coll., 2018).

Un grand nombre d'études ont corrélé l'altération/le défrichage de la forêt avec ses effets négatifs sur le caribou, bien que la plupart ne font pas la distinction entre les effets directs tels que les perturbations directes et les changements d'utilisation de l'habitat avec la disponibilité de fourrage, et les effets indirects tels que les changements de comportement dus au risque de prédation et des taux de prédation plus élevés.

Plus précisément, le caribou peut réagir négativement à la modification ou au défrichage de la forêt en n'utilisant pas les zones d'habitat autrement convenable ou en modifiant sa sélection d'habitat, en raison de sa proximité avec les perturbations (Carr et coll., 2011; Courtois et coll., 2008; Dyer et coll. ., 2001; Johnson et coll., 2015; Leblond et coll., 2011, 2013; Moreau et coll., 2012; Nagy 2011; Smith et coll., 2000; Weclaw & Hudson, 2004; Weir et coll., 2007; Vors et coll., 2007). Bien que l'exploitation forestière puisse représenter une perturbation temporaire, des preuves empiriques ont démontré ses effets négatifs sur le caribou (p.ex., Courtois et coll., 2008; Fortin et coll., 2013; Johnson et coll., 2015; Schaefer and Mahoney, 2007; Smith et coll., 2000). En particulier, Vors et coll. (2007) ont identifié les coupes forestières comme étant le prédicteur le plus puissant de la disparition du caribou en Ontario, elles arrivent en tête des autres perturbations anthropiques du paysage considérées (y compris les incendies, les routes, les corridors de services publics, les mines, les puits et les carrières, les lacs, les sentiers et les voies ferrées).

Le caribou est associé négativement aux paysages exploités, tandis que l'orignal, le cerf et le loup y sont associés positivement (Bowman et coll., 2010). L'exploitation des forêts dans des aires d'hivernage entières a entraîné la disparition de troupeaux de caribous locaux en Ontario (Cumming, 1992; Vors et coll., 2007).

Les voies directes suivantes sont illustrées dans le modèle pour caractériser les conséquences attendues de l'altération/du défrichement de la forêt :

1. **L'abondance de lichen diminué**

L'altération/déboisement des forêts de conifères matures réduit l'abondance de lichens dans ces peuplements auparavant matures.

1. **Augmentation de l'abondance précoce du brouttage**

L'altération, le défrichement ou l'altération de la forêt (p. ex., en raison de ravageurs) à l'intérieur ou à proximité des habitats essentiels du caribou boréal augmente la quantité de broutage précoce qui se manifeste par une réponse numérique des proies principales (p. ex., cerf; Dawe, 2011) (p. ex., élan; Labadie et coll. 2021).

4.1.4 Développement Linéaire

Le développement linéaire, y compris les routes, les pipelines, les lignes de transmission, les lignes sismiques et d'autres lignes de coupe, contribuent aux perturbations anthropiques dans les aires de répartition des caribous. Il existe une abondance de recherches sur la façon dont les développements linéaires modifient l'utilisation de l'espace du caribou (Faille et coll., 2010; Nellemann et Cameron, 1998; Pinard et coll., 2012), d'autres ongulés et prédateurs (Dickie et coll., 2019; Finnegan et coll., 2018a; Fisher et Burton 2018; Tigner et coll., 2014). L'évitement de ces caractéristiques peut réduire l'habitat disponible pour le caribou. Malgré les preuves de plus en plus nombreuses que les développements linéaires modifient l'utilisation de l'espace du caribou, de l'orignal, du cerf, des loups et des ours, peu de preuves lient directement les développements linéaires à la démographie des populations de ces espèces (Dickie et coll., 2020; mais voir Whittington et coll., 2011).

Les voies directes suivantes sont incluses dans le modèle pour caractériser les conséquences attendues du développement linéaire :

1. **Augmentation de l'abondance du fourrage**

Le broutage précoce adapté aux ongulés et aux ours est abondant sur les lignes sismiques (Finnegan et coll., 2018b; Dawe et coll., 2017). Une hypothèse non étayée est que cette augmentation du broutage soit suffisante pour influencer indirectement les déplacements des ongulés ou augmenter la densité des proies principales dans l'habitat du caribou.

2. **Augmentation de la prédation par les loups et les ours**

Les perturbations linéaires sont préférentiellement sélectionnées pour les déplacements des prédateurs (Latham et al., 2011; Whittington et coll., 2011; DeCesare et coll., 2012) et les développements linéaires ont été associés à une mobilité accrue des prédateurs par rapport aux forêts environnantes (James, 1999; Dickie et coll., 2017; Dickie et coll., 2019; DeMars et Boutin,

2017). Les loups et leurs sites de mise à mort ont été documentés plus près des développements linéaires qu'aléatoires (James, 1999; James et Stuart-Smith, 2000).

3. **Augmentation de la récolte humaine**

Les aménagements linéaires augmentent l'efficacité des humains à accéder à l'aire de répartition des caribous, et des mortalités de caribous causées par les humains ont été documentées plus près des corridors linéaires (James et Stuart-Smith, 2000). Les aménagements linéaires, en particulier les routes, peuvent faciliter la chasse et le braconnage en augmentant l'accès humain (Edmonds 1988; Leblond et coll., 2007). Bien que cela affecte négativement le caribou, l'accès accru des chasseurs à la récolte peut également réduire l'abondance des proies principales par le même mécanisme; bien que cela ne soit pas pris en compte dans le modèle.

4.2 Changement Climatique

Environnement et Changement climatique Canada (2020) attribue un *niveau* moyen de préoccupation des changements climatiques en tant que menace pour le caribou boréal, mais note que les impacts à long terme sont largement inconnus. Barber et coll. (2018) ont prévu les effets du changement climatique sur le caribou boréal en Alberta à l'aide de trois modèles de circulation générale, en se concentrant sur les changements dans la couverture végétale des hautes terres et les feux de forêt qui devraient entraîner des changements dans les ressources nutritionnelles et le risque de prédation.

Les voies directes suivantes sont illustrées dans le modèle pour caractériser les conséquences prévues du réchauffement climatique :

1. **L'abondance de lichen diminué**

Avec le réchauffement des températures, les nappes phréatiques dans les habitats boréaux de basse altitude devraient baisser, ce qui assécherait les tourbières et augmenterait la fréquence des incendies (Camill et Clark, 2000; Heggberget et coll., 2002; Kettridge et coll., 2015). Le feu affecte fortement la fréquence et la distribution des lichens terrestres (Coxson & Marsh, 2001; Lewis et coll., 2019). Les cas de givrage, causés par des cycles de gel-dégel plus fréquents, peuvent réduire considérablement la biomasse de lichens accessible au caribou pendant la saison hivernale critique (Mallory et Boyce 2018).

2. **Augmentation de l'abondance du fourrage**

À mesure que les conditions s'aggravent pour les lichens terrestres, elles s'améliorent généralement pour les arbustes et la végétation herbacée (Coxson et Marsh, 2001; Heggberget et coll., 2002).

3. **Augmentation de l'abondance des ongulés**

La mortalité associée aux hivers rigoureux (c.-à-d. neige très froide et profonde), en particulier chez les juvéniles, est un facteur limitatif clé des populations d'ongulés (p. ex., Ballard et coll., 1981; Bartmann et coll., 1992; Singer et coll., 1997; Garrot et coll., 2003). Le climat, en particulier la rigueur des hivers, a été associé à l'expansion de l'aire de répartition du cerf de Virginie en Alberta (Dawe, 2011; Fisher et coll., 2020; Laurent et coll., 2020). L'expansion vers le nord du cerf de Virginie a également été documentée en Ontario (MRN, 2009; Racey et Armstrong, 2000). Cette expansion a été facilitée par une combinaison de changement du paysage (c.-à-d. la conversion de l'habitat résultant en un habitat plus convenable pour les cerfs) et du changement climatique (MRN, 2009; Racey et Armstrong, 2000). Des températures plus chaudes devraient réduire la fréquence des hivers rigoureux et donc augmenter la survie hivernale des ongulés, entraînant ainsi des densités plus élevées d'espèces de proies principales.

4. **Augmentation de la prévalence de la maladie du caribou**

Des températures plus chaudes peuvent rendre les conditions plus favorables à divers vecteurs de maladies chez le caribou (Festa-Bianchet et coll., 2011; Hoberg et coll., 2008), et, de façon anecdotique, la prévalence chez le caribou dans l'ouest du Canada semble augmenter.

5. **Augmentation de la prévalence du feu**

L'allumage et la croissance des incendies dépendent fortement des conditions météorologiques; par conséquent, un réchauffement climatique devrait accroître l'activité des incendies dans la forêt boréale. Les modèles prédisent une augmentation de la fréquence des incendies de 75 à 140 % d'ici 2100 (Wotton et coll., 2010). Des preuves d'augmentation de l'activité des incendies dans la forêt boréale sont déjà évidentes (van Lierop et coll., 2015).

6. **Augmentation des éruptions des insectes ravageurs**

Les insectes et agents pathogènes forestiers ont une empreinte beaucoup plus importante dans les forêts que le feu, bien que leurs effets soient souvent moins graves et parfois même bénins.

Cependant, tous les aspects du comportement des épidémies d'insectes devraient augmenter à mesure que le climat se réchauffe (Cichowski et Williston, 2005; Logan et coll., 2003; Jactel et coll., 2019). Le réchauffement climatique entraîne une augmentation de la gravité des grandes infestations ou épidémies et l'expansion de l'aire de répartition d'un certain nombre d'insectes ravageurs tels que ceux de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ou du dendroctone du pin ponderosa, entraînant la mortalité des arbres et réduisant la croissance des arbres (Fuentealba et al., 2013). Les augmentations de température prévues et les changements dans les régimes de précipitations pourraient causer une plus grande gravité des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Logan et al., 2003) et contribuer à l'expansion continue de l'aire de répartition géographique du dendroctone du pin ponderosa au nord et à l'est de son aire de répartition historique au Canada; ensemble, ceux-ci pourraient déclencher des infestations épidémiques vers l'est à travers la forêt boréale (Fuentealba et coll., 2013; Nealis et Peter, 2008; Safranyik et coll., 2010).

4.3 Habitat

En général, la survie du caribou est la plus élevée là où l'utilisation des habitats productifs des hautes terres, sélectionnés par d'autres ongulés et leurs prédateurs, est limitée (Anderson, 1999; Bradshaw et coll., 1995; Thomas et coll., 1996; Stuart-Smith et coll. ., 1997; Schneider et coll., 2000; McLoughlin et coll., 2005; Tracz, 2005). À mesure que les perturbations augmentent et que les habitats deviennent plus propices aux proies principales, la séparation spatiale devient plus difficile à maintenir (Courtois et coll., 2007).

Les réponses comportementales aux perturbations peuvent réduire davantage l'habitat disponible pour le caribou (Dyer et coll., 2001, 2002; Oberg 2001; Rettie et Messier 2001; Weclaw et Hudson, 2004; Leblond et coll., 2011; Polfus et coll., 2011; Moreau et coll., 2012; Apps et coll., 2013; CPAWS Wildlands League, 2013 ; Leblond et coll., 2013; possibilité d'augmenter les taux de détection par les prédateurs (Smith, 2004; Beauchesne et coll., 2014) ou de réduire l'aire de répartition du caribou (Vors, 2006).

La perturbation du paysage affecte directement la distribution et l'abondance du fourrage disponible pour le caribou et d'autres espèces importantes pour le système prédateur-proie plus large. À mesure que la perturbation du paysage augmente, les ressources en lichens diminuent généralement tandis que les autres fourrages en bénéficient généralement (mais pas toujours; Neufeld et coll., 2021), fragmentant généralement les zones d'habitat convenable pour le caribou en parcelles plus petites.

Nagy (2011) a trouvé une corrélation positive entre les taux de croissance de la population et l'accès à un habitat sécurisé non brûlé, en particulier là où la majeure partie de l'habitat se trouvait dans des parcelles de plus de 500 km². Le refuge contre la prédation est essentiel pour le caribou, et de plus grandes parcelles d'habitat intact réduisent la probabilité que le caribou se trouve dans le rayon de recherche des prédateurs qui se déplacent sur des éléments linéaires ou chassent dans l'habitat de proie primaire convenable à proximité. Certaines caractéristiques linéaires (p. ex., les pipelines hors sol [ABMI et Alberta Innovates, 2012; Jalkotzy et coll., 1997]; les routes [[Dyer et coll., 2002]) sont également supposées former une barrière semi-perméable à la libre circulation des caribous entre des parcelles d'habitat convenable (Dyer et coll., 2001; Dyer et coll. 2002). Ces effets contribuent à une augmentation du chevauchement (et à une réduction de la séparation spatiale) entre les ongulés (orignal, cerf) et les prédateurs dans les habitats du caribou (James et coll., 2004; Latham et coll., 2011b).

Là où l'habitat convenable a été réduit et fragmenté à la suite d'un incendie de forêt, le caribou ne modifie pas sensiblement sa répartition ou sa fidélité à l'aire de répartition (Dunford, 2003; Culling et Culling, 2006; Silva, 2020), il concentre plutôt son utilisation sur les parcelles résiduelles à l'intérieur des brûlis, les peuplements forestiers restants, les tourbières et les marais (Dunford, 2003; Kansas et coll., 2016, Skatter et coll., 2017).

Les paramètres de disposition de l'habitat, tels que la distribution de la taille des parcelles, l'isolement des parcelles, les effets de barrière, etc., sont tous généralement corrélés aux niveaux de perturbation dans une aire de répartition. L'effet de l'aménagement de l'habitat sur le caribou, indépendamment du niveau global de perturbation dans une aire de répartition, n'a pas été clairement démontré et n'est pas abordé dans ce modèle.

4.3.1.1 Lichen

Les lichens terrestres et, dans une moindre mesure, les lichens arboricoles constituent la majorité du régime hivernal du caribou boréal au Canada (p. ex. Thomas et coll., 1996; Arseneault et coll., 1997; Newmaster et coll., 2013; Thompson et coll. 2015). L'hiver étant une saison critique pour les ongulés, un approvisionnement abondant en fourrage de lichen est considéré comme essentiel pour les populations de caribous. Par conséquent, dans le modèle, on s'attend à ce qu'une augmentation de l'abondance des lichens **augmente directement** **la survie et le recrutement du caribou**. Cet effet ne sera pas significatif là où les populations de caribous ne sont pas limitées par le lichen disponible ou d'autres fourrages, mais sont plutôt limitées par d'autres facteurs (p. ex. prédation non durable).

4.3.1.2 Fourrage

« Fourrage » dans le modèle fait principalement référence aux arbres, arbustes, plantes herbacées et autres plantes boréales qui constituent le fourrage toute l'année de l'orignal (p. ex., Renecker et Hudson, 1988; Timmermann et McNichol, 1988; Routledge et Roese, 2004) (p. ex. Lefort et coll., 2007).

Les voies directes suivantes sont illustrées dans le modèle pour caractériser les conséquences attendues d'un brout plus abondant :

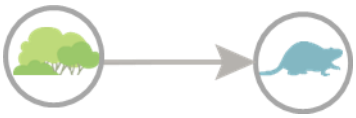
1. **Augmentation de** **la survie et le recrutement du caribou**

Alors qu'un régime alimentaire dominé par les lichens soutient le caribou pendant les mois d'hiver, un régime alimentaire de haute qualité en été est essentiel pour l'accumulation des réserves de graisse et de protéines nécessaires à la survie hivernale et au succès de la reproduction (p. ex., Parker et coll., 2009).

2. **Augmentation de** **la prédation** **de l'ours**

Les ours noirs et les grizzlis utilisent bon nombre des mêmes espèces fourragères précoces utilisées par les ongulés, et leurs populations peuvent réagir positivement lorsque la distribution et l'abondance de fourrage approprié augmentent (p. ex., Brodeur et coll., 2008).

3. **Augmentation de l'abondance du castor**



En tant qu'herbivore abondant et généraliste, le castor semble également réagir positivement à un fourrage précoce plus abondant (Potvin et coll., 2005).

4. **Augmentation de l'abondance des ongulés**

De même que le caribou, d'autres ongulés dépendent des ressources fourragères de haute qualité et abondantes disponibles pendant la saison de croissance pour maximiser leur condition avant d'entrer dans l'hiver stressant et les saisons de vêlage subséquentes (p. ex., Parker et coll., 2009). La conversion de forêts plus anciennes en habitat de succession précoce ou en zones agricoles par le défrichement des forêts et des terres a augmenté l'abondance des cerfs, leur succès reproducteur, et sont des sources d'immigration des cerfs dans les aires de répartition des caribous (Charest, 2005; Dawe et coll., 2014; Fisher et Burton, 2021). Cette augmentation de l'abondance des ongulés peut « déborder » sur les habitats adjacents où le brout reste relativement inchangé (Latham, 2011b).

4.4 Les dynamiques de Population

4.4.1 Chasseur Chassé

La prédation a été identifiée comme la plus grande source de mortalité du caribou, limitant la survie des femelles adultes et des petits (Apps et coll., 2013; Bergerud & Elliot, 1986; Festa-Bianchet et coll., 2011; Lewis et coll., 2016; McLoughlin et coll., 2003; Rettie & Messier, 1998; Seip, 1992; Wittmer et coll., 2005). L'augmentation de la prédation est une combinaison de la densité (« réponse numérique ») et des taux de mortalité par habitant (« réponse fonctionnelle »). On suppose que l'augmentation de la prédation sur le caribou résulte d'une abondance accrue d'ongulés dans et autour de l'aire de répartition du caribou, ce qui augmente donc la prédation sur le caribou via une compétition apparente (Serrouya et coll., 2020). On pense que l'augmentation de la densité d'orignaux et l'expansion des cerfs, en particulier des cerfs de Virginie, augmentent la densité des prédateurs (Latham et al., 2011b).

Les espèces prédatrices dominantes varient d'un bout à l'autre du Canada. La prédation par les loups, les ours noirs et les grizzlis et les cougars est courante dans l'ouest du Canada (Edmonds, 1988; Stuart-Smith et coll., 1997; Rettie et Messier, 1998), alors que dans l'est du Canada, où les loups ont disparu, la prédation par les coyotes et les ours noirs est commun (Frenette et coll., 2020; Lewis et coll., 2016; St. Laurent et coll., 2020). Ici, nous sommes concentrés sur le rôle des loups et des ours (à la fois les grizzlis et les ours noirs).

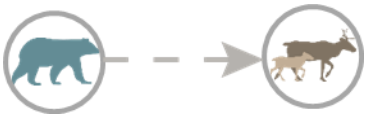
4.4.1.1 Loups

1. **Diminution de la survie et le recrutement du caribou**

On suppose que l'augmentation de la densité des loups dans l'aire de répartition du caribou (Bergerud et Elliot, 1986; Frenette et coll., 2020) augmente la prédation accidentelle du caribou par les loups. Facilitation des déplacements sur les perturbations linéaires (DeCesare, 2012; Dickie et coll., 2017; Latham et coll., 2011a) et augmentation des taux de rencontre grâce à un chevauchement spatial accru (DeMars et Boutin, 2017; Mumma et coll., 2018; Whittington et coll. ., 2011) sont supposées augmenter le taux de mortalité par habitant des caribous par les loups (McKenzie et coll., 2012). La réponse fonctionnelle des loups est en outre liée à la réponse numérique, de sorte qu'une efficacité de chasse accrue peut augmenter le rendement reproducteur (Serrouya et coll., 2020).

4.4.1.2 Ours

2. **Diminution de la survie et le recrutement du caribou**



Le rôle des ours dans la mortalité du caribou est variable à travers le Canada. La prédation par l'ours noir est courante dans l'est du Canada (Dussault et coll., 2012; Frenette et coll., 2020; Lewis et coll., 2016; St. Laurent et coll., 2020). Il a été démontré que la prédation des grizzlis sur les jeunes ongulés est élevée dans certains systèmes (Brockman et coll., 2017). Dans l'ouest du Canada, les ours noirs et les grizzlis ne semblent pas être des prédateurs importants des caribous adultes ou des petits, mais déprèdent certains petits (Gustine et coll., 2006). On suppose que les caractéristiques linéaires augmentent les taux de rencontre entre les ours noirs et les faons (DeMars et Boutin, 2017; Tigner et coll., 2014).

4.4.1.3 Ongulés

Les voies directes suivantes sont illustrées dans le modèle pour caractériser les conséquences prévues de l'augmentation des ongulés :

1. **Augmentation de la prédation des loups et des ours**

L'augmentation de la densité des proies primaires dans le paysage entraîne une augmentation de la densité des prédateurs, et donc une augmentation de la prédation accidentelle sur le

caribou - un processus appelé « compétition apparente » (Holt, 1977; Peters et coll., 2013). D'autres ongulés tels que l'orignal et le cerf constituent une part importante du régime alimentaire du loup, en particulier en hiver, augmentant ainsi la densité des loups (Frenette et coll., 2020; Latham et coll., 2011; Latham et coll., 2013).

2. **Augmentation de la prévalence de la maladie du caribou**.

En augmentant les taux de contact des ongulés avec le caribou (Festa-Bianchet et coll., 2011; Barber et coll. 2018). Les cerfs et les orignaux sont sensibles à un certain nombre de maladies, telles que *l'Onchocerca* spp., (Verocai et coll., 2012; McFrederick et coll., 2013), *Rumerfalaria andersoni* (Grunenwald et coll., 2016), et bien d'autres qui peuvent se transmettre au caribou par contact direct ou environnemental (Tryland et Kutz, 2017). Les infestations hivernales de tiques ont été impliquées dans la mortalité massive des orignaux (Samuel, 2007). On s'inquiète de la transmission de maladies par d'autres ongulés (p. ex., le cerf) à mesure que leurs populations augmentent et que le contact avec le caribou devient plus probable (Festa-Bianchet et coll., 2011; B arber et coll. 2018; MNRF, 2014).

4.4.1.4 Castors

4. **Augmentation de la prédation par des loups et des ours**

Les castors peuvent constituer une part importante du régime alimentaire des loups, particulièrement en été, augmentant ainsi la densité des loups (Fuller et Keith, 1980; Gable et coll., 2018; Latham et coll., 2013). Le rôle des castors dans l'alimentation des ours n'est pas bien compris; les régimes alimentaires des ours noirs et des grizzlis sont principalement composés de plantes, mais les protéines animales sont consommées de manière opportuniste et peuvent varier selon la saison et l'état de reproduction (Hatler et coll., 2008; Nielsen et coll., 2016). Dans certains systèmes, on a constaté que les ours déprédent les castors, bien que l'on pense que les ours sont des prédateurs de castors moins importants que les loups (Smith et coll., 1994). Bien que les castors aient le potentiel d'augmenter la densité de loups et d'ours, ainsi que d'augmenter l'utilisation par les prédateurs de l'habitat du caribou lors de la recherche de castors, cela demeure une lacune dans les connaissances sur la forêt boréale du Canada.

4.4.2 Récolte de caribous

1. **Diminution de la survie et le recrutement du caribou**

La récolte n'a plus lieu dans de nombreuses aires de répartition du caribou, que ce soit en raison des mandats de récolte des chasseurs ou des moratoires volontaires sur la chasse par les peuples Autochtones. Cependant, la mesure dans laquelle le braconnage et la récolte Autochtone se produisent n'est pas bien documentée et varie probablement d'une aire de répartition à l'autre.

4.4.3 Prévalence de la Maladie du Caribou

1. **Diminution de la survie et le recrutement du caribou**

Les caribous sont sensibles à un certain nombre de maladies, notamment les parasites, les infections bactériennes, les virus et les prions (Tryland et Kutz, 2013). La maladie débilitante chronique est particulièrement préoccupante (Arifin et coll., 2020), bien que la sensibilité du caribou ne soit pas entièrement comprise (Cheng et coll., 2017). La majorité des informations sur la prévalence des maladies du caribou proviennent de recherches liées aux populations de rennes domestiqués et semi-domestiqués, bien que la recherche en Amérique du Nord soit de plus en plus disponible (BCIP 2014, Finnegan et coll., 2016).

4.4.4 La Survie et le Recrutement du Caribou

De nombreuses populations de caribous ont un faible taux de survie des femelles adultes et un faible recrutement des faons malgré des taux de gestation élevés (McLoughlin et coll., 2003; St. Laurent et coll., 2020; Pinard et coll., 2012). La relation entre les perturbations cumulatives de l'habitat et la démographie de la population de caribou des bois boréal est bien établie (EC 2011, 2012; Johnson et coll., 2020). Le caribou boréal vivant dans des zones présentant des densités plus élevées d'éléments linéaires et d'autres perturbations humaines a un recrutement réduit (EC, 2011), des taux de survie plus faibles (Johnson et coll., 2020) et des taux de croissance démographique globalement plus faibles (Sorensen et coll., 2008; Serrouya et coll., 2020). La survie et le recrutement du caribou sont fonction des voies décrites ci-dessus.

4.5 Lacunes dans les Connaissances

Le modèle saisit les principales voies menant aux perturbations climatiques et de l'habitat au déclin du caribou; cependant, la force relative des voies est incertaine et varie d'une répartition à l'autre. Ceci a des implications évidentes sur la gestion, car les actions de rétablissement ciblant les voies faibles sont peu susceptibles de générer des avantages significatifs.

À ce jour, la recherche s'est largement concentrée sur des voies ou des effets uniques et directs (p. ex., effet du feu sur le lichen, effet du contrôle du loup sur la survie et le recrutement du caribou) ou sur des voies indirectes et multiples (p. ex., effet de mesures composites de la perturbation du paysage sur la démographie du caribou). Certaines voies directes n'ont pas encore été estimées (p. ex., effet du broutage sur la répartition et l'abondance des ours dans l'aire de répartition du caribou, rôle des castors dans l'attraction des populations et de la répartition des prédateurs, effets indépendants de la taille des parcelles). De plus, une grande partie de la littérature se concentre sur les réponses comportementales, mais n'aborde pas explicitement la façon dont ces changements de comportement influencent l'abondance des proies primaires, des prédateurs ou des caribous.

Voici les lacunes prioritaires sur le savoir qui sont pertinentes pour la conception et la mise en œuvre des traitements de restauration :

1. L'effet du développement linéaire sur l'abondance du broutage et par la suite sur l'abondance des proies primaires. Les éléments linéaires sont courants mais ne couvrent qu'une petite partie du territoire. La mesure dans laquelle ils déterminent la réponse numérique des proies principales par l'amélioration de l'habitat n'est pas claire.

2. La mesure dans laquelle le développement linéaire augmente la prédation par les loups et les ours. Bien que le lien entre les développements linéaires et le comportement des prédateurs soit bien établi, il existe actuellement peu de preuves directes établissant un lien entre la sélection accrue de ces caractéristiques et le déplacement vers ces caractéristiques à la densité des prédateurs ou aux taux de mortalité du caribou.

3. Les effets relatifs de 1 et 2, ci-dessus - comment le développement linéaire augmente l'abondance des loups via l'enrichissement des proies par rapport aux voies d'amélioration de l'accès (c'est-à-dire, réponses numériques de loup versus réponses fonctionnelles de loup). La valeur relative de ces voies, ainsi que leurs effets interactifs, informent les avantages attendus des mesures de gestion visant à réduire le broutage des ongulés par rapport au blocage de l'accès des prédateurs.

4. L'effet relatif du changement d'habitat par rapport au changement climatique sur l'abondance des proies primaires, et quelles sont les échelles de temps rétrospectives et prospectives pertinentes. Les efforts de restauration visant à réduire les populations de proies primaires via l'abondance du broutage peuvent avoir un effet limité si les populations primaires se développent principalement en raison de la fréquence décroissante des hivers rigoureux.

5. Les effets relatifs de la taille de la parcelle d'habitat, de la configuration de l'habitat et d'autres mesures du paysage indépendamment des niveaux de perturbation de l'habitat à l'échelle de l'aire de répartition (total % de la superficie). Bien que la relation entre les paramètres de perturbation à l'échelle de l'aire de répartition et les éléments des systèmes du caribou soit relativement bien comprise, les effets indépendants de l'arrangement spatial ne le sont pas.

6. Rôle des greffes de lichens terrestres dans l'établissement des lichens. La littérature indique que des fragments de lichens terrestres et des greffes de tapis peuvent être utilisés pour établir des communautés de lichens terrestres, cependant, on ne sait toujours pas quelle technique est la meilleure pour restaurer le lichen terrestre (Rapai et McMullin, 2017) et l'impact sur le caribou en général.

7. L'échelle spatio-temporelle à laquelle la restauration de l'habitat doit se produire pour atténuer l'effet de chaque facteur de perturbation sur les populations de caribous via chacun des mécanismes causaux identifiés. Bien que ce rapport souligne l'état actuel des connaissances sur chacune des voies ou mécanismes, les tests d'efficacité des essais de restauration de l'habitat à grande échelle pour atténuer les effets identifiés en sont encore à leurs balbutiements.

4.6 Application Prévue

Le Modèle Écologique du Caribou Boréal vise à éclairer la planification et la mise en œuvre d'activités de restauration de l'habitat, indépendamment ou en conjonction avec d'autres mesures de rétablissement. Compte tenu des ressources limitées, il est important d'orienter les efforts vers les actions les plus susceptibles de générer des avantages significatifs pour la survie et le recrutement du caribou. Bien que la perturbation de l'habitat soit largement corrélée au déclin du caribou, les types de perturbations, et donc l'importance de leurs voies associées, varient d'une aire de répartition à l'autre, ce qui suggère que différentes combinaisons de mesures de rétablissement pourraient être justifiées.

Par exemple, des études récentes ont conclu que les perturbations anthropiques sont un facteur de déclin du caribou plus important que les incendies (ECCC, 2020; Johnson et coll., 2020). Cela suggère que les traitements visant à restaurer les perturbations anthropiques sont susceptibles de générer de plus grands avantages pour le caribou que de tenter d'accélérer le rétablissement après un incendie. Mais même dans l'empreinte des perturbations anthropiques, l'effort de restauration doit être réparti entre les perturbations linéaires et polygonales et les avantages pour le caribou sont susceptibles de varier en fonction du mélange particulier de proies et de prédateurs principaux et d'autres circonstances caractéristiques des différentes aires de répartition.

Le modèle identifie également les facteurs potentiellement confondants le long des voies qui pourraient réduire l'efficacité, ou la capacité de mesurer l'efficacité, de la restauration de l'habitat. Par exemple, les actions visant à réduire les proies primaires et/ou les prédateurs entraveront la capacité de mesurer les avantages pour le caribou des traitements de restauration de l'habitat axés sur la réduction du broutage ou la perturbation des déplacements des loups. De même, le changement climatique peut limiter les avantages des traitements de restauration de l'habitat si la fréquence des incendies et la survie hivernale des ongulés augmentent. Ces facteurs de confusion possibles doivent être reconnus et testés pour assurer une prise de décision éclairée concernant l'allocation de l'effort de rétablissement.

Ce travail vise à éclairer la conception et la mise en œuvre des traitements de restauration en identifiant les voies menant au déclin du caribou qui pourraient/devraient être perturbées par les traitements. La sélection des traitements et leur déploiement spatial nécessitent une planification opérationnelle spécifique à chaque aire de répartition.

5 PROCHAINES ÉTAPES

1. Définir des métriques qui peuvent être utilisées pour évaluer la condition de chaque facteur du modèle.
2. Estimer l'état actuel des métriques dans l'aire de répartition du caribou, dans la mesure du possible ou par le biais d'études de cas.
3. Identifier les relations clés à tester/surveiller via des essais de gestion adaptative ou une modélisation.
4. Lien vers la planification par aires de répartition pour encadrer la sélection du traitement de restauration, la planification du projet et le suivi de l'efficacité.

6 ANNEXE A

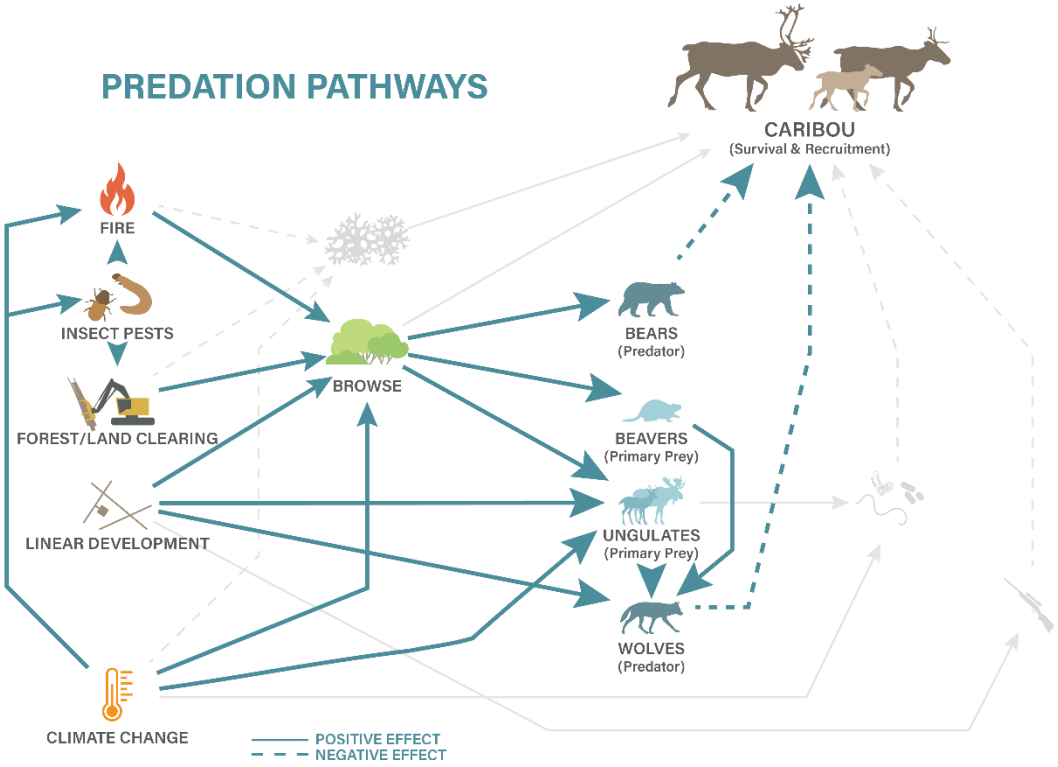


Figure A2 : Mise en évidence des « voies de prédation » dans le Modèle Écologique du Caribou Boréal élaboré par le groupe de travail sur la restauration de l'habitat. Les flèches pleines représentent les effets positifs et les flèches en pointillés indiquent les effets négatifs (*en anglais*).

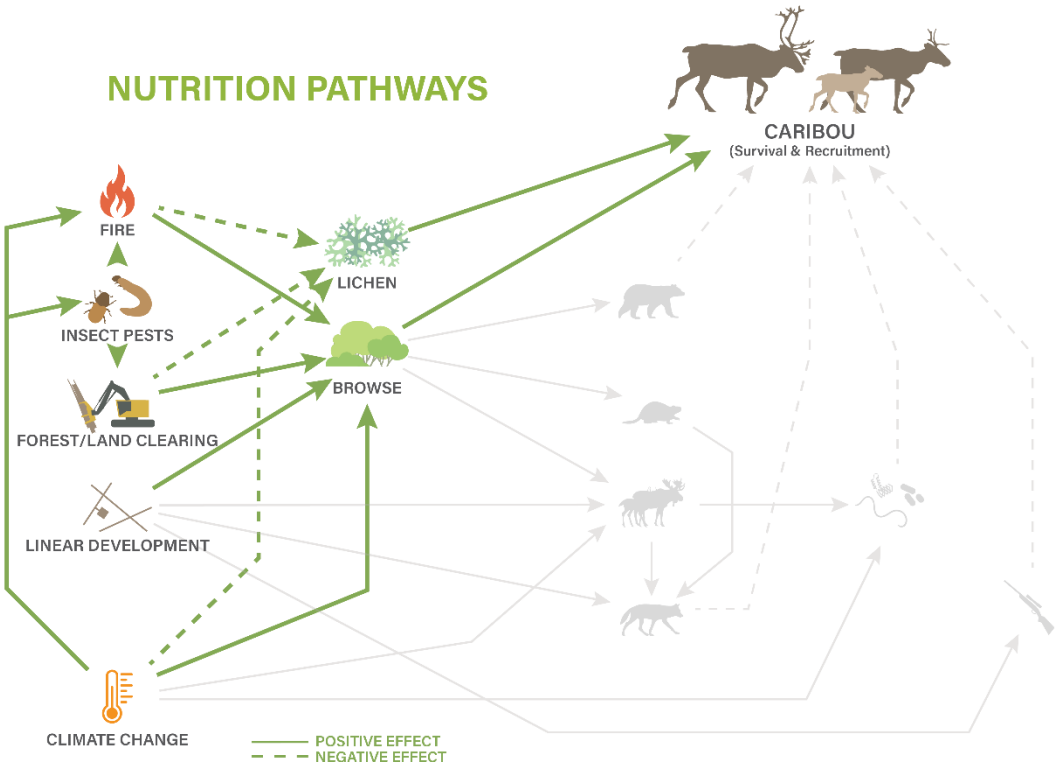


Illustration A2 : Mise en évidence des « voies de nutrition » dans le Modèle Écologique du Caribou Boréal élaboré par le Groupe de Travail sur la Restauration de l'Habitat. Les flèches pleines représentent les effets positifs et les flèches en pointillés indiquent les effets négatifs (*en anglais*).

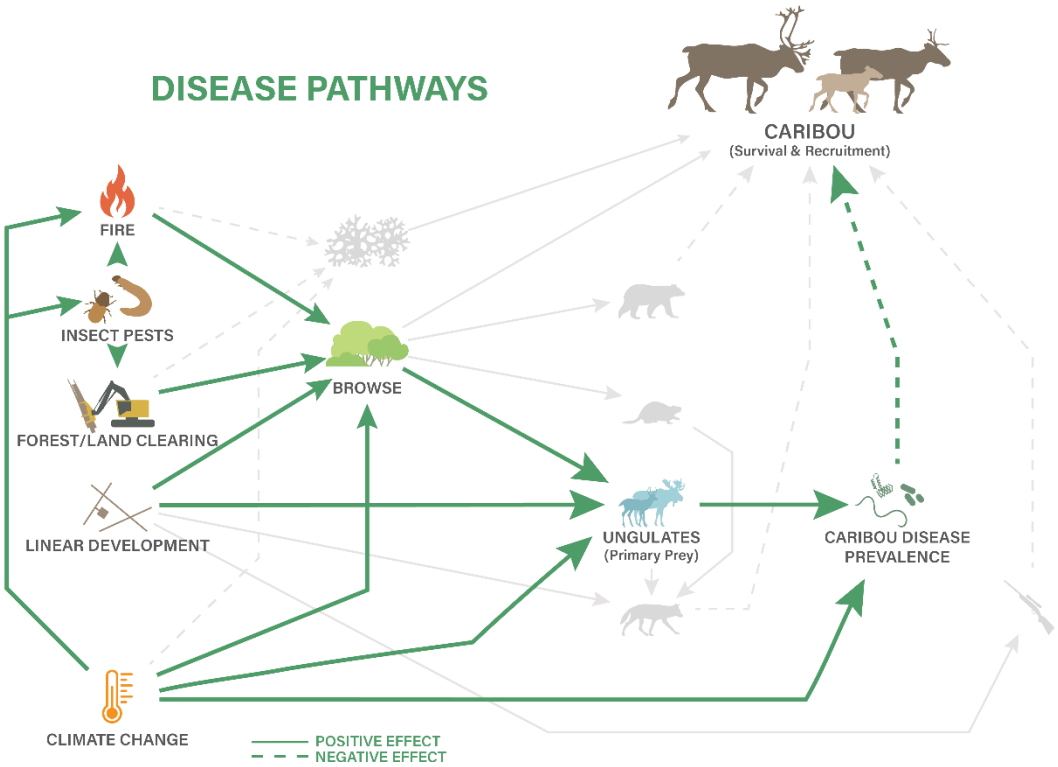


Illustration A3 : Mise en évidence des « voies de transmission des maladies » dans le Modèle Écologique du Caribou Boréal élaboré par le Groupe de Travail sur la Restauration de l'Habitat. Les flèches pleines représentent les effets positifs et les flèches en pointillés indiquent les effets négatifs (*en anglais*).

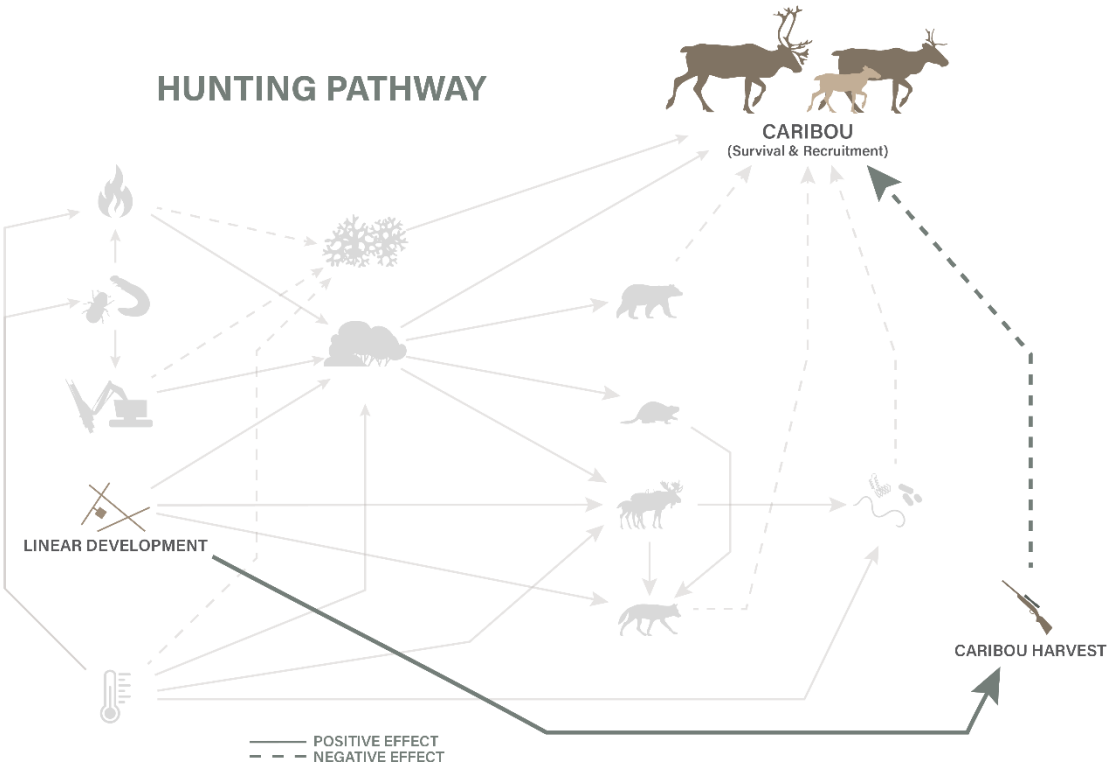
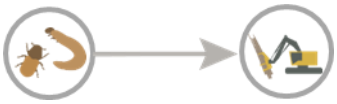


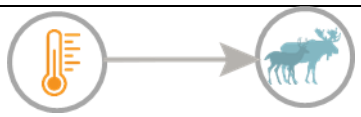
Figure A4 : « Sentier de chasse » mis en évidence dans le Modèle Écologique du Caribou Boréal élaboré par le Groupe de Travail sur la Restauration de l'Habitat. Les flèches pleines représentent les effets positifs et les flèches en pointillés indiquent les effets négatifs (*en anglais*).

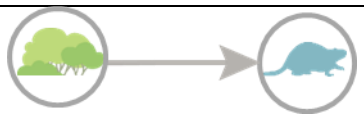
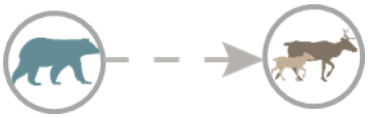
7 APPENDICE B

Tableau B1 : Références pour les mécanismes de modèles par paires.

4.1 PERTURBATION DU PAYSAGE		
4.1.1 INCENDIE		
	↑ FEU = ↓ ABONDANCE DE LICHEN	Coxson & Marsh, 2001 Russell, 2018
	↑ FEU = ↑ ABONDANCE DE LICHEN	COSEPAC, 2012 Coxson & Marsh, 2001 Heggberget et coll., 2002 Nagy et coll., 2005
4.1.2 INSECTES NUISIBLES		
	↑ INSECTES NUISIBLES = ↑ FORÊT / DÉFRICHAGE	Chagnon et coll., 2021 Cichowski et Williston, 2005 Labadie et coll., 2021 Nobert et coll., 2020
	↑ INSECTES NUISIBLES = ↑ PRÉVALENCE DES INCENDIES	Page et Jenkins, 2007 Perrakis et coll., 2014 Wotton et coll., 2009
4.1.3 MODIFICATION DE LA FORÊT / DÉFRICHEMENT		
	↑ MODIFICATION DE LA FORÊT / DÉFRICHEMENT = ↓ ABONDANCE DE LICHENS	
	↑ ALTÉRATION DE LA FORÊT / DÉFRICHEMENT = ↑ ABONDANCE DE	Dawe, 2011 Labadie et coll. 2021

	BROUILLARD EN SÉRIES PRÉCOCE	
4.1.4 DÉVELOPPEMENT LINÉAIRE		
	↑ DÉVELOPPEMENT LINÉAIRE = ↑ PARCOURIR L'ABONDANCE	Dawe et coll., 2017 Finnegan et coll., 2018b
	↑ DÉVELOPPEMENT LINÉAIRE = ↑ PRÉDATION DES LOUP ET DES OURS	DeCesare et coll., 2012 Dickie et coll., 2017 ; Dickie et coll., 2019 ; DeMars et Boutin, 2017 James, 1999; James et Stuart-Smith, 2000 Latham et coll., 2011 Whittington et coll., 2011
	↑ DÉVELOPPEMENT LINÉAIRE = ↑ RÉCOLTE HUMAINE	Edmonds 1988; James et Stuart-Smith, 2000 Leblond et coll., 2007
4.2 CHANGEMENT CLIMATIQUE		
	↑ CHANGEMENT CLIMATIQUE = ↓ ABONDANCE DE LICHEN	Camille et Clark, 2000 Coxson & Marsh, 2001 Heggberget et coll., 2002 Kettridge et coll., 2015 Lewis et coll., 2019 Mallory et Boyce 2018
	↑ CHANGEMENT CLIMATIQUE = ↑ L'ABONDANCE du BROUTAGE	Coxson & Marsh, 2001 Heggberget et coll., 2002
	↑ CHANGEMENT CLIMATIQUE =	Ballard et coll., 1981 Bartmann et coll., 1992 Dawe, 2011

	↑ ABONDANCE D'ONGULÉS	Fisher et coll., 2020 Laurent et coll., 2020 MNR, 2009 Racey et Armstrong, 2000 Singer et coll., 1997 Garrott et coll., 2003
	↑ CHANGEMENT CLIMATIQUE = ↑ PRÉVALENCE DES MALADIES	Festa-Bianchet et coll., 2011 Hoberg et coll., 2008
	↑ CHANGEMENT CLIMATIQUE = ↑ PRÉVALENCE DES INCENDIES	van Lierop et coll., 2015 Wotton et coll., 2010
	↑ CHANGEMENT CLIMATIQUE = ↑ ERRUPTIONS D'INSECTES NUISIBLES	Cichowski et Williston, 2005 Logan et coll., 2003 Fuentealba et coll., 2013 Jactel et coll., 2019 Nealis et Peter, 2008 Safranyik et coll., 2010
4.3 HABITAT		
	↑ LICHEN = ↑ SURVIE ET RECRUTEMENT DU CARIBOU	Thomas et coll., 1996 Arseneault et coll., 1997 Newmaster et coll., 2013 Thompson et coll. 2015
	↑ BROUTER = ↑ SURVIE ET RECRUTEMENT DU CARIBOU	Parker et coll., 2009
	↑ PARCOURIR = ↑ PRÉDATION DES OURS	Brodeur et coll., 2008
		Potvin et coll., 2005

	↑ BROUTER = ↑ ABONDANCE DE CASTORS	
	↑ BROUTER = ↑ ABONDANCE D'ONGULÉS	Charest, 2005 Dawe et coll., 2014 Fisher et Burton, 2021 Latham, 2011b Parker et coll., 2009
4.4 DYNAMIQUE DES POPULATIONS		
4.4.1 PRÉDATEUR-PROIE		
	↑ LOUPS = ↓ SURVIE ET RECRUTEMENT DES CARIBOUS	Bergerud et Elliot, 1986 DeCesare, 2012 DeMars & Boutin, 2017 Dickie et coll., 2017 Frenette et coll., 2020 Latham et coll., 2011a McKenzie et coll., 2012 Maman et coll., 2018 Serrouya et coll., 2020 Whittington et coll., 2011
	↑ OURS = ↓ SURVIE ET RECRUTEMENT DU CARIBOU	Brockman et coll., 2017 DeMars & Boutin, 2017 Dussault et coll., 2012 Frenette et coll., 2020 Lewis et coll., 2016 Gustine et coll., 2006 St-Laurent et coll., 2020 Tigner et coll., 2014
	↑ ONGULÉS = ↑ PRÉDATION DES LOUP ET DES OURS	Frenette et coll., 2020 Holt, 1977 Latham et coll., 2011 Latham et coll., 2013 Peters et coll., 2013
	↑ ONGULÉS = ↑ PRÉVALENCE DES MALADIES DU CARIBOU	Barber et coll. 2018 Festa-Bianchet et coll., 2011 McFrederick et coll., 2013 Tryland et Kutz, 2017 Tryland et Kutz, 2017 Verocai et coll., 2012

	↑ CASTORS = ↑ PRÉDATION DES LOUP ET DES OURS	Fuller et Keith, 1980 Gable et coll., 2018 Hatler et coll., 2008 Latham et coll., 2013 Nielsen et coll., 2016 Smith et coll., 1994
4.4.2 RÉCOLTE DU CARIBOU		
	↑ RÉCOLTE DE CARIBOU = ↓ SURVIE ET RECRUTEMENT DE CARIBOU	
	↑ PRÉVALENCE DE LA MALADIE DU CARIBOU = ↓ SURVIE ET RECRUTEMENT DU CARIBOU	BCIP 2014 Cheng et coll., 2017 Finnegan et coll., 2016 Tryland et Kutz, 2013

8 OUVRAGES CITÉS

Système d'Information sur la Pollution de l'Air (APIS). S.d. Dépôts acides dans les Habitats Montagnards. Site Web : http://www.apis.ac.uk/node/933

Institut de Surveillance de la Biodiversité en Alberta (ABMI) et Alberta Innovates-Technology Futures. 2013. Évaluer l'influence du développement industriel in situ sur le caribou (*Rangifer tarandus*) dans la région d'aménagement du Bas-Athabasca en Alberta. Rapport Final 2012. Préparé pour le Comité de Surveillance Écologique du Bas-Athabasca, 32 pp.

Alfaro, R.I, 1988. Dégâts causés par les ravageurs en foresterie et son évaluation. Northwest Environmental Journal 4: 279-300.

Anderson, R.B. 1999. Utilisation et Sélection de l'Habitat des tourbières par le Caribou des Bois (*Rangifer tarandus tarandus*) dans le nord de l'Alberta. Mémoire de Maîtrise en Sciences, Université de l'Alberta. Edmonton, AB.

Applications, C.D., McLellan, B.N., Kinley, T.A., Serrouya, R., Seip, D.R., Wittmer, H.U., 2013. Facteurs spatiaux liés à la mortalité et au déclin des populations de caribous des montagnes en voie de disparition. J. Wildl. Manage. 77-1409-1419.

Arifin, M.I., Staskevicius, A., Shim, S.Y., Huang, Y.H., Fenton, H., McLoughlin, P.D., Mitchell, G., Cullingham, C.I., Gilch, S., 2020. Génotypage à grande échelle des protéines prions dans les populations canadiennes de caribous et impact potentiel sur la sensibilité à la maladie débilitante chronique. Mol. Ecol. 29, 3830-3840. https://doi.org/10.1111/mec.15602

Arseneault, D., Villeneuve, N., Boismenu, C., Leblanc, Y., Deshaye, J., 1997. Estimation de la biomasse de lichens et du pâturage des caribous sur les aires d'hivernage du nord du Québec : Une application de l'historique des incendies et des données Landsat. The Journal of Applied Ecology 34, 65-78. https://doi.org/10.2307/2404848

Ballard, W.B., Spraker, T.H., Taylor, K.P., 1981. Causes de la mortalité néonatale des jeunes orignaux dans le centre-sud de l'Alaska. The Journal of Wildlife Management 45, 335–342. https://doi.org/10.2307/3807916

Barber, Q.E., Parisien, M.-A., Whitman, E., Stralberg, D., Johnson, C.J., St-Laurent, M.-H., DeLancey, E.R., Price, D.T., Arseneault, D., Wang , X., Flannigan, M.D., 2018. Impacts potentiels des changements climatiques sur l'habitat du caribou des bois boréal. Écosphère 9, e02472. https://doi.org/10.1002/ecs2.2472

Bartmann, R.M., White, G.C., Carpenter, L.H., 1992. Mortalité compensatoire dans une population de cerfs mulets du Colorado. Wildlife Monographs 3–39.

Beauchesne D., J.A.G. Jaeger, et M.H. St- Laurent. 2014. *Seuils de capacité du caribou boréal à faire face aux perturbations cumulatives : Preuve des modèles d'utilisation de l'espace.* Biological Conservation 172 : 190-199.

Bergerud, A.T., H.E. Butler, et D.R. Miller. 1984. Tactiques antiprédatrices du caribou vêlant : dispersion en montagne. Revue Canadienne de Zoologie 62 : 1566-1575.

Bergerud, A., et Elliot, J., 1986. Dynamique des caribous et des loups dans le nord de la Colombie-Britannique. Can. J. Zool. 64,1515-1529.

Bowman, J., J.C Ray, A.J. Magoun, D. Johnson et F.N. Dawson. 2010. Routes, exploitation forestière et communauté de grands mammifères d'une forêt boréale de l'est du Canada. Revue Canadienne de Zoologie. 88 : 454-467.

Bradshaw, C.J.A. et D.M. Hebert. 1996. Déclin de la Population de Caribous des Bois en Alberta : Fait ou Fiction? *Rangifer* Numéro Spécial n ° 9 : 223-234.

Brockman, C.J., Collins, W.B., Welker, J.M., Spalinger, D.E., Dale, B.W., 2017. Déterminer les taux de mortalité des jeunes ours brun en utilisant des cameras montés sur le cou. Wildl. Soc. Mâle. 41, 88-97. https://doi.org/10.1002/wsb.733

Brodeur, V., Ouellet, J.-P., Courtois, R., Fortin, D., 2008. Sélection d'habitat par les ours noirs dans une forêt boréale intensivement exploitée. Can. J. Zool. 86,1307-1316. https://doi.org/10.1139/Z08-118

Camille, P., Clark, J.S, 2000. Perspectives à long terme sur les réponses décalées des écosystèmes au changement climatique : le pergélisol dans les tourbières boréales et la limite prairie/bois. Ecosystems, 3, 534-544. https://doi.org/10.1007/s100210000047

Carr, N.L., A.R. Rodgers, S.R. Kingston, et D.J. Lowman. 2011. Utilisation des rives de l'île et du continent par le caribou des bois pendant la période d'alevinage dans deux parcs du nord de l'Ontario. *Rangifer* 19:49 62.

Chagnon, C., M. Bouchard et D. Pothier. 2021. Impacts des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette sur le sous-étage de la forêt boréale dans l'est du Canada : implications pour le caribou des bois. Article soumis.

Charest, K.S. 2005. Changements dans l'abondance de l'orignal et du cerf de Virginie dans le nord-est de l'Alberta et la relation avec les impacts cumulatifs. M.Sc. Thèse, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta.

Cheng, Y.C, Musiani, M., Cavedon, M., Gilch, S., 2017. Prévalence élevée du génotype de la protéine prion associée à la résistance à l'encéphalopathie des cervidés dans une population de caribous des bois de l'Alberta. Prions 11, 136–142. https://doi.org/10.1080/19336896.2017.1300741

Cichowski, D. et P. Williston. 2005. Les dendroctones du pin ponderosa et les problèmes émergents dans la gestion du caribou des bois dans le Centre-ouest de la Colombie-Britannique. *Rangifer* Numéro spécial n° 16.

COSEPAC, 2012. Caribou des bois (*Caribou Rangifer tarandus*) Évaluation et rapport de situation du COSEPAC. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-des-risques-des-especes/rapports-de-statut-des-évaluations-du-cosepac/caribou-des-bois.html

Courtois, R., J.P Ouellet, L. Breton, A. Gingras et C. Dussault. 2007. Effets des perturbations forestières sur la densité, l'utilisation de l'espace et la mortalité du caribou des bois. Ecoscience 14(4) : 491 498.

Courtois, R., Gingras A., Fortin D., Sebbane A., Rochette B., Breton L. 2008. Réponse démographique et comportementale du caribou des bois à l'exploitation forestière. Canadian Journal of Forest Research 38 : 2837-2849.

Coxson, D.S, Marsh, J., 2001. Chronoséquences des lichens (après feu et après récolte) chez le pin tordu (*Pinus contorta*) des forêts du nord de l'intérieur de la Colombie-Britannique. Can. J.Bot. 79,1449-1464. https://doi.org/10.1139/cjb-79-12-1449

CPAWS Wildlands League (Ligue des Terres Sauvages de la Société pour la Nature et les Parcs du Canada). 2013. Traversée du Pays des Caribous : Un rapport spécial évaluant les impacts des nouvelles lignes de transmission sur le caribou menacé dans le nord-ouest de l'Ontario. Toronto, Ont., 55 p. + 3 App.

Culling, D.E, et B.A Culling. 2006. Écologie et Sélection Saisonnière de l'Habitat du Caribou Boréal dans le Bassin Versant Snake-Sahtaneh, Colombie-Britannique, 2000 à 2004. Rapport Technique. Préparé pour : Canadian Forest Products Ltd., Fort Nelson, Colombie-Britannique. Préparé par : Services environnementaux diversifiés, Fort St. John, Colombie-Britannique. 80 p.

Cumming, H.G. 1992. *Caribou des Bois : faits pour les aménagistes forestiers*. Forestry Chronicle 68:481-492.

Dawe, K. L. 2011. Facteurs de l'expansion de l'aire de répartition du cerf de Virginie, *Odocoileus virginianus*, dans la forêt boréale du nord de l'Alberta, Canada. Thèse de Doctorat. Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta.

Dawe, K.L, EM Bayne et S. Boutin. 2014. Influence du climat et de l'occupation humaine du territoire sur la répartition du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) dans la forêt boréale de l'ouest. Revue Canadienne de Zoologie 92 : 353-363.

Dawe, C.A., Filicetti, A.T., Nielsen, S.E., 2017. Effets des perturbations linéaires et de la sévérité des incendies sur l'abondance, la vigueur et la production de bleuets à feuilles de velours dans les forêts de pins gris récemment brûlées. Forests 8, 1–14. https://doi.org/10.3390/f8100398

DeCesare, N.J., Hebblewhite, M., Bradley, M., Smith, K.G., Hervieux, D., Neufeld, L., 2012. Estimation des taux de recrutement et de croissance des ongulés à l'aide des ratios d'âge. J. Wildl. Manage. 76, 144–153. https://doi.org/10.1002/jwmg.244

DeMars, C.A., Boutin, S., 2017. Nulle part où se cacher : Effets des caractéristiques linéaires sur la dynamique prédateur-proie dans un système de grands mammifères. J. Anim. Ecol. 274–284. https://doi.org/10.1111/1365-2656.12760

DeMars, C.A., Breed, G.A., Potts, J.R., Boutin, S., 2016. Modélisation spatiale des proies lors de la reproduction pour réduire le risque de prédation : qu'est-ce qui motive la dispersion à partir des groupes ? Am. Nat. 187, 678–687. https://doi.org/10.1086/685856

Denryter, K.A, Cook, R.C, Cook, J.G, Parker, K.L, 2017. En direct du caribou (*Rangifer tarandus*) bouche : des observations détaillées de caribous apprivoisés révèlent de nouvelles connaissances sur les régimes alimentaires d'été et d'automne. Can. J. Zool. 95,81-94. https://doi.org/10.1139/cjz-2016-0114

Dickie, M., McNay, R.S., Sutherland, G.D., Cody, M., Avgar, T., 2019. Couloirs ou risque ? Les déplacements le long des caractéristiques linéaires et leur utilisation varient de manière prévisible parmi les espèces de prédateurs et de proies de grands mammifères. J. Ecol. 1–32. https://doi.org/10.2307/2256210

Dickie, M., Serrouya, R., McNay, R.S, Boutin, S., 2017. Plus vite et plus loin : Mouvement du loup sur les caractéristiques linéaires et implications pour le comportement de chasse. J. Appl. Ecol. 53, 253–263. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12732

Dickie, M., N. Love, R. Steenweg, C. Lamb, J. Polfus, A. Ford. 2020. Les Effets des Caractéristiques Linéaires sur le Caribou des Bois : Un examen pour éclairer les seuils de gestion. Rapport technique préparé pour le Groupe de Travail Technique de l'Entente de Partenariat Intergouvernemental pour la Conservation du Groupe Central du Caribou des Montagnes du Sud.

Dunford, J.S. 2003. Relations entre le Caribou des Bois et les Feux de Forêt dans le Nord de l'Alberta. M.Sc. Thèse. Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta.

Dussault, C., Pinard, V., Ouellet, J.P., Courtois, R., Fortin, D., 2012. Évitement des routes et sélection pour les coupes récentes par le caribou menacé : Comportement gratifiant ou inadapté? Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 279, 4481–4488. https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1700

Dyer, S.J, O'Neill, J.P, Wasel, S.M, Boutin, S., 2002. Quantification des effets de barrière des routes et des lignes sismiques sur les déplacements des caribous des bois femelles dans le nord-est de l'Alberta. Can. J. Zool. 80, 839–845. https://doi.org/10.1139/z02-060

Dyer, S.J, O'Neill, J.P, Wasel, S.M, Boutin, S., 2001. Évitement du développement industriel par le caribou des bois. J. Wildl. Manage. 65, 531-542.

Dzus, E., 2001. Statut du Caribou des Bois (*Rangifer tarandus caribou*) en Alberta. Edmonton, AB. https://doi.org/10.5962/bhl.title.115174

Edmonds, E.J. 1988. État de la Population, Répartition et Déplacements du Caribou des Bois dans le Centre-Ouest de l'Alberta. Revue Canadienne de Zoologie 66, 817-826.

Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC), 2020. Programme de Rétablissement Modifié du Caribou des Bois (*Caribou Rangifer tarandus*), Population Boréale, au Canada. Série de Programmes de Rétablissement de la Loi sur les Espèces en Péril. Environnement et Changement Climatique Canada, Ottawa. xiii + 143 p.

Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC), 2012. Données sur les vecteurs de perturbation anthropique de l'écosystème boréal pour le Canada basées sur l'imagerie Landsat de 2008 à 2010.

Environment 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 : 2011. Ottawa, Ontario, Canada, p. 102 p. plus annexes.

Faille G., Dussault C., Ouellet J.P, Fortin D., Courtois R., St Laurent M.H., Dussault C. 2010. Fidélité de l'aire de répartition : Le chaînon manquant entre le déclin du caribou et la modification de l'habitat? Biological Conservation 143(11) : 2840 2850.

Festa-Bianchet, M., Ray, J.C., Boutin, S., Côté, S.D., Gunn, A., 2011. Conservation du caribou (*Rangifer tarandus*) au Canada : un avenir incertain. Can. J. Zool. 89, 419-434. https://doi.org/10.1139/Z11-025

Finnegan, L.A., Macbeth, B., MacNearney, D., Pigeon, K., Larsen, T., Schwantje, H., Kutz, S.J., 2016. Mortalité des caribous et prévalence des maladies dans le centre-ouest de l'Alberta. Rapport Final. Hinton, AB.

Finnegan, L., Pigeon, K.E, Cranston, J., Hebblewhite, M., Musiani, M., Neufeld, L., Schmiegelow, F., Duval, J., Stenhouse, B., 2018a. La régénération naturelle sur les lignes sismiques influence le comportement de déplacement des loups et des grizzlis. PLoS ONE 13. https://doi.org/e0195480

Finnegan, L., MacNearney, D., Pigeon, K.E., 2018b. Schémas divergents de croissance fourragère du sous-étage après exploration des lignes sismiques : Implications pour la restauration de l'habitat du caribou. Pour. Ecol. Manage. 409, 634-652. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.010

Fisher, J.T., Burton, A.C., 2018. Gagnants et perdants de la faune dans un paysage de sables bitumineux. Frontiers. 16, 323-328. https://doi.org/10.1002/fee.1807

Fisher, J.T., Burton, A.C. 20201. La structure spatiale du succès reproducteur déduit les mécanismes d'invasion des ongulés dans les paysages boréaux Néarctiques. Ecology and Evolution 11, 900–11..

Fisher, J.T., Burton, A.C., Nolan, L., Roy, L., 2020. Influences du changement du paysage et de la rigueur de l'hiver sur la persistance des ongulés envahissants dans la forêt boréale Néarctique. Sci Rep 10, 8742. https://doi.org/10.1038/s41598-020-65385-3

Fortin, D., P.L. Buono, A. Fortin, N. Courbin, C.T. Gingras, P.R. Moorcroft, R. Courtois, et C. Dussault. 2013. Les réponses au Mouvement du Caribou aux Limites de l'Habitat induites par l'Homme entraînent leur Agrégation près des Éléments Anthropiques. The American Naturalist 181(6):827 836.

Frenette, J., Pelletier, F., St-Laurent, M.H., 2020. Relier l'habitat, les prédateurs et les proies alternatives pour expliquer les variations de recrutement d'une population de caribous en voie de disparition. Glob. Ecol. Conserv. 22. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00920

Fuentealba A, R. Alfaro et É. Bauce. 2013. Cadre théorique d'évaluation des risques posés aux forêts canadiennes par les espèces d'insectes envahissants. Forest Ecology and Management 302 (2013) 97–106. http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.023

Fuller, T.K., Keith, L.B., 1980. Dynamique des populations de loups et relations avec les proies dans le nord-est de l'Alberta. J. Wildl. Manage. 44, 583-602.

Gable, T.D., Windels, S.K., Romanski, M.C., Rosell, F., 2018. La proie oubliée d'un prédateur emblématique : retour sur les interactions entre loups gris *Canis lupus* et castors *Castor* spp. Mamm. Rev. 48, 123–138. https://doi.org/10.1111/mam.12118

Garrott, R.A., Eberhardt, L.L., White, P.J., Rotella, J., 2003. Variation induite par le climat des taux vitaux d'une population de grands herbivores non exploitée. Can. J. Zool. 81,33-45.

Gustine, D.D., Parker, K.L., Lay, R.J., Gillingham, M.P., Heard, D.C., Gustine, D.D., Resources, N., Studies, E., British, N., 2006. Survie de Jeunes Caribou des Bois dans un Écosystème de Prédateur Multiples. Des références liées sont disponibles sur JSTOR pour cet article : Survie de Jeunes Caribou des Bois dans un Écosystème de Prédateur Multiples Ecosystem Sobrevivencia de Crais de Caribu de Bosque en un Ecosistema con Depredadores Multiples 1–32.

Grunenwald, C.M., Carstensen, M., Hildebrand, E., Elam, J., Laaksonen, S., Oksanen, A., Gerhold, R.W, 2016. Épidémiologie du nématode de la filariose lymphatique *Rumenfilaria andersoni* chez l'orignal en liberté (*Alces alces*) et d'autres cervidés d'Amérique du Nord. Parasites and Vectors 9. https://doi.org/10.1186/s13071-016-1740-x

Hatler, D., 1972. Habitudes alimentaires des ours noirs de l'Alaska antérieur. Can. F. Nat. 86, 17–31. Heggberget, T.M., Gaare, E., Ball, J.P., 2002. Rennes (*Rangifer tarandus*) et le changement climatique : Importance du fourrage d'hiver. Ran 22, 13-31. https://doi.org/10.7557/2.22.1.388

Hervieux, D., Hebblewhite, M., DeCesare, N. J., Russell, M., Smith, K., Robertson, S., et Boutin, S., 2013. Déclin généralisé des caribous des bois (*Rangifer* tarandus caribou) continue in Alberta. Can. J. Zool. 91, 872-882.

Hoberg, E.P., Polley, L., Jenkins, E.J., Kutz, S.J. 2000. Agents pathogènes des ongulés domestiques et en liberté : changements climatiques mondiaux dans les latitudes tempérées à boréales en Amérique du Nord. Revue scientifique et technique (Office international des épizooties) 27, 511–528.

Holt, D., 1977. Prédation, compétition apparente et structure des communautés de proies. Theor. Popul. Biol. 12, 197-229.

Jactel, H., Koricheva, J., Castagneyrol, B., 2019. Réponses des insectes ravageurs forestiers au changement climatique : pas si simple. Opinion actuelle sur la science des insectes 35, 103–108. https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.010

Jalkotzy, M.G., P.I. Ross et M.D. Nasserden. 1997. Les effets des développements linéaires sur la faune : une revue de la littérature scientifique sélectionnée. Prép. Pour : Association Canadienne des Producteurs Pétroliers (ACPP). Prép. Par : Arc Wildlife Services Ltd. Calgary, AB. 115 p.

James, A., Boutin, S., Hébert, D., Rippin, A., 2004. Séparation spatiale du caribou de l'orignal et sa relation avec la prédation par les loups. J. Wildl. Manage. 68, 799-809.

James, A., Stuart-Smith, A., 2000. Répartition des caribous et des loups par rapport aux corridors linéaires. J. Wildl. Manage. 64-154-159.

James, A.R.C., 1999. Effets du Développement Industriel sur la Relation Prédateur-Proie entre les Loups et les Caribous dans le Nord-Est de l'Alberta. Université de l'Alberta.

Johnson, C. A., Sutherland, G. D., Neave, E., Leblond, M., Kirby, P., Superbie, C. et McLoughlin, P. D., (2020). La Science aux service des stratégies : Lier la dynamique des population à l'habitat chez une espèce menacée au Canada J. Appl. Ecol. 57, 1314–1327. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13637

Johnson, C.J., Ehlers, L.P.W., Seip, D.R., 2015. Être témoin de l'extinction - Impacts cumulatifs sur les paysages et la perte future d'une unité importante du point de vue de l'évolution du caribou des bois au Canada. Biol. Conserv. 186,176-186. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.03.012

Kansas, J., Vargas, J., Skatter, H.G., Balicki, B., et McCullum, K. 2016. Utilisation d'images Landsat pour rétropoler les résidus d'incendie et d'après-incendie dans le Bouclier boréal de la Saskatchewan : implications pour la gestion du caribou des bois. Int. J. Wildland Fire, 25(5) : 597–607. doi:10.1071/WF15170s.

Konkolics S. M. 2019. Une question brûlante : La réponse spatiale du caribou des bois aux feux de forêt dans le nord-est de l'Alberta. Thèse MSc, Université de l'Alberta : Calgary, AB. 58 p.

Kettridge, N., Turetsky, M.R, Sherwood, J.H., Thompson, D.K., Miller, C.A., Benscoter, B.W., Flannigan, M.D., Wotton, B.M., Waddington, J.M., 2015. Une baisse modérée de la nappe phréatique augmente la vulnérabilité des tourbières au changement de régime post-incendie. Sci Rep 5, 8063. https://doi.org/10.1038/srep08063

Labadie, G., P.D. McLoughlin, M. Hebblewhite et D. Fortin. 2021 Compétition apparente médiée par les insectes entre les mammifères dans un réseau trophique boréal. Article soumis.

Latham, A., 2009. Écologie du loup et relations spatiales caribou-proie primaire-loup dans les complexes de tourbières à faible productivité du nord-est de l'Alberta. Université de l'Alberta.

Latham, A., Latham, M.C, Boyce, M.S, 2011a. Sélection de l'habitat et relations spatiales des ours noirs (*Ursus americanus*) avec le caribou des bois (*Caribou Rangifer tarandus*) dans le nord-est de l'Alberta. Can. J. Zool. 89, 267–277. https://doi.org/10.1139/Z10-115

Latham, A., Latham, M.C., McCutchen, N.A., Boutin, S., 2011b. L'invasion des cerfs de Virginie modifie la dynamique loup-caribou dans le nord-est de l'Alberta. J. Wildl. Manage. 75, 204-212.

Latham, A.D.M., Latham, M.C., Knopff, K.H., Hebblewhite, M., Boutin, S., 2013. Loups, cerfs de Virginie et castors : Les implications du changement saisonnier de proies pour le caribou des bois diminuent. Ecography (Cop.). 36, 1276–1290. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00035.x

Leblond M., C. Dussault, J.P Ouellet, M. Poulin, R. Courtois et J. Fortin, 2007. Clôtures électriques comme mesure pour réduire les collisions entre les orignaux et les véhicules. Journal of Wildlife Manage. 71(5):1695-1703

Leblond M., Dussault C., Ouellet J.P. 2013. Évitement des routes par les grands herbivores et sa relation avec l'intensité des perturbations. Revue Canadienne de Zoologie 289(1) : 32 40.

Leblond, M., Frair J., D. Fortin, C. Dussault, J.P. Ouellet et R. Courtois. 2011. Évaluation de l'influence des covariables de ressources à plusieurs échelles spatiales : une application au caribou forestier confronté à une activité humaine intensive. Landscape Ecology 26(10): 1433-1446.

Lee, P., Boutin, S., 2006. Persistance et transition développementale des larges lignes sismiques dans l'ouest des plaines boréales du Canada. J. Environ. Manage. 78-240-250. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.03.016

Lefort, S., Tremblay, J.-P., Fournier, F., Potvin, F., Huot, J., 2007. Importance du sapin baumier comme fourrage d'hiver pour le cerf de Virginie à la limite nord-est de son aire de répartition. Ecoscience, 14, 109-116. https://doi.org/10.2980/1195-6860(2007)14[109:IOBFAW]2.0.CO;2

Lewis K.J, C.J. Johnson et M.D. Nayeem Karim. 2019. Dynamique du feu et des lichens dans la Taïga du Bouclier des Territoires du Nord-Ouest et implications pour le fourrage hivernal du caribou de la toundra. Journal Veg Sci. 30:448-460.

Lewis, K.P., Gullage, S.E, Fifield, D.A., Jennings, D.H., Mahoney, S.P., 2016. Les manipulations de l'ours noir et du coyote affectent la survie des petits caribous. J. Wildl. Manage. 81, 122–132. https://doi.org/10.1002/jwmg.21174

Logan, J.A., Régnière, J., Powell, J.A., 2003. Évaluer les impacts du réchauffement climatique sur la dynamique des ravageurs forestiers. Frontières de l'écologie et de l'environnement 1, 130–137. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0130:ATIOGW]2.0.CO;2

Mallory, C.D., Boyce, M.S. 2018. Effets observés et prévus du changement climatique sur le caribou et le renne de l'Arctique. Environmental Reviews 26, 13-25.

McFrederick, Q.S, Haselkorn, T.S, Verocai, G.G, Jaenike, J., 2013. Espèces cryptiques d'Onchocerca infectant les cervidés nord-américains, avec des implications pour l'histoire évolutive des associations d'hôtes chez Onchocerca. Parasitology, 140, 1201-1210. https://doi.org/10.1017/S0031182012001758

McKenzie, H., Merrill, E., Spiteri, R., Lewis, M., 2012. Comment les caractéristiques linéaires modifient le mouvement des prédateurs et la réponse fonctionnelle. Interface Focus 2, 205–216.

McLoughlin, P., Dzus, E., Wynes, B., Boutin, S., 2003. Déclin des populations de caribous des bois. J. Wildl. Manage. 67,755-761.

McLoughlin, P.D., J.S. Dunford et S. Boutin. 2005. Relier la mortalité par prédation à la sélection d'habitat à grande échelle. Journal of Animal Ecology 74, 701-707.

McLoughlin, P.D., C. Superbie, K. Stewart, P. Tomchuk, B. Neufeld, D. Barks, T. Perry, Greuel, C. Regan, A. Truchon-Savard, S. Hart, J. Henkelman et J.F Johnston. 2019. Écologie de la population et de l'habitat du caribou boréal et de ses prédateurs dans le Bouclier boréal de la Saskatchewan. Rapport Final. Département de biologie, Université de la Saskatchewan, Saskatoon. 238 p.

MRN (Ministère des Ressources Naturelles). 2009, Plan de conservation du caribou des bois de l'Ontario. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Toronto, ON, Canada.

MRNF. 2014. Politique de gestion de répartition à l'appui de la conservation et du rétablissement du caribou des bois. Disponible à : https://www.ontario.ca/document/range management policy support woodland caribou conservation and recovery. Consulté en novembre 2015.

Moreau, G., D. Fortin, S. Couturier et T. Duchesne. 2012. Réponses fonctionnelles à plusieurs niveaux pour la conservation de la faune : le cas du caribou menacé dans les forêts boréales aménagées. Journal of Applied Ecology 49, 611-620.

Mumma, M.A., Gillingham, député, Parker, K.L., Johnson, C.J., Watters, M., 2018. Risque de prédation pour le caribou des bois boréal dans les paysages modifiés par l'homme : Preuve de réponses spatiales du loup indépendamment de la concurrence apparente. Biol. Conserv. 228, 215–223. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.09.015

Nagy, J.A., W. Wright, T. Slack, I. Ellsworth et M. Kienzler. 2005. Écologie du caribou des bois boréal dans la vallée inférieure du Mackenzie, T.N.-O. : travaux réalisés dans la région d'Inuvik d'avril 2003 à novembre 2004. Ministère des ressources, de la Faune et du Développement économique, Inuvik, NT. 54 p.

Nagy J.A.S. 2011. Utilisation de l'espace par le caribou dans le nord du Canada. Thèse de doctorat, Université de l'Alberta, Edmonton, AB, 164 p.

Nealis V.G., Peter, B., 2008. Évaluation des risques de la Menace que représente le Dendroctone du Pin Ponderosa pour les Forêts de Pins Boréales et de l'Est du Canada. Nat. Res. Canada, Can. Pour. Serv., Pac. Pour. Centre Inf. Rep. BC-X-417. 31p.

Nellemann C., et R.D. Cameron. 1998. Impacts cumulatifs d'un complexe de champs pétrolifères en évolution sur la répartition des caribous vêlants. Revue Canadienne de Zoologie 76(8) : 1425-1430.

Neufeld, B. T, C. Superbie, R.J. Greuel, T. Perry, P.A. tomchuk, D. Fortin et P.D. McLoughlin, 2021. Perturbation - Découplage de la Concurrence Apparente Médiée dans une Aire de Répartition du Caribou Boréal du Nord. Journal of Wildlife Management 1–17; 2020; DOI : 10,1002/jwmg.21982

Newmaster, S.G., Thompson, I.D., Steeves, R.A.D., Rodgers, A.R., Fazekas, A.J., Maloles, J.R., McMullin, R.T., Fryxell, J.M., 2013. Examen de deux nouvelles technologies pour évaluer le régime alimentaire du caribou des bois : enregistreurs vidéos attachés aux colliers et aux barres à code de l'ADN. Can. J.For. Res. 43,897-900. https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0108

Nielsen, S.E., Larsen, T.A., Stenhouse, G.B., Coogan, S.C.P., 2017. Les ressources alimentaires complémentaires du carnivore et du frugivore affectent l'abondance locale d'un carnivore omnivore. Oikos 126, 369–380. https://doi.org/10.1111/oik.03144

Nobert, B.R., T.A Larsen, K.E Pigeon et L. Finnegan, 2020. Caribou dans les tirs croisés? Considérant le fourrage de lichen terrestre face au dendroctone du pin ponderosa (*Dendroctonus ponderosae*) extension. PLoS ONE 15(4) : e0232248. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232248

Oberg, P., 2001. Réponses du caribou des Montagnes aux éléments linéaires dans un paysage du centre-ouest de l'Alberta. Université de l'Alberta.

Page, W. et Jenkins, M. (2007). Comportement prévu du feu chez certains pins tordus infectés par le dendroctone du pin ponderosa. Forest Sciences, 53(6) : 662-674.

Parker, K.L, Barboza, P.S, Gillingham, M.P, 2009. La nutrition intègre les réponses environnementales des ongulés. Functional Ecology 23, 57-69. https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01528.x

Perrakis, D.D.B., Lanoville, R.A., Taylor, S.W. et coll. Modélisation de la propagation des feux de forêt dans les peuplements forestiers touchés par le dendroctone du pin ponderosa, Colombie-Britannique, Canada. fire ecol 10, 10–35 (2014). https://doi.org/10.4996/fireecology.1002010

Peters, W., M. Hebblewhite, N. Decesare, F. Cagnacci et M. Musiani. 2013. L'analyse de la séparation des ressources avec l'orignal indique des menaces pour le caribou dans les paysages modifiés par l'homme. Ecography 36(4) : 487-498.

Pinard V., Dussault C., Ouellet J.P., Fortin D., Courtois R. 2012. Taux de vêlage, taux de survie des faons et choix de l'habitat du caribou forestier dans un paysage hautement aménagé. Journal of Wildlife Management 76 (1) : 189 199.

Polfus, J.L., Hebblewhite, M., Heinemeyer, K., 2011. Identification de la perte indirecte d'habitat et de l'évitement des infrastructures humaines par le caribou des bois des montagnes du Nord. Biol. Conserv. 144, 2637-2646.

Potvin, F., Breton, L., Courtois, R., 2005. Réponse du castor, de l'orignal et du lièvre d'Amérique à la coupe à blanc dans une forêt boréale québécoise : une réévaluation 10 ans après la coupe. Can. J.For. Res. 35, 151-160.

Racey, G.G., et T. Armstrong. 2000. Occupation de l'aire de répartition du caribou des bois dans le nord-ouest de l'Ontario : Passé et présent. Rangifer Special Issue 12: 173 184.

Rapai SB, McColl D, McMullin RT. 2017. Examen du rôle des greffes de lichens terrestres dans la restauration de l'habitat hivernal du caribou des bois. LA CHRONIQUE FORESTIÈRE. VOL. 93, No 3.

Renecker, L.A., Hudson, R.J., 1988. Qualité saisonnière des fourrages utilisés par l'orignal dans la forêt boréale dominée par les trembles, centre de l'Alberta. Ecography, 11, 111-118. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1988.tb00788.x

Rettie, J.W. et F. Messier. 2001. Utilisation de l'aire de répartition et taux de déplacement du caribou des bois en Saskatchewan. Can. J. Zool. 79 : 1933-1940.

Rettie, W. J. et Messier, F. (1998). Les dynamiques des populations du caribou forestier dans la limite sud de l'aire de répartition dans la Saskatchewan. Can. J. Zool. 76-251-259.

Routledge, R.G., Roese, J., 2004. Sélection du régime alimentaire hivernal de l'orignal dans le centre de l'Ontario. Alces, 40, 95-101.

Rughetti, M., Toïgo, C., Von Hardenberg, A., Rocchia, E., Festa-Bianchet, M., 2011. Effets d'un hiver exceptionnellement enneigé sur la survie des chamois. Acta Theriol. (Warsz). 56, 329–333. https://doi.org/10.1007/s13364-011-0040-2

Russell K.L.M. 2018. Rencontres rapprochées de type brûlé : Effets spatio-temporels du feu sur les stratégies de sélection d'habitat du caribou forestier (*Caribou Rangifer tarandus*) pendant l'hiver. Thèse MSc, Université du Nord de la Colombie-Britannique : Prince George, C-B. 135 p.

Safranyik, L., Carroll, A.L., Régnière, J., Langor, D.W., Riel, W.G, Shore, T.L., Peter, B., Cooke, B.J., Nealis, V.G., Taylor, S.W., 2010. Potentiel d'expansion de l'aire de répartition du dendroctone du pin ponderosa dans la forêt boréale d'Amérique du Nord. Canadian Entomologist 142, 415–442

Samuel, W.M., 2007. Facteurs affectant les épizooties de tiques d'hiver et la mortalité de l'orignal. Alces, 43, 39-48.

Schaefer, J.A., et S.P Mahoney. 2007. Effets de la coupe à blanc progressive sur le caribou de Terre-Neuve. Journal of Wildlife Management 71(6) : 1753 1757.

Schaefer, J.A., & Pruitt, W.O. (1991). Caribou de feu et des bois dans le sud-est du Manitoba. Wildlife Monographs, 116, 1–39.

Schneider, R.R., B. Wynes, S. Wasel, E. Dzus et M. Hiltz. 2000. Utilisation de l'habitat par le caribou dans le nord de l'Alberta, Canada. Rangifer. 20 (1) : 43-50.

Schwantje, H., Macbeth, B., Kutz, S.J., Elkin, B.T., 2014. Rapport Final de l'Année 2 du Programme de Santé du Caribou Boréal de la Colombie-Britannique. Victoria, C.-B.

Seip, D.R, 1992. Facteurs limitant les populations de caribous des bois et leurs interrelations avec les loups et les orignaux dans le sud-est de la Colombie-Britannique. Can. J. Zool. 70, 1494-1503.

Serrouya, R., Dickie, M., DeMars, C., Wittmann, M.J., Boutin, S., 2020. Prédire les effets de la restauration des caractéristiques linéaires sur les populations de caribous des bois. Ecol. Modell. 416. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108891

Serrouya, R., Dickie, M., Lamb, C.T., van Oort, H., Kelly, A.P., DeMars, C., McLoughlin, P.D., Larter, N.C., Hervieux, D., Ford, A.T., Boutin, S. , 2021. Conséquences trophiques de l'eutrophisation terrestre pour un ongulé menacé. Proc. R. Soc. B 288. https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2811

Silva J.A. 2020. Feu, lichens et caribou des bois (*Caribou Rangifer tarandus*) dans le Bouclier Boréal du Canada. Thèse MSC, Université de l'Alberta : Calgary, AB. 107 p.

Silva J.A., S.E. Nielsen, P.D. McLoughlin, A.R. Rodgers, C. Hague, S. Boutin. 2020. La comparaison de l'utilisation de l'espace avant et après le feu révèle des réactions variées chez le caribou des bois (*Caribou Rangifer tarandus*) dans le Bouclier boréal. Can. J. Zool. 98 : 751-760.

Singer, F.J., Harting, A., Symonds, K.K., Coughenour, M.B., 1997. Dépendance à la densité, compensation et effets environnementaux sur la mortalité des veaux wapitis dans le parc national de Yellowstone. Journal of Wildlife Management 61, 12–25. https://doi.org/10.2307/3802410

Skatter H.G., M.L. Charlebois, S. Eftestøl, D. Tsegaye, J.E. Colman, J.L. Kansas, K. Flydal, et B. Balicki. 2017. Vivant dans un paysage brûlé : le caribou des bois (*Caribou Rangifer tarandus*) utilisation de parcelles résiduelles après feu pour la mise bas dans une écozone du Bouclier boréal à fort feu et faiblement anthropique. Can. J. Zool. 95 : 975-984.

Smith, K.G. 2004. Démographie et Persistance du Caribou des Bois par Rapport à l'Évolution du Paysage dans le Centre-Ouest de l'Alberta. M.Sc. Thèse, Département des Sciences Biologiques, Université de l'Alberta, Edmonton, AB. 112 p.

Smith, K.G., E.J. Ficht, D. Hobson, T.C. Sorensen et D. Hervieux. 2000. Distribution Hivernale du Caribou Forestier et la Relation avec l'Exploitation à Blanc dans le Centre-Ouest de l' Alberta. Revue Canadienne de Zoologie 78:1433-1440.

Smith, D.W., Trauba, D.R., Anderson, R.K., Peterson, R.O., 1994. Prédation de l'ours noir sur les castors sur une île du lac Supérieur. Am. Midl. Nat. 132, 248-255. https://doi.org/10.2307/2426580

Sorensen, T., McLoughlin, P.D., Hervieux, D., Dzus, E., Nolan, J., Wynes, B., Boutin, S., 2008. Détermination des Niveaux Durables des Effets Cumulatifs pour le Caribou Boréal. J. Wildl. Manage. 72-900-905. https://doi.org/10.2193/2007-079

St. Laurent, M., Dickie, M., Becker, M., Serrouya, R., Boutin, S., 2020. Évaluer les mécanismes de changement du paysage sur les-populations de cerfs de Virginie. J. Wildl. Manage. 1-14. https://doi.org/10.1002/jwmg.21979

Stuart-Smith, A.K., C.J.A. Bradshaw, S. Boutin, D.M. Hebert et A.B. Rippin. 1997. Caribou des Bois par Rapport aux Modèles de Paysage dans le Nord-Est de l'Alberta. Journal of Wildlife Management, 61:622-633.

Thomas, D.C., Edmonds, E.J., Brown, W.K., 1996. Le régime alimentaire des populations de caribous des bois dans le centre-ouest de l'Alberta. Ran, 16, 337-342. https://doi.org/10.7557/2.16.4.1275

Thompson, I.D., Wiebe, P.A., Mallon, E., Rodgers, A.R., Fryxell, J.M., Baker, J.A., Reid, D., 2015. Factors qui influencent le choix alimentaire du caribou forestier (*Rangifer tarandus tarandus*) dans les forets boréales de l'Ontario. Can. J. Zool. 93, 87-98. https://doi.org/10.1139/cjz-2014-0140

Tigner, J., Bayne, E.M., Boutin, S., 2014. Utilisation par l'ours noir des lignes sismiques dans le nord du Canada. J. Wildl. Manage. 78, 282-292. https://doi.org/10.1002/jwmg.664

Timmermann, H.R., McNicol, J.G., 1988. Besoins d'habitat de l'orignal. The Forestry Chronicle 64, 238–245. https://doi.org/10.5558/tfc64238-3

Tracz, B.V. 2005. Caribou des bois (*Caribou Rangifer tarandus*) les relations entre le domaine de répartition et l'utilisation de l'habitat et l'activité industrielle dans le nord-est de l'Alberta. M.Sc. Thèse, Département des Sciences Biologiques, Université de l'Alberta, Edmonton, AB. 99 p.

Tryland, M., Kutz, S., 2019. Santé et Maladies des Rennes et des Caribous. Groupe Taylor et Francis, Boca Raton, Floride.

van Lierop, P., Lindquist, E., Sathyapala, S., Franceschini, G., 2015. Perturbation de la superficie forestière mondiale causée par les incendies, les insectes nuisibles, les maladies et les phénomènes météorologiques violents. Forest Ecology and Management 352, 78–88. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.010

Verocai, G.G, Lejeune, M., Beckmen, K.B., Kashivakura, C.K., Veitch, A.M, Popko, R.A, Fuentealba, C., Hoberg, E.P., Kutz, S.J., 2012. Définition de la biodiversité des parasites aux hautes latitudes de l'Amérique du Nord : Nouveaux enregistrements d'hôtes et géographiques pour *Onchocerca cervipedis* (Nématodes : *Onchocercidés*) chez l'orignal et le caribou. Parasites and Vectors 5, 1. https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-242

Vors, L.S. 2006. Disparition du caribou des bois et perturbation anthropique du paysage en Ontario. M.Sc. thèse, Trent University, Peterborough, Ontario, Canada. 146 p.

Vors, L.S., Schaefer, J.A., Pond, B.A., Rodgers, A.., Patterson, B.., 2007. Disparition du caribou des bois et perturbation anthropique du paysage en Ontario. J. Wildl. Manage. 71-1249-1256. https://doi.org/10.2193/2006-263

Vors, L.S. et M.S. Boyce. 2009. Déclin mondial du caribou et du renne. Global Change Biology 15:2626-2633.

Weclaw, P. et R.J. Hudson. 2004. Simulation de la Conservation et de la Gestion du Caribou des Bois. Ecological Modelling 177 (2004) : 75-94.

Weir, J.N, S.P. Mahoney, B. McLaren et S.H. Ferguson. 2007. Effets du développement minier sur la répartition du caribou forestier Rangifer tarandus. Biologie de la faune 13(1) : 66 74.

Whittington, J., Hebblewhite, M., DeCesare, N.J., Neufeld, L., Bradley, M., Wilmshurst, J., Musiani, M., 2011. Les rencontres entre caribous et loups augmentent près des routes et des sentiers : une approche chronométrée. J. Appl. Ecol. 48, 1535–1542. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02043.x

Wittmer, H.U., Sinclair, A.R.E., Mclellan, B.N., 2005. Le rôle de la prédation dans le déclin et la disparition du caribou des bois. Oecologia 144, 257-267. https://doi.org/10.1007/s00442-005-0055-y

Wotton, B.M., M.E. Alexandre, et S.W. Taylor. 2009. Mises à jour et révisions du Système canadien de prévision du comportement des incendies de forêt de 1992. Rapport d'information GLC-X-10, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault Ste. Marie, Ontario, Canada

Wotton, B.M., Nock, Californie, Flannigan, M.D., 2010. Occurrence des feux de forêt et changement climatique au Canada. Int. J. Wildland Fire 19, 253–271. https://doi.org/10.1071/WF09002