

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

**Utilisation saisonnière actuelle de l'habitat par l'orignal dans le parc national Forillon dans
un contexte de surpopulation**

Marie-Eve Le Ber

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

Janvier 2022

© Marie-Eve Le Ber, 2022

Directeur de recherche : Jérôme Théau (Département de géomatique appliquée, Université de Sherbrooke)

Codirecteur de recherche : Pierre Etcheverry (Parc national Forillon, Parcs Canada)

Membre du jury :

Yannick Huot (Département de géomatique appliquée, Université de Sherbrooke)

Résumé

Le Ber, M.-E. (2022). Utilisation saisonnière actuelle de l'habitat par l'orignal dans le parc national Forillon dans un contexte de surpopulation, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 65 p.

La présence d'une surabondance d'orignaux (*Alces alces*) dans des peuplements forestiers perturbés peut provoquer un ralentissement de la régénération de la forêt au point d'altérer la trajectoire de sa succession écologique, comme il a été observé aux parcs nationaux des Hautes-Terres-du-Cap-Breton et du Gros-Morne dans l'est du Canada. Un phénomène semblable est susceptible de prendre place dans le parc national Forillon au Québec puisque la population d'orignaux dépasse la capacité de support du milieu avec une densité estimée à 25 orignaux par 10 km² en 2020 à la suite d'une épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette. Bien que les inventaires sur le terrain aient permis d'identifier un impact négatif du broutage intensif sur la régénération de la forêt, les méthodes actuelles ne permettent pas de connaître l'amplitude ni l'étendue de la situation. L'objectif principal de ce projet est donc de caractériser l'utilisation saisonnière actuelle de l'habitat par l'orignal dans le parc national Forillon et d'explorer l'influence de l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette sur leur sélection d'habitat afin d'orienter de futurs projets de suivi de la régénération par télédétection. 64 495 données de localisation de femelles et de veaux obtenues entre février 2020 et mars 2021 ont été analysées afin de réaliser une description statistique des déplacements des orignaux et un portrait de leur utilisation saisonnière des peuplements forestiers et de la topographie du parc. Une analyse de densité de noyau a aussi été réalisée pour cartographier les zones les plus utilisées par les orignaux dans le parc. Les résultats ont montré que les orignaux suivis ont parcouru en moyenne 1,26 km par jour. Les orignaux ont utilisé préférentiellement les peuplements forestiers mixtes et résineux de densité entre 25 et 59% et les peuplements feuillus de 1 à 3 m de hauteur, les habitats touchés par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette, les peuplements situés dans une pente faible à douce et les sites situés à 300 m et plus d'altitude. Toutefois, leurs préférences variaient selon les saisons. Les zones les plus utilisées par les orignaux correspondaient aux secteurs montagneux à l'ouest et au sud-ouest du parc. La densité d'orignaux était notamment particulièrement élevée en hiver dans ces secteurs. La description des habitats sélectionnés par l'orignal dans le parc national Forillon et la cartographie de la distribution spatiotemporelle des orignaux dans le parc permettront de mieux planifier le suivi de la régénération de la forêt afin d'éviter de subir une dégradation de l'intégrité écologique des forêts à l'instar d'autres parcs nationaux canadiens.

Mots clés : orignal, *Alces alces*, parc national Forillon, utilisation de l'habitat, surabondance, régénération forestière, tordeuse des bourgeons de l'épinette

Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	vi
Remerciements	vii
1. Introduction.....	1
1.1. Mise en contexte	1
1.2. Problématique	2
1.3. Objectifs.....	3
2. Cadre théorique.....	4
2.1. Écologie de l'espèce	4
2.1.1. Description générale et aire de répartition	4
2.1.2. Alimentation, cycle de vie et habitat.....	5
2.1.3. Régulation naturelle et gestion des populations d'orignaux	8
2.1.4. Impact d'une surabondance d'orignaux sur la forêt	11
3. Matériel et Méthodes	14
3.1. Site d'étude	14
3.2. Données utilisées	15
3.2.1. Données de localisation.....	16
3.2.2. Sélection des périodes pour les analyses saisonnières	17
3.2.3. Variables environnementales	19
3.3. Traitement des données.....	20
3.3.1. Nettoyage des données	21
3.3.2. Statistiques descriptives sur les déplacements saisonniers et annuels	22
3.3.3. Caractérisation de l'utilisation de l'habitat et de l'utilisation des zones affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette.....	23
3.3.4. Identification des concentrations de localisations d'orignaux	23
4. Résultats.....	24
4.1. Description des déplacements des orignaux dans le parc national Forillon	24
4.2. Utilisation de l'habitat par l'original.....	25
4.3. Utilisation des zones affectées par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette	34
4.4. Zones de concentration de l'utilisation par l'original	34

5.	Discussion	37
5.1.	Évaluation de l'atteinte des objectifs de l'essai	37
5.2.	Déplacements des orignaux dans le parc	37
5.3.	Utilisation de l'habitat par l'orignal.....	38
5.4.	Impacts potentiels des patrons d'utilisation de l'habitat de l'orignal sur la forêt	41
5.5.	Limitations de l'essai	42
6.	Conclusion	43
7.	Références.....	44
Annexe 1 – Description statistique des déplacements des orignaux femelles et des veaux dans le parc national Forillon		51
Annexe 2 – Distribution saisonnière de la densité des occurrences d'orignaux (Alces alces) dans le parc national Forillon (cartes grand format)		52

Liste des figures

- Figure 1. Répartition de l'orignal (*Alces alces*) au Québec, Canada (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2015). 5
- Figure 2. Évolution de la densité d'orignaux (nb/10 km²) dans le parc national Forillon de 1982 à 2020. Les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 80% et la courbe (polynomiale d'ordre 4, R² = 0,93) est présentée pour faciliter la visualisation des tendances observées. Les couleurs d'arrière-plan correspondent à l'état de l'intégrité écologique de l'écosystème forestier du parc tel qu'évalué selon la densité d'orignaux, le rouge correspondant à un mauvais état, le jaune à un état passable et le vert à un bon état (Sigouin, 2021)..... 10
- Figure 3. Localisation du site d'étude. Le parc national Forillon est situé au nord-est de la péninsule gaspésienne au Québec, Canada. 15
- Figure 4. Distances quotidiennes moyennes parcourues par les orignaux (*Alces alces*) dans le parc national Forillon au Québec, Canada, du 4 février 2020 au 25 mars 2021 et périodes utilisées pour réaliser les analyses saisonnières. Chaque point représente la moyenne des distances parcourues par les individus pour lesquels des données étaient disponibles à cette date. 18
- Figure 5. Approche méthodologique pour réaliser le projet sur l'utilisation saisonnière de l'habitat par l'orignal (*Alces alces*) dans le parc national Forillon au Québec, Canada. 21
- Figure 6. Diagramme des quartiles de la distribution des distances quotidiennes parcourues par les orignaux femelles (*Alces alces*) et les veaux, seulement les femelles et seulement les veaux dans le parc national Forillon au Québec, Canada, entre le 4 février 2020 et le 25 mars 2021. Les points rouges représentent la distance quotidienne moyenne parcourue. Les valeurs maximales représentent 1,5 fois l'étendue interquartile par rapport au troisième quartile. Les valeurs aberrantes ne sont pas représentées dans le diagramme. 24
- Figure 7. Diagramme des quartiles de la distribution des distances quotidiennes parcourues par les orignaux (*Alces alces*) dans le parc national Forillon au Québec, Canada, lors des périodes de fin de l'hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d'été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020), d'automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre), de début de l'hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l'hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021). Les points rouges représentent la distance quotidienne moyenne parcourue lors de ces périodes. Les valeurs maximales représentent 1,5 fois l'étendue interquartile par rapport au troisième quartile. Les valeurs aberrantes ne sont pas représentées dans le diagramme. 25

- Figure 8. Pourcentage des localisations d’orignaux (*Alces alces*) entre le 4 février 2020 et le 25 mars 2021 dans le parc national Forillon, Québec, Canada, selon : a) le type de couvert des peuplements, b) la classe de hauteur (en mètres) des peuplements, c) la classe de densité (en pourcentage) des peuplements, d) la classe de pente des peuplements et e) la classe d’altitude (en mètres). Les étoiles représentent le pourcentage du territoire du parc national Forillon occupé par chacune des classes des variables environnementales. 27
- Figure 9. Pourcentage des localisations d’orignaux (*Alces alces*) selon le type de couvert des peuplements et la classe de hauteur des peuplements pour les périodes de fin de l’hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d’été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020), d’automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre), de début de l’hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l’hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021) dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les étoiles représentent le pourcentage du territoire forestier du parc national Forillon occupé par chacune des combinaisons de type de couvert et de classe de hauteur des peuplements. 29
- Figure 10. Pourcentage des localisations d’orignaux (*Alces alces*) selon le type de couvert des peuplements et la classe de densité des peuplements pour les périodes de fin de l’hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d’été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020), d’automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre), de début de l’hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l’hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021) dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les étoiles représentent le pourcentage du territoire forestier du parc national Forillon occupé par chacune des combinaisons de type de couvert et de classe de densité des peuplements. 30
- Figure 11. Pourcentage des localisations d’orignaux (*Alces alces*) selon la classe de pente des peuplements pour les périodes de fin de l’hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d’été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020), d’automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre), de début de l’hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l’hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021) dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les étoiles représentent le pourcentage du territoire du parc national Forillon occupé par chacune des classes de pente. 31
- Figure 12. Pourcentage des localisations d’orignaux (*Alces alces*) selon la classe d’altitude pour les périodes de fin de l’hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d’été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020), d’automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre), de début de l’hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l’hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021) dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les étoiles représentent le pourcentage du territoire du parc national Forillon occupé par chacune des classes d’altitude. 32

- Figure 13. Distribution de la densité des occurrences d'orignaux (*Alces alces*) entre le 4 février 2020 et le 25 mars 2021 estimée à partir d'une analyse de densité de noyau et zones affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette lors de l'épidémie des années 1970 et 1980 dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Le graphique présent sur la carte montre le pourcentage des occurrences situées à l'intérieur et à l'extérieur des zones affectées par l'épidémie de tordeuses et les étoiles sur celui-ci indiquent le pourcentage du parc ayant été touché ou non par l'épidémie. 35
- Figure 14. Distribution saisonnière de la densité des occurrences d'orignaux (*Alces alces*) estimée à partir d'une analyse de densité de noyau et zones affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette lors de l'épidémie des années 1970 et 1980 dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les graphiques présents sur les cartes montrent le pourcentage des occurrences situées à l'intérieur et à l'extérieur des zones affectées par l'épidémie de tordeuses et les étoiles sur ceux-ci indiquent le pourcentage du parc ayant été touché ou non par l'épidémie. Les cartes sont disponibles en un plus grand format à l'annexe 2. 36
- Figure 15. Diagramme des quartiles de la distribution des distances quotidiennes parcourues dans le parc national Forillon au Québec, Canada, par a) les orignaux femelles (*Alces alces*) et b) les veaux lors des périodes de fin de l'hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d'été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020) et d'automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre) pour les veaux ainsi que lors des périodes additionnelles de début de l'hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l'hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021) pour les femelles. Les points rouges représentent la distance quotidienne moyenne parcourue lors de ces périodes. Les valeurs maximales représentent 1,5 fois l'étendue interquartile par rapport au troisième quartile. Les valeurs aberrantes ne sont pas représentées dans le diagramme. 51
- Figure 16. Distribution saisonnière de la densité des occurrences d'orignaux (*Alces alces*) estimée à partir d'une analyse de densité de noyau et zones affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette lors de l'épidémie des années 1970 et 1980 dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les graphiques présents sur les cartes montrent le pourcentage des occurrences situées à l'intérieur et à l'extérieur des zones affectées par l'épidémie de tordeuses et les étoiles sur ceux-ci indiquent le pourcentage du parc ayant été touché ou non par l'épidémie. 52

Liste des tableaux

Tableau 1. Sources et descriptions des données utilisées pour l'étude de l'utilisation saisonnière de l'habitat par l'orignal (<i>Alces alces</i>) dans le parc national Forillon, Québec, Canada.....	16
Tableau 2. Dates des différentes périodes utilisées pour réaliser les analyses saisonnières et nombre de localisations d'orignaux (<i>Alces alces</i>) par période.	17
Tableau 3. Liste des variables environnementales utilisées pour réaliser les analyses et énumération des classes de chaque variable.	20

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier grandement mon directeur d'essai Jérôme Théau pour tout son support, son aide et ses conseils. Je voudrais également remercier mon codirecteur d'essai Pierre Etcheverry pour m'avoir partagé ses connaissances par rapport aux orignaux et au parc national Forillon ainsi que pour toutes les rétroactions qu'il m'a fournies. C'est grâce à eux que j'ai pu finaliser mon essai avec succès.

Merci à l'équipe de Parcs Canada de m'avoir partagé leurs connaissances et de m'avoir aidé à orienter mon projet à ses débuts. Merci notamment à Mathieu Côté de m'avoir transmis ses connaissances concernant la succession écologique des forêts du parc national Forillon. Je souhaite aussi remercier Parcs Canada et le professeur Jean-Pierre Tremblay de l'Université Laval pour m'avoir permis d'utiliser leurs données de localisation d'orignaux. Dans le même ordre d'idée, j'aimerais remercier Luc Guindon de Ressources naturelles Canada de m'avoir fourni des données sur les zones atteintes par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette dans le parc national Forillon.

Finalement, je tiens à remercier ma famille qui m'a toujours supporté dans mes études et mon conjoint David Poulin qui m'a permis de terminer ma maîtrise en m'offrant un cadeau précieux : du temps. Sans tout son aide dans les autres sphères de ma vie, je n'aurais jamais eu le temps de finir de rédiger cet essai tout en ayant un emploi à temps plein. Merci du fond du cœur.

1. Introduction

1.1. Mise en contexte

La présence d'orignaux (*Alces alces*) en grande densité dans des écosystèmes perturbés peut altérer le processus de régénération de la forêt dû à leur broutage intensif des gaules. Ce phénomène a notamment été observé dans les sapinières de l'île du Cap-Breton suite à une épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) qui a eu lieu dans les années 70 et 80 (Franklin and Harper, 2016; Smith *et al.*, 2010). Comme la pression provenant du broutage limite la taille des gaules et cause parfois leur mort et comme les espèces intolérantes à l'ombre telles les graminoides profitent du ralentissement de la régénération de la forêt, ces chercheurs anticipent un changement important dans la trajectoire de la succession écologique dans ces peuplements perturbés au point de voir les forêts se transformer en prairie.

Cette même épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette a également modifié la composition et la structure des peuplements forestiers du parc national Forillon, augmentant ainsi la proportion de jeunes peuplements et de feuillus fortement appréciés par les orignaux (Desrosiers *et al.*, 2011; Lévesque, 1997). Semblablement à l'île du Cap-Breton, le parc Forillon présente une densité importante d'orignaux depuis maintenant plusieurs années. En effet, la population d'orignaux a considérablement augmenté depuis 2009, passant de 18 orignaux par 10 km² à 35 orignaux par 10 km² en 2017 (Dampousse, 2020; Parcs Canada, 2020a). Bien que cette densité ait diminué à approximativement 25 individus par 10 km² en 2020 (Sigouin, 2021), elle reste supérieure à la capacité de support du milieu qui est d'environ 20 orignaux par 10 km² (Crête, 1989).

L'étude des mouvements des animaux aide à mieux comprendre leur utilisation de l'espace (Aarts *et al.*, 2008) ainsi que leur impact potentiel sur leur habitat. Les avancées technologiques au cours des 20 dernières années concernant les colliers GNSS permettent d'obtenir des quantités de données de positionnement jamais vues auparavant. La fréquence élevée d'acquisition de données à partir de colliers GNSS qu'il est possible d'obtenir de nos jours permet d'utiliser des modèles de sélection des ressources qui se rapprochent de plus en plus de la réalité (Thurfjell *et al.*, 2014). Ces nouvelles méthodes ouvrent donc la porte à une compréhension encore plus précise des éléments de l'environnement qui influencent la sélection d'habitat des animaux. L'étude des mouvements des individus d'une population permet également de mieux comprendre comment les besoins des orignaux changent selon les saisons (Francis *et al.*, 2021). Une bonne compréhension de

l'utilisation de l'habitat par les animaux et de ses variations saisonnières est essentielle à la réalisation d'un plan de conservation robuste.

1.2. Problématique

Parcs Canada souhaite que le parc national Forillon maintienne l'intégrité écologique de ses écosystèmes forestiers en évitant que la dynamique de la régénération forestière soit fortement altérée comme ce fut le cas au parc national des Hautes-Terres-du-Cap-Breton en Nouvelle-Écosse. En effet, le broutage intensif causé par une surabondance d'orignaux peut altérer la composition chimique des sols (Pastor *et al.*, 1993), la structure des communautés végétales des différentes strates de la forêt (Franklin and Harper, 2016; Parcs Canada, 2011; Smith *et al.*, 2010; Vriendt *et al.*, 2021), l'assemblage des espèces utilisant les peuplements affectés tels que les oiseaux chanteurs (Rae *et al.*, 2014) ainsi que le stade final de la succession écologique de ces peuplements (Thompson *et al.*, 1992). Parcs Canada doit donc avoir un portrait suffisamment complet de l'impact actuel de la surabondance d'orignaux sur la régénération de la forêt dans le parc national Forillon pour établir un plan de gestion des populations d'orignaux efficace qui permettra de limiter la perte d'intégrité écologique des écosystèmes forestiers tout en nuisant le moins possible aux processus naturels. Ce plan de gestion pourrait notamment inclure des méthodes de gestion active des populations telles que la chasse de conservation, le contrôle de la fertilité ou l'utilisation de méthodes incitant les orignaux à se diriger en dehors du parc s'il est évalué qu'une détérioration importante de l'intégrité écologique des forêts du parc est inévitable sans intervention de la part de Parcs Canada.

Pour évaluer l'impact de l'orignal sur l'écosystème forestier, l'équipe du parc national Forillon se base présentement sur l'inventaire de brout réalisé dans des ravages et des exclos (Parcs Canada, 2020a). Les résultats indiquent une augmentation du brout sur une période de 5 ans (2013 – 2018) dans les parcelles témoins par rapport aux exclos, ainsi qu'une divergence de biomasse et de composition en espèces entre les parcelles témoins et les exclos. Toutefois, les résultats obtenus jusqu'à ce jour ne permettent pas d'avoir un portrait complet de l'amplitude ni de l'étendue des impacts du broutage intensif de l'orignal sur la régénération des forêts du parc (Etcheverry *et al.*, 2021; Sigouin, 2021). Comme ces méthodes d'échantillonnage demandent beaucoup de temps et de personnel pour réaliser les inventaires, elles ont le désavantage d'avoir une sensibilité limitée puisque seule une faible portion du territoire peut bénéficier d'un suivi. De plus, la difficulté

d'accès de certaines portions du parc national Forillon, tels les sommets de montagnes, limite les possibilités d'échantillonnage dans certains peuplements potentiellement affectés par le broutage des orignaux. Ces défauts des méthodes d'échantillonnage utilisées présentement empêchent Parcs Canada d'avoir un portrait réellement représentatif de l'état de la régénération des forêts du parc. Si les méthodes de suivi de la régénération de la forêt ne sont pas bonifiées, il y a un risque que la dégradation de l'intégrité écologique de la forêt de certains secteurs soit détectée trop tard pour empêcher la transformation de la forêt en milieu ouvert. Dans cette optique, la télédétection représenterait une avenue intéressante pour améliorer le suivi de la régénération des forêts du parc national Forillon puisque cette technologie permet d'effectuer un suivi sur l'ensemble du territoire à une fréquence beaucoup plus élevée que ce qui est possible grâce aux inventaires sur le terrain.

Une exploration de l'utilisation du territoire par l'orignal serait un premier pas vers une meilleure compréhension de l'impact potentiel de la forte densité d'orignaux sur la régénération de la forêt dans le parc national Forillon. L'analyse des mouvements des orignaux au sein du parc selon les périodes de l'année permettrait de mieux comprendre leurs préférences en termes d'habitat tant pour l'alimentation que comme protection contre les conditions climatiques. Comme les habitats les plus utilisés risquent de faire partie de ceux sur lequel l'orignal a le plus d'impact, ces analyses permettront de bonifier le portrait des répercussions potentielles de la surabondance d'orignaux sur les forêts en régénération du parc et de comment ces répercussions pourraient différer dans les zones perturbées par l'épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette. Elles permettront également d'orienter les futurs efforts de suivi de l'intégrité des forêts du parc tant par télédétection que par échantillonnage sur le terrain en ayant une meilleure connaissance des zones les plus utilisées actuellement par l'orignal et des zones qui sont à risque d'être fortement utilisées dû à la présence de peuplements préférés par l'orignal.

1.3. Objectifs

L'objectif général de l'essai est de caractériser l'utilisation saisonnière de l'habitat par l'orignal dans le parc national Forillon au Québec pour l'année 2020 et le début de l'année 2021 et d'explorer le lien entre leur utilisation de l'habitat et les secteurs affectés par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette ayant sévi dans le parc de 1975 à 1985.

Les objectifs spécifiques du projet sont de:

- Réaliser une description statistique saisonnière des déplacements quotidiens des orignaux.
- Identifier les caractéristiques environnementales de l’habitat sélectionné par les orignaux au sein du parc national selon les périodes de l’année.
- Déterminer si les orignaux utilisent de manière préférentielle les zones affectées par l’épidémie de tordeuses des bourgeons de l’épinette dans le parc national Forillon.
- Identifier des zones les plus utilisées par l’original dans le parc national Forillon.

2. Cadre théorique

2.1. Écologie de l’espèce

2.1.1. Description générale et aire de répartition

L’original (*Alces alces*) est le plus grand représentant de la famille des cervidés, les mâles adultes pesant généralement entre 360 et 600 kg (Franzmann and Schwartz, 2007). L’espèce est facilement reconnaissable par sa silhouette, caractérisée par une bosse à la hauteur des épaules, un long museau bulbeux, un fanon pendant sous le cou et un panache en forme de larges palettes chez les mâles adultes, qui tombe en hiver (Breton *et al.*, 2014) et repousse au printemps. Une autre caractéristique importante de l’espèce est ses pattes élancées qui lui permettent d’enjamber les obstacles présents dans son habitat tels que la neige et les troncs d’arbres au sol (Kelsall, 1969). L’original a une aire de répartition circumpolaire dans l’hémisphère nord et est observable principalement dans les forêts boréales (Franzmann and Schwartz, 2007). Au Québec, sa présence s’étend également aux forêts mixtes et feuillues au sud de la province (figure 1) (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2015). L’original a une importance économique et culturelle substantielle au Québec (ÉcoRessources, 2014; Jacqmain *et al.*, 2008; Lefort et Massé, 2015; Tendeng, 2014). C’est notamment l’animal pour lequel les retombées économiques de la chasse sont les plus élevées. Celles-ci correspondaient à 124 M\$ de produit intérieur brut (PIB) et 1885 emplois en 2012 (ÉcoRessources, 2014).



Figure 1. Répartition de l'orignal (*Alces alces*) au Québec, Canada (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2015).

2.1.2. Alimentation, cycle de vie et habitat

L'orignal est un herbivore généraliste qui se nourrit principalement des feuilles des arbres et des arbustes ainsi que de leurs ramilles en hiver. En Amérique du Nord, au moins 221 espèces de plantes différentes ont été identifiées comme étant consommées par l'orignal, mais seules quelques espèces composent la majorité de son régime alimentaire. Ses préférences en termes de plantes changent avec les saisons, potentiellement dû aux variations de qualité et de disponibilité des

espèces végétales (Franzmann and Schwartz, 2007), ce qui influence sa sélection d'habitat au fil des saisons (Samson *et al.*, 2002).

Chez les femelles, le cycle de reproduction a également une grande influence sur leur choix en termes d'habitat dû aux changements de leurs besoins énergétiques et à la vulnérabilité des veaux à la prédation (McLaren *et al.*, 2017; Poole *et al.*, 2007; Severud *et al.*, 2019). Le cycle de reproduction de l'orignal débute avec la période du rut de septembre à octobre. Si la fécondation n'a pas lieu lors du premier œstrus, la femelle sera de nouveau en œstrus 20 à 30 jours plus tard (Schwartz, 1992). Chez l'orignal, le taux de gestation moyen est de 85% (Ruprecht *et al.*, 2016). La gestation dure entre 216 et 240 jours (Schwartz, 1992), la mise bas ayant généralement lieu de la mi-mai à la mi-juin (Chekchak *et al.*, 1998; Franzmann and Schwartz, 2007). Le pic de la lactation est atteint en juin et le sevrage des veaux a lieu vers l'âge de 5 mois. Les veaux restent généralement avec leur mère jusqu'à la prochaine mise bas (Franzmann and Schwartz, 2007).

Ce cycle, combiné aux changements saisonniers de disponibilité en nourriture et de conditions climatiques amène l'orignal à préférer différents types d'habitats selon la période de l'année (Dussault, Ouellet, *et al.*, 2005; Franzmann and Schwartz, 2007; Samson *et al.*, 2002). Plusieurs auteurs divisent ainsi l'année en cinq périodes importantes pour l'orignal : le rut (septembre – octobre), le début de l'hiver (octobre – janvier), la fin de l'hiver (janvier – mai), le printemps/la mise bas (avril – juin) et l'été (juin – septembre; Samson *et al.*, 2002). Les dates exactes de ces périodes varient selon la zone géographique ainsi que selon les conditions climatiques pour les périodes hivernales (Dussault, Ouellet, *et al.*, 2005).

Durant la période du rut, des chercheurs ont observé dans la réserve faunique des Laurentides que les femelles passent la majorité de leur temps dans des habitats d'alimentation. Elles passent également à travers des habitats offrant du couvert le jour, mais les évitent la nuit. Les mâles, quant à eux, doublent leur taux de déplacement durant cette même période sans sélectionner particulièrement des habitats d'alimentation ou de couvert puisqu'ils priorisent la recherche de femelles (Leblond *et al.*, 2010). Dans le parc national de la Jacques-Cartier, les orignaux préféreraient les peuplements feuillus et mélangés récemment perturbés (habitat d'alimentation), les peuplements feuillus et mélangés à feuillus tolérants âgés d'au moins 50 ans (habitat de couvert et d'alimentation), les peuplements feuillus et mélangés à feuillus intolérants âgés d'au moins 50 ans

(habitat de couvert) et les peuplements résineux récemment perturbés durant cette période (Samson *et al.*, 2002).

Lorsque l'hiver arrive, les orignaux tentent de minimiser les pertes d'énergies associées aux déplacements dans la neige en recherchant des habitats présentant un couvert offrant une protection contre les intempéries près d'habitats riches en brout (Kelsall, 1969; Samson *et al.*, 2002). Ainsi, au début de l'hiver, les orignaux préféraient les peuplements mélangés et feuillus à feuillus intolérants âgés d'au moins 50 ans dans le parc national de la Jacques-Cartier (habitat de couvert), suivis des peuplements feuillus et mélangés récemment perturbés (habitat d'alimentation) et des peuplements feuillus et mélangés à feuillus tolérants âgés d'au moins 50 ans (habitat d'alimentation; Dussault, Ouellet, *et al.*, 2005). Les orignaux sont également plus grégaires durant les deux périodes hivernales et tendent à former des ravages de quelques individus (Franzmann and Schwartz, 2007).

Durant la fin de l'hiver, les quantités importantes de neige au sol vont limiter encore plus les déplacements des orignaux qui vont se réfugier dans des habitats présentant un bon couvert de résineux (Leblond *et al.*, 2010; Samson *et al.*, 2002). L'énergie solaire atteignant le sol influence également la sélection de l'habitat par l'orignal durant cette période, possiblement à cause d'une couche nivale réduite lorsque l'énergie solaire est plus importante ainsi que des conditions thermiques moins rudes (Leblond *et al.*, 2010). Dans la réserve faunique de Matane, les quatre espèces composant la majorité du brout de l'orignal en hiver étaient l'érable à épis (*Acer spicatum*), le sapin baumier (*Abies balsamea*), le noisetier à long bec (*Corylus cornuta*) et le bouleau blanc (*Betula papyrifera*; Crête and Bédard, 1975).

Au printemps, les orignaux recherchent des milieux riches en nourriture tels que les milieux présentant une strate arbustive dense ainsi que des milieux leur conférant une certaine protection contre les prédateurs et la chaleur du soleil (Samson *et al.*, 2002). Dans le parc national de la Jacques-Cartier, les orignaux préféraient ainsi les peuplements mélangés et feuillus récemment perturbés (habitat d'alimentation), suivis par les peuplements mélangés et feuillus à feuillus intolérants âgés d'au moins 50 ans (habitat de couvert) et des peuplements feuillus et mélangés à feuillus tolérants âgés d'au moins 50 ans (habitat de couvert et d'alimentation; Dussault, Ouellet, *et al.*, 2005). L'énergie solaire atteignant le sol influence également la sélection de l'habitat par l'orignal durant cette saison (Leblond *et al.*, 2010). Pour ce qui est des habitats sélectionnés lors

de la mise bas, différentes stratégies sont utilisées par les femelles. Dans les environnements montagneux, certaines femelles choisissent de se déplacer en altitude pour mettre bas même si ces milieux se révèlent moins riches en brout, potentiellement dans l'objectif d'éviter les prédateurs (Poole *et al.*, 2007). D'autres femelles choisissent plutôt des habitats riches en nourriture situés près de plans d'eau ou des milieux ouverts, possiblement pour être en mesure de percevoir les prédateurs rapidement (McLaren *et al.*, 2017; Poole *et al.*, 2007). Les femelles choisissent généralement des sites de mise bas dans des pentes douces (McLaren *et al.*, 2017), ce qui correspond aux préférences de l'orignal toutes saisons confondues observées par Leblond *et al.* (2010).

En été, l'habitat recherché par l'orignal est très semblable à celui sélectionné au printemps hors de la période de la mise bas (Dussault, Ouellet, *et al.*, 2005; Samson *et al.*, 2002). Durant cette saison, les orignaux vont également utiliser les milieux humides, les plans d'eau et les cours d'eau pour se rafraîchir, limiter le harcèlement par les insectes et satisfaire leurs besoins plus élevés en sodium dus à la mue, à la croissance des bois ou à la lactation en consommant des plantes aquatiques ou de l'eau à forte teneur en sel (Ditmer *et al.*, 2018; Samson *et al.*, 2002). Au niveau des plantes ligneuses consommées, des analyses génétiques d'échantillons fécaux collectés dans le parc national de la Gaspésie ont montré que les orignaux avaient une diète composée à 62% de bouleau (*Betula sp.*), 9% de gadellier amer (*Ribes triste*), 8% d'aulne rugueux (*Alnus rugosa*), 7% de sapin baumier, 3% d'airelle rouge (*Vaccinium vitis-idaea*) et 2% d'érable à épis, les autres espèces représentant chacune 1% ou moins de leur alimentation (Christopherson *et al.*, 2019).

2.1.3. Régulation naturelle et gestion des populations d'orignaux

Les populations d'orignaux au Québec ont globalement connu une croissance entre 1990 et 2010. Toutefois, cette croissance s'est ralentie durant le plan de gestion 2004-2010 du gouvernement du Québec par rapport au plan de gestion précédent. En effet, la récolte de mâles adultes a augmenté de 10% entre 1999 et 2003, mais n'a augmenté que de 3% entre 2004 et 2010. Cette augmentation durant le plan de gestion 2004-2010 est attribuable à la croissance des populations au sud du fleuve Saint-Laurent, les populations au nord s'étant plutôt stabilisées. Lors de la dernière estimation du nombre d'orignaux au Québec en 2010, la province comptait 120 000 bêtes (Lefort et Massé, 2015).

En l'absence d'intervention de la part des humains, la prédation est un des principaux facteurs limitants de la croissance des populations d'orignaux, particulièrement dans les milieux où le loup (*Canis lupus*) est présent (Franzmann and Schwartz, 2007). Dans les régions où celui-ci est absent comme en Gaspésie, l'ours noir (*Ursus americanus*) et le coyote (*Canis latrans*) assureraient une certaine pression de prédation (Benson and Patterson, 2013; Boisjoly *et al.*, 2010), mais pas suffisamment pour limiter les populations d'orignaux en croissance (Lefort et Massé, 2015). Les fortes densités d'orignaux pourraient accentuer la transmission de maladies et de parasites tels que la tique d'hiver (*Dermacentor albipictus*) ainsi que la compétition pour les ressources alimentaires, ce qui contribuerait à la régulation naturelle des populations (Lefort et Massé, 2015; Musante *et al.*, 2010).

Néanmoins, la chasse et les collisions routières restent généralement les sources de mortalité les plus importantes chez l'orignal (Musante *et al.*, 2010). Au Québec, 20 031 orignaux ont été chassés en 2020 (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2021). La gestion des populations d'orignaux au Québec se fait d'ailleurs principalement par la chasse en modulant les modalités d'exploitation de l'orignal selon les objectifs déterminés pour chaque zone de chasse. L'objectif global est de conserver une densité d'orignaux agréable pour les chasseurs tout en s'assurant de maintenir les populations sous la capacité de support du milieu (Lefort et Massé, 2015). Celle-ci est évaluée à environ 20 orignaux/10 km² dans la forêt boréale de l'est du Québec (Crête, 1989).

Dans la zone de chasse 1 qui englobe la région touristique de la Gaspésie, l'objectif du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs est de ralentir la croissance des populations d'orignaux afin qu'elles se stabilisent autour de 10 orignaux/10 km². C'est à cette densité, qui représente la moitié de la capacité de support du milieu, que la récolte maximale par la chasse peut être maintenue tout en préservant une population viable à long terme (rendement maximum soutenu). Pour y arriver, la chasse aux mâles et aux veaux est autorisée chaque année et des permis spéciaux d'exploitation des femelles sont attribués par tirage au sort. Le nombre de permis spéciaux émis annuellement est déterminé en fonction de l'objectif que 50 femelles adultes soient prélevées pour chaque 100 mâles adultes (Lefort et Massé, 2015).

Dans les parcs nationaux fédéraux où la chasse est interdite, la taille des populations est suivie par des inventaires aériens ainsi que par des inventaires utilisant des caméras. Des inventaires de brouit sont également réalisés dans des ravages et dans des exclos afin d'évaluer l'impact des orignaux

sur la végétation des parcs (Parcs Canada, 2020a). Lorsque la densité d'orignaux représente un danger pour l'intégrité de l'écosystème, des méthodes de contrôle telles que des programmes de gestion des populations faisant appel à des chasseurs licenciés peuvent être utilisées. Cette méthode de contrôle a notamment été utilisée dans les parcs nationaux Terra-Nova et du Gros-Morne sur l'île de Terre-Neuve ainsi que dans le parc national des Hautes-Terres-du-Cap-Breton, en Nouvelle-Écosse (Parcs Canada, 2019, 2020b, 2020c).

Dans le parc national Forillon, la population d'orignaux s'est accrue depuis la création du parc, passant d'environ 2 orignaux/10 km² en 1973 à 5,5 en 1997, puis à 18 en 2009, 34 en 2017 pour finalement retourner aux environs de 25 orignaux/10 km² en 2020 (figure 2). Cette forte croissance peut être attribuée, entre autres, à l'augmentation des ressources alimentaires suite au passage de l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette dans les années 70 et 80, à l'absence de contrôle des populations par la chasse et à la faible pression de prédation (Etcheverry *et al.*, 2021), le loup étant absent de ce territoire depuis plus d'un siècle (Jolicoeur, 2003).

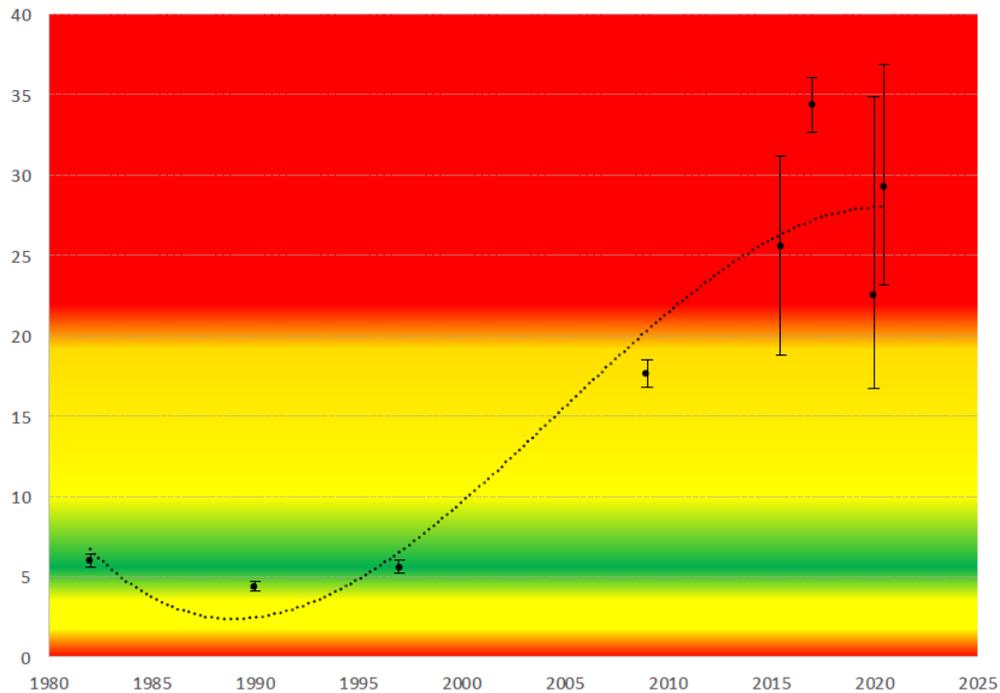


Figure 2. Évolution de la densité d'orignaux (nb/10 km²) dans le parc national Forillon de 1982 à 2020. Les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 80% et la courbe (polynomiale d'ordre 4, $R^2 = 0,93$) est présentée pour faciliter la visualisation des tendances observées. Les couleurs d'arrière-plan correspondent à l'état de l'intégrité écologique de l'écosystème forestier du parc tel qu'évalué selon la densité d'orignaux, le rouge correspondant à un mauvais état, le jaune à un état passable et le vert à un bon état (Sigouin, 2021).

2.1.4. Impact d'une surabondance d'orignaux sur la forêt

Lorsque les densités d'orignaux sont très élevées, la régénération des forêts suite à une perturbation telle qu'une épidémie d'insectes ou une coupe forestière peut être fortement altérée par leur pression de broutage au point de causer des changements importants dans la trajectoire de succession écologique du milieu (Franklin and Harper, 2016; Smith *et al.*, 2010). Dans ces forêts, le broutage intensif par les orignaux a tout d'abord un effet négatif sur la croissance verticale des arbres. Cela a pour conséquence de les maintenir dans un état où ils sont vulnérables à l'herbivorie et donc de les empêcher d'atteindre la canopée. Ce phénomène a notamment été observé chez les sapins baumiers du parc national du Gros-Morne, même si cette espèce est généralement moins appréciée par l'orignal dû à sa haute teneur en fibres non digestibles et en métabolites secondaires liés aux mécanismes de défense des plantes (Nosko *et al.*, 2020). Il a également été observé sur d'autres sites situés sur l'île de Terre-Neuve incluant le parc national Terra-Nova, où le broutage intensif par les orignaux n'aurait pas eu d'impact sur la diversité en espèces ni sur la présence d'espèces préférées par l'orignal, mais aurait eu un effet négatif sur la taille de ces espèces (Ellis and Leroux, 2017). Dans deux réserves fauniques et une zone d'exploitation contrôlée de la Gaspésie, la pression de broutage des orignaux suite à des coupes totales avec protection de la haute régénération et des sols a modifié la structure des communautés de plantes et a augmenté le couvert de framboisier rouge (*Rubus idaeus*). Lorsque la pression de broutage était élevée, l'abondance de gaules ainsi que le couvert de sapin baumier étaient réduits et le framboisier représentait plus de 60% du couvert végétal. Comme les couverts denses de framboisier ont tendance à entraver la régénération des arbres, la composition et la structure de ces sapinières à bouleau blanc risquent d'être altérées si le broutage intensif persiste (Vriendt *et al.*, 2021).

Lorsque la pression de broutage élevée est maintenue à long terme, le ralentissement de la régénération de la forêt bénéficie aux espèces intolérantes à l'ombre et aux graminoides. La composition en espèce peut ainsi être altérée au point de transformer la forêt en prairie (Franklin and Harper, 2016; Smith *et al.*, 2010). C'est notamment ce qui a été observé dans le parc national Terra-Nova, où les orignaux ont altéré 73 km² de forêt du parc, dont 13 km² qui ont été entièrement convertis en milieux ouverts (Parcs Canada, 2019). Le même scénario a été observé au parc national des Hautes-Terres-du-Cap-Breton en Nouvelle-Écosse où 11% du parc a vu ses forêts être

converties en prairies (Parcs Canada, 2020d) et au parc national du Gros-Morne où 65 km² de forêt ont ainsi été perdus (Parcs Canada, 2020b).

Ces changements importants au niveau de la végétation se répercutent également chez les espèces qui utilisaient ces peuplements comme habitat avant la perturbation. Des chercheurs ont constaté que la présence d'habitats dégradés par le broutage intensif des orignaux provoque des changements dans les assemblages d'oiseaux chanteurs qui s'étendent même à l'extérieur des milieux affectés par les orignaux. Ils ont notamment observé un déclin des espèces considérées comme des spécialistes d'habitats forestiers telles que la paruline à gorge noire (*Setophaga virens*) et des généralistes d'habitats forestiers tels que la mésange à tête brune (*Poecile hudsonicus*), mais une augmentation des espèces pionnières comme la paruline triste (*Geothlypis philadelphia*). Le broutage intensif par l'orignal a ainsi contribué au déclin de plusieurs populations d'oiseaux forestiers dans le parc national du Gros-Morne dû à la diminution de leur habitat de nidification et d'alimentation (Rae *et al.*, 2014).

Afin de surveiller l'intégrité de l'écosystème forestier en présence de densités élevées d'orignaux, des dispositifs d'exclos sont généralement utilisés (Ellis and Leroux, 2017; Etcheverry *et al.*, 2021; Nosko *et al.*, 2020; Pendergast IV *et al.*, 2016; Vriendt *et al.*, 2021). Ces dispositifs sont composés de paires de parcelles possédant les mêmes caractéristiques où l'une sera grillagée pour empêcher le broutage par les orignaux (exclos) et l'autre sera laissée accessible aux herbivores (témoin). Le suivi de différentes caractéristiques de la végétation dans ces parcelles permet d'avoir un aperçu des répercussions du broutage des orignaux sur celles-ci. L'avantage de cette technique est qu'elle permet autant de connaître l'impact sur des espèces végétales spécifiques que sur la structure des communautés, ainsi que d'obtenir plus d'information sur les paramètres affectés. Le désavantage est qu'elle nécessite que le dispositif soit en place pendant plusieurs années pour obtenir des données représentatives de l'impact du broutage. D'autres chercheurs optent plutôt pour analyser les changements des caractéristiques de la végétation dans des parcelles ou des transects présentant un gradient de densité de cervidés (Iijima and Nagaike, 2015; Smith *et al.*, 2010). Cette méthode a l'avantage de ne nécessiter qu'une saison de collecte de données. Toutefois, la fiabilité des résultats obtenus varie selon la qualité des inventaires de cervidés à partir desquels les gradients de densité ont été déterminés. Ces deux méthodes ont également le désavantage de nécessiter beaucoup de travail de terrain et d'avoir une sensibilité limitée due à l'échantillonnage. En effet,

selon la méthode d'échantillonnage utilisée, les peuplements dégradés par la pression de broutage pourraient ne pas être inclus dans les parcelles échantillonnées, par exemple lorsque des milieux difficiles d'accès sont évités.

Pour éviter ce problème, les patrons de régénération peuvent être observés par télédétection en analysant des séries d'images satellitaires (Rae *et al.*, 2014) et les prairies créées par le broutage peuvent être identifiées par photo-interprétation (MacSween *et al.*, 2019). Toutefois, ces méthodes de télédétection ne permettent pas d'obtenir un portrait de la végétation située sous le couvert forestier (Rae *et al.*, 2014). La technologie LiDAR (Light Detection and Ranging), qui produit un nuage de points 3D permettant de décrire la structure des objets, montre un grand potentiel pour surmonter cette problématique. Le LiDAR émet des pulsations laser de courte durée qui sont réfléchies par les surfaces rencontrées. À l'aide du temps écoulé entre l'émission du signal et la réception du signal par le capteur, il est possible de calculer la distance entre le capteur et la surface sur laquelle le signal a réfléchi (Lefsky *et al.*, 2002). Dans un milieu forestier, le nuage de point obtenu contiendra à la fois des mesures provenant de signaux réfléchis sur la canopée et de signaux réfléchis sous la canopée. Il est donc possible par segmentation de séparer la canopée de chaque arbre dans le nuage de points autant horizontalement que verticalement, ce qui permet d'obtenir des données sur la structure des arbres dans les différents étages de la canopée (Hamraz *et al.*, 2017). La possibilité de détecter des peuplements broutés par les orignaux à l'aide de données LiDAR a été démontrée par Melin *et al.* (2016) pour des peuplements composés majoritairement de semis de pins. La perte de biomasse d'aiguilles et les changements de la forme des pins dus à la perte de branches et de ramilles provoquent un changement de structure chez les peuplements endommagés par le broutage identifiable à l'aide de données LiDAR. La méthodologie utilisée par ces chercheurs combinée à la segmentation serait une avenue prometteuse pour obtenir un portrait de la régénération de la forêt et des dommages causés par le broutage des orignaux dans les étages inférieurs de la végétation. D'autres chercheurs ont également montré que le LiDAR tant aéroporté que spatioporté (capteur GEDI de la NASA) permet de détecter la défoliation des pruches du Canada par le puceron lanigère de la pruche (*Adelges tsugae*) dans les étages intermédiaires de la végétation (Boucher *et al.*, 2020). La technologie LiDAR offre ainsi des possibilités très intéressantes pour effectuer le suivi de perturbations sous la canopée de la forêt.

3. Matériel et Méthodes

3.1. Site d'étude

Le parc national Forillon occupe un territoire de 244,8 km² à l'extrémité nord-est de la péninsule gaspésienne, formant une pointe entre le golfe du Saint-Laurent au nord et la baie de Gaspé au sud (figure 3). Ce parc est caractérisé par ses paysages spectaculaires et par sa grande richesse en espèces puisqu'on y retrouve à la fois des écosystèmes forestiers, aquatiques, côtiers et marins. Sa topographie accidentée est représentative de la chaîne des Appalaches et possède une étendue d'altitudes allant de 0 à 554 m au-dessus du niveau de la mer. La température moyenne à la station météorologique la plus près (Cap-des-Rosiers) est de -9,8 °C en janvier et de 16,2 °C en juillet, avec des précipitations annuelles moyennes de 1195,1 mm. Le mois de mars est celui présentant l'épaisseur de neige au sol la plus élevée avec une moyenne de 75 cm (Environnement et Changement climatique Canada, 2021). On retrouve dans le parc Forillon 639 espèces de plantes vasculaires, 60 espèces de mammifères, plus de 260 espèces d'oiseaux, 11 espèces d'amphibiens et une espèce de reptiles (Parcs Canada, 2010). La forêt, qui couvre 97% du parc, se présente sous la forme de forêt mixte et de forêt boréale et comporte trois communautés végétales principales : la sapinière à bouleau jaune, l'érablière à bouleau jaune et la sapinière à bouleau blanc (Parcs Canada, 2020e). Un enjeu important auquel fait face le parc national Forillon est l'isolement progressif du parc des écosystèmes environnant dû au développement résidentiel lié à la route 197 qui longe le seul côté du parc qui n'est pas bordé d'eau. Cet isolement va représenter une barrière importante aux mouvements de la faune entre le parc et les autres écosystèmes de la région (Parcs Canada, 2010).

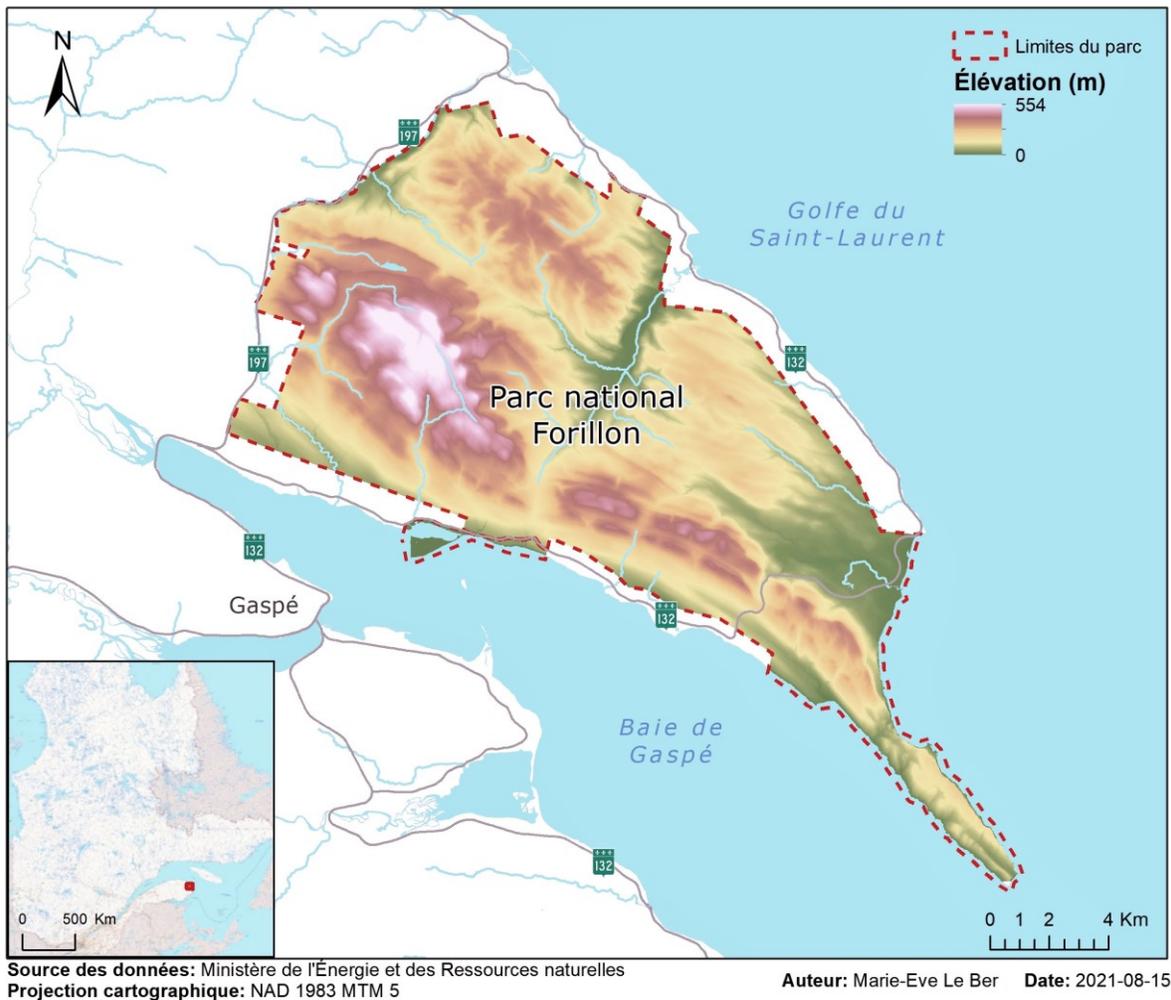


Figure 3. Localisation du site d'étude. Le parc national Forillon est situé au nord-est de la péninsule gaspésienne au Québec, Canada.

3.2. Données utilisées

Quatre types de données ont été utilisées pour réaliser les analyses : les limites du parc national Forillon, les données de positionnement d'originaux, les données des variables environnementales (données écoforestières et modèle numérique de terrain) et les données des zones défoliées par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette. De plus, les données d'épaisseur de neige au sol ont été utilisées pour sélectionner les dates des périodes de début de l'hiver et de fin de l'hiver (tableau 1).

Tableau 1. Sources et descriptions des données utilisées pour l'étude de l'utilisation saisonnière de l'habitat par l'orignal (*Alces alces*) dans le parc national Forillon, Québec, Canada.

Donnée	Variable utilisée	Format	Échelle et résolution	Source
Couche des territoires récréatifs du Québec à l'échelle de 1/100 000	Limites du parc national Forillon	Vectorel	1 : 100 000	MERN ¹ , 2019
Données de positionnement de l'orignal dans le parc national Forillon	Données de positionnement de l'orignal	Vectorel	S.O.	Parcs Canada, 2021
Carte écoforestière avec perturbations	Peuplements forestiers et pentes	Vectorel	1 : 250 000	MFFP ² , 2020
Modèle numérique de terrain à l'échelle de 1/20 000	Altitude	Matriciel	1 : 20 000; 10 m	MERN ¹ , 2019b
Zones atteintes par la tordeuse des bourgeons de l'épinette entre 1975 et 1984	Zones défoliées par la tordeuse	Vectorel	30 m	Guindon, s. d.
Rapport de données quotidiennes de l'aéroport de Gaspé	Neige au sol	Table de données	S.O.	ECCC ³ , 2020

¹ : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles; ² : Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs;

³ : Environnement et Changement climatique Canada

3.2.1. Données de localisation

Les données de localisation de 25 orignaux ont été utilisées pour réaliser les analyses, soit 13 femelles et 12 veaux. Les colliers GNSS ont été posés entre le 4 février et le 11 mars 2020. Les modèles de colliers posés sur les femelles sont des VERTEX Lite-4D et ceux posés sur les veaux des VERTEX Lite-3D. Les deux modèles utilisent le système de communication satellitaire Iridium. Les colliers étaient programmés pour collecter une donnée de position à chaque trois heures. Les colliers des veaux étaient programmés pour tomber le 25 octobre 2020. Les données des femelles utilisées pour les analyses couvrent la période allant de la pose du collier au 25 mars 2021. Celles de veaux vont de la pose du collier au 24 octobre 2020. Au total, 64 514 données de localisations ont été acquises.

3.2.2. Sélection des périodes pour les analyses saisonnières

Pour réaliser les analyses saisonnières, l'année a été divisée en cinq périodes en tenant compte de la biologie de l'espèce. Les cinq périodes sont donc la fin de l'hiver, le printemps (mise bas), l'été, l'automne (rut) et le début de l'hiver (tableau 2). Comme les données de localisations disponibles allaient du début février 2020 à la fin mars 2021, les périodes de fin d'hiver des années 2020 et 2021 ont été considérées dans les analyses, et ce, de manière séparée due aux grandes différences de conditions climatiques entre les deux années.

Tableau 2. Dates des différentes périodes utilisées pour réaliser les analyses saisonnières et nombre de localisations d'orignaux (*Alces alces*) par période.

Période	Date de début	Date de fin	Nombre de données de localisation
Fin de l'hiver 2020	4 février 2020	17 avril 2020	10 988
Printemps 2020	18 avril 2020	28 juin 2020	14 378
Été 2020	29 juin 2020	9 septembre 2020	14 578
Automne 2020	10 septembre 2020	24 octobre 2020	8 973
Début de l'hiver 2020	25 octobre 2020	2 février 2021	10 437
Fin de l'hiver 2021	3 février 2021	25 mars 2021	5 141

La fin de l'hiver est marquée par un confinement des orignaux dans les ravages dû à l'épaisseur de la neige au sol qui augmente les coûts énergétiques de leurs déplacements (Dussault, Ouellet, *et al.*, 2005; Kelsall, 1969; Leblond *et al.*, 2010). Les dates délimitant la période de fin de l'hiver ont donc été déterminées par l'épaisseur de la neige au sol (épaisseur d'au moins 60 cm), les variations de distance journalière parcourue par les orignaux et par la période de disponibilité des données de localisation. Pour la fin de l'hiver 2020, le début de la période correspond à la pose des colliers GNSS puisque celle-ci a eu lieu durant le confinement de fin d'hiver des orignaux. La date de fin de cette même période a été déterminée en tenant compte des données d'épaisseur de neige (épaisseur inférieure à 60 cm) et de l'augmentation distincte des déplacements des orignaux qui persiste dans le temps et qui a été identifiée par l'examen graphique de l'évolution de la distance quotidienne moyenne parcourue par les orignaux (figure 4). Pour la fin de l'hiver 2021, le début de la période a été déterminé par l'épaisseur de la neige au sol et la diminution plus importante des déplacements des orignaux. La fin de cette période correspond aux dernières données de

localisation disponibles, mais également à l'atteinte d'une épaisseur de neige au sol et d'une augmentation des déplacements comparable à l'année précédente (figure 4). En effet, l'épaisseur de la neige au 25 mars 2021 (27 cm) était même inférieure à celle au 16 avril 2020 (38 cm).

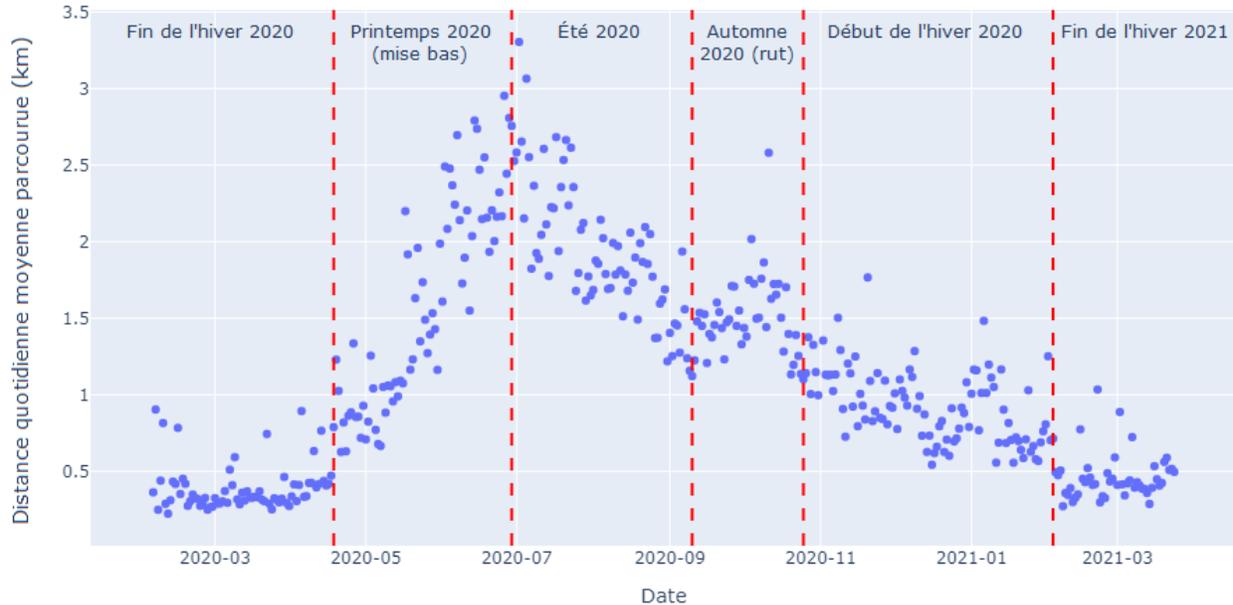


Figure 4. Distances quotidiennes moyennes parcourues par les orignaux (*Alces alces*) dans le parc national Forillon au Québec, Canada, du 4 février 2020 au 25 mars 2021 et périodes utilisées pour réaliser les analyses saisonnières. Chaque point représente la moyenne des distances parcourues par les individus pour lesquels des données étaient disponibles à cette date.

Le printemps se distingue par une augmentation des déplacements des orignaux à la recherche de nourriture et par la mise bas (Samson *et al.*, 2002). À l'approche de la mise bas, les femelles vont généralement se déplacer sur une grande distance puis sélectionner un lieu où mettre bas. Les femelles restent alors au même site pendant une période allant de quelques jours à un peu plus de deux semaines (Severud *et al.*, 2015, 2019). Les dates de début et de fin de la période du printemps ont donc été déterminées à l'aide de la date de fin de l'hiver et de la date de fin de la dernière mise bas. Le moment de la mise bas a pu être identifié chez 11 des 13 femelles à l'aide de l'examen graphique des distances quotidiennes parcourues par celles-ci. La période entourant la mise bas pouvait alors être identifiée par une augmentation soudaine de la distance quotidienne parcourue suivie d'un arrêt des déplacements. La date où la dernière femelle a recommencé à se déplacer suite à la mise bas a été sélectionnée comme date de fin de la période du printemps. Chez les femelles suivies dans le cadre de ce projet, la période de mise bas allait du 17 mai au 28 juin.

La période d'été débute à la suite de la mise bas et se termine par le début du rut. La période du rut varie selon le lieu et l'année et peut se situer entre la mi-août et le début du mois de novembre, mais a généralement lieu au cours des mois de septembre et octobre (Leblond et al., 2010; Sigouin et al., 1995; Veeroja et al., 2010). La longueur de la période du rut dépend de la fertilisation des femelles, celles-ci retombant en œstrus trois à quatre semaines plus tard si la reproduction n'est pas un succès (Schwartz, 1992). Les dates de début et de fin du rut ont été sélectionnées par l'examen graphique des distances quotidiennes parcourues par les femelles entre la mi-août et le début novembre (figure 4). L'objectif était d'identifier des changements dans les déplacements des femelles permettant de circonscrire la période du rut à l'intérieur des dates possibles énoncées dans la littérature. Les dates sélectionnées pour la période du rut ont servi à délimiter la fin de la période d'été, le début et la fin de la période d'automne (rut) et le début de la période de début de l'hiver. La fin de la période de début de l'hiver a été déterminée à l'aide de la date de début de la période de fin de l'hiver 2021 dont la sélection a été expliquée précédemment.

Les données de tous les individus ont été utilisées pour réaliser les analyses des périodes de fin de l'hiver 2020, du printemps 2020 (mise bas), de l'été 2020 et de l'automne 2020 (rut) ainsi que pour les analyses annuelles. Seules les données des femelles ont été utilisées pour les analyses du début de l'hiver 2020 et de la fin de l'hiver 2021 puisque les colliers des veaux étaient programmés pour tomber au 25 octobre 2020.

3.2.3. Variables environnementales

Afin d'identifier les caractéristiques environnementales de l'habitat sélectionnées par les orignaux suivis au sein du parc national Forillon, cinq variables ont été choisies pour réaliser les analyses. Ces variables sont le type de couvert des peuplements forestiers, la densité des peuplements, la hauteur des peuplements, la pente et l'altitude. Ces variables ont été choisies puisque différents auteurs ont montré que la présence de peuplements de nourriture et de couvert, la pente et l'altitude influencent les mouvements des orignaux et leur sélection d'habitat (Dussault, Ouellet, *et al.*, 2005; Francis *et al.*, 2021; Jacqmain *et al.*, 2008; Leblond *et al.*, 2010; McLaren *et al.*, 2017, 2000; Oehlers *et al.*, 2011; Poole *et al.*, 2007). Des classes de valeurs ont été établies pour chacune des variables (tableau 3). Les classes du type de couvert des peuplements, de leur densité et de la pente sont basées sur les classes du 5^e inventaire écoforestier du Québec méridional. Pour la hauteur des peuplements, les classes sont inspirées de Jacqmain *et al.* (2008).

Tableau 3. Liste des variables environnementales utilisées pour réaliser les analyses et énumération des classes de chaque variable.

Variable	Classes
Type de couvert	Résineux
	Mixte
	Feuillu
Densité (%)	25 – 39
	40 – 59
	60 – 79
	80 – 100
Hauteur (m)	1 – 3
	4 – 6
	7 et plus
Pente	Nulle (0 - 3%)
	Faible (4 - 8%)
	Douce (9 - 15%)
	Modérée (16 - 30%)
	Forte (31 - 40%)
	Abrupte (41% et plus)
	Sommet
Altitude (m)	0 – 99
	100 – 199
	200 – 299
	300 – 399
	400 – 499
	500 – 600

3.3. Traitement des données

Le traitement des données a été réalisé à l'aide du logiciel ArcMap 10.8.1 (Environmental Systems Research Institute, 2020) et de l'application Jupyter Notebook avec le noyau Python 3.7.4 (Kluyver *et al.*, 2016). Les étapes principales réalisées pour atteindre les objectifs de cette étude sont représentées dans l'organigramme méthodologique (figure 5). Le traitement des données

début par le nettoyage des données, suivi du calcul des distances parcourues entre chaque donnée de localisation consécutive. Une fois les distances calculées, les données sont nettoyées une deuxième fois en tenant compte des déplacements aberrants. Une fois les données nettoyées, les différentes analyses pouvaient être réalisées en parallèle, soit l'analyse descriptive des déplacements quotidiens des orignaux, l'analyse de l'utilisation préférentielle de certaines caractéristiques environnementales de l'habitat par l'orignal, l'analyse des zones les plus utilisées dans le parc national Forillon par l'orignal ainsi que l'analyse de l'utilisation des zones affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette par l'orignal.

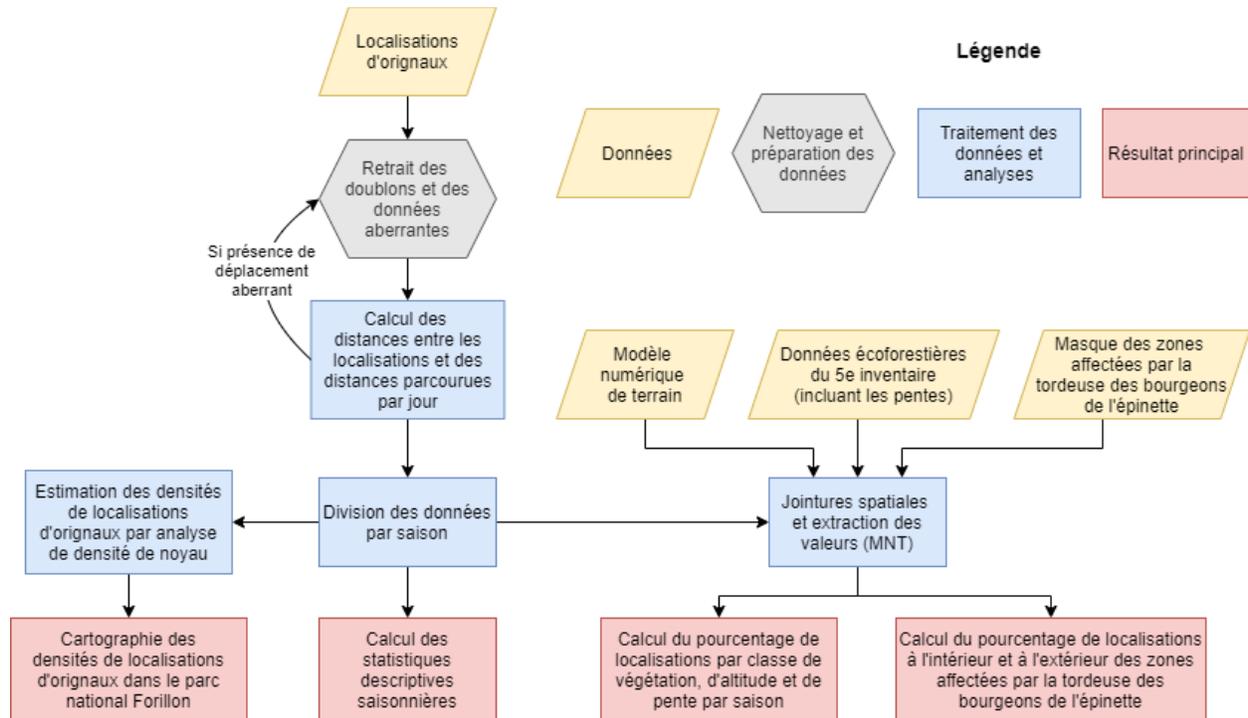


Figure 5. Approche méthodologique pour réaliser le projet sur l'utilisation saisonnière de l'habitat par l'orignal (*Alces alces*) dans le parc national Forillon au Québec, Canada.

3.3.1. Nettoyage des données

Les 64 514 données de localisation acquises ont été inspectées avec ArcMap pour retirer les doublons et les points aberrants. Les points aberrants comprenaient les positions situées dans la baie de Gaspé ou dans le golfe du Saint-Laurent, les positions isolées à plus d'un kilomètre de toutes les autres positions d'un individu qui ne formaient pas de trajet logique avec les positions précédentes et suivantes ainsi que les positions subséquentes à un déplacement important (3.75 km ou plus dans une période de trois heures; seuil déterminé suite à l'examen de l'histogramme des

distances parcourues entre deux localisations consécutives) qui ne formaient pas un trajet logique avec les positions précédentes et suivantes. Ceux-ci ont été identifiés par l'inspection visuelle des points et de leur table d'attributs avant et après le calcul des distances parcourues entre deux données de localisation. L'objectif était d'identifier les positions présentant des erreurs de mesure provenant du collier GNSS puisque la présence d'erreurs de positionnements dont l'échelle est supérieure à l'échelle des mouvements des animaux peut affecter considérablement les résultats des analyses (Bradshaw *et al.*, 2007; Hance *et al.*, 2021). À la suite du nettoyage des données, deux doublons ont été retirés ainsi que 17 points aberrants. Les 64 495 données de localisation restantes ont été utilisées pour réaliser les analyses.

3.3.2. Statistiques descriptives sur les déplacements saisonniers et annuels

À la suite d'un premier nettoyage des données, le temps écoulé et la distance parcourue entre deux positions consécutives ont été calculés à l'aide d'ArcMap. Les données ont alors subi un deuxième nettoyage pour retirer les positions à la source de distances parcourues aberrantes comme expliqué précédemment. Le temps écoulé et la distance parcourue entre deux positions consécutives ont alors été calculés de nouveau suite au retrait des données aberrantes. Les statistiques descriptives ont été calculées dans l'application Jupyter Notebook. Pour obtenir la distance quotidienne parcourue par chaque individu, la somme des distances entre les positions d'un individu acquises au cours d'une même journée a été calculée. Si moins de 24 heures s'étaient écoulées entre la première et la dernière position acquise pour un individu au cours d'une journée, la distance quotidienne parcourue était estimée par interpolation. Afin de minimiser les erreurs provenant de l'estimation de la distance quotidienne parcourue, seules les journées où des données étaient disponibles sur une période de plus de 20,75 heures ont été conservées. Ainsi, 95 distances quotidiennes parcourues ont été retirées sur les 8 105 distances quotidiennes parcourues calculées. Les statistiques descriptives ont donc été calculées à l'aide des 8 010 distances quotidiennes parcourues restantes. Les distances quotidiennes parcourues ont ensuite été divisées par période de l'année. Les valeurs moyennes, médianes, minimales et maximales de la distance quotidienne parcourue ont alors été calculées pour l'ensemble des individus suivis, puis séparément pour les femelles et pour les veaux, par période de l'année et pour l'ensemble de l'année.

3.3.3. Caractérisation de l'utilisation de l'habitat et de l'utilisation des zones affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Afin d'identifier les caractéristiques environnementales de l'habitat sélectionnées par les orignaux suivis au sein du parc national Forillon, les valeurs des variables environnementales ont été extraites pour chaque donnée de localisation. Pour ce faire, une jointure par localisation a été utilisée pour les données disponibles en format vectoriel (type de couvert, densité du peuplement, hauteur du peuplement et pente). Pour les données en format matriciel (altitude), l'outil d'extraction de valeurs multiples vers des points a été utilisé. La même méthode a été utilisée pour déterminer si les données de localisation étaient situées ou non dans les zones affectées par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette des années 70 et 80. Une fois les valeurs extraites, les tables d'attributs ont été exportées en format texte et analysées dans Jupyter Notebook. Le pourcentage des localisations situées dans chaque classe a été calculé pour chacune des variables environnementales. Le nombre de données de localisation total utilisé pour calculer les pourcentages incluait seulement les données de localisation possédant une valeur pour la variable d'intérêt. Ainsi, pour le calcul du pourcentage de localisations dans chaque classe de couvert forestier, les données de localisations ne possédant pas de type de couvert dû à leur position hors du couvert forestier étaient exclues du calcul. Le pourcentage des localisations situées à l'intérieur et à l'extérieur des zones affectées par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette a également été calculé.

Afin de comparer l'utilisation de l'habitat par l'original avec la disponibilité des différentes classes de variables environnementales, le pourcentage de la surface du parc national Forillon occupé par chaque classe de variable environnementale a été calculé. Le même type de calcul a été réalisé pour le pourcentage du parc ayant été affecté par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette des années 70 et 80.

3.3.4. Identification des concentrations de localisations d'originaux

Dans le but d'identifier les zones les plus utilisées par les orignaux suivis dans le parc national Forillon, l'outil de densité de noyau d'ArcMap a été utilisé. Cet outil permet de calculer la densité de données de localisations d'originaux situées dans un rayon d'un kilomètre du centre de chaque cellule de la matrice en sortie. La fonction de densité de noyau utilisée par le logiciel ArcMap est basée sur la fonction de noyau quartique élaborée par Silverman (1986, p. 76, équation 4.5). Les

paramètres utilisés dans le cadre de cette analyse sont une taille de cellule de la matrice en sortie de 10 m par 10 m et un rayon de recherche d'un kilomètre.

4. Résultats

4.1. Description des déplacements des orignaux dans le parc national Forillon

Dans le parc national Forillon, la distance quotidienne moyenne parcourue par les orignaux suivis était de 1,26 km, alors que la médiane était de 0,87 km (figure 6). Les veaux ont effectué des déplacements quotidiens plus importants que les femelles, en parcourant une distance quotidienne moyenne et médiane de 1,57 km et 1,20 km respectivement. Les femelles, quant à elles, ont parcouru une distance quotidienne moyenne de 1,08 km et une distance quotidienne médiane de 0,74 km. L'été est la saison où les orignaux se sont déplacés quotidiennement sur la plus grande distance avec une moyenne de 1,95 km et une médiane de 1,62 km (figure 7). À l'opposé, l'hiver 2020 était la saison où les orignaux se sont le moins déplacés quotidiennement avec une moyenne de 0,39 km et une médiane de 0,30 km. L'original ayant parcouru la plus importante distance quotidienne est une femelle avec une distance quotidienne parcourue de 15,53 km au printemps 2020.

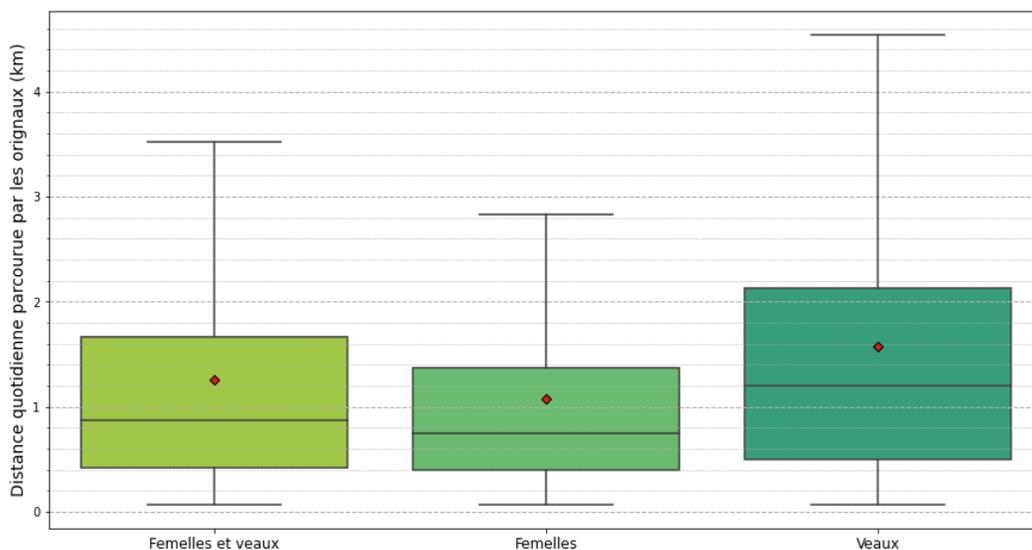


Figure 6. Diagramme des quartiles de la distribution des distances quotidiennes parcourues par les orignaux femelles (*Alces alces*) et les veaux, seulement les femelles et seulement les veaux dans le parc national Forillon au Québec, Canada, entre le 4 février 2020 et le 25 mars 2021. Les points rouges représentent la distance quotidienne moyenne parcourue. Les valeurs maximales représentent 1,5 fois l'étendue interquartile par rapport au troisième quartile. Les valeurs aberrantes ne sont pas représentées dans le diagramme.

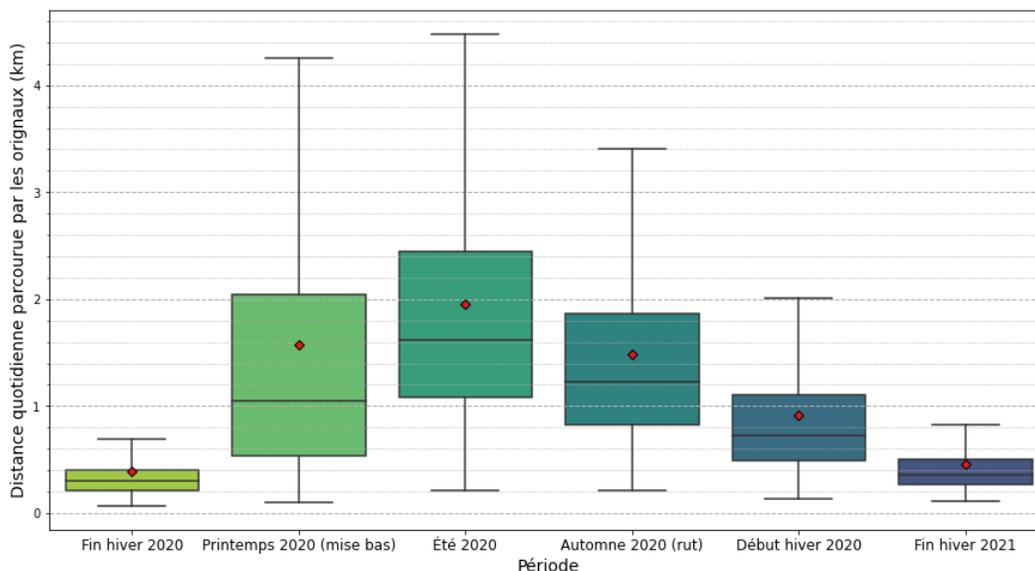


Figure 7. Diagramme des quartiles de la distribution des distances quotidiennes parcourues par les orignaux (*Alces alces*) dans le parc national Forillon au Québec, Canada, lors des périodes de fin de l'hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d'été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020), d'automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre), de début de l'hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l'hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021). Les points rouges représentent la distance quotidienne moyenne parcourue lors de ces périodes. Les valeurs maximales représentent 1,5 fois l'étendue interquartile par rapport au troisième quartile. Les valeurs aberrantes ne sont pas représentées dans le diagramme.

4.2. Utilisation de l'habitat par l'orignal

Sur les 64 495 données d'occurrences d'orignaux, 1 280 (~2%) étaient situées hors des peuplements forestiers. Ces occurrences étaient principalement situées dans des aulnaies, des sites inondés, des milieux humides dénudés ou semi-dénudés, ou dans des étendues d'eau. Pour les occurrences situées dans des peuplements forestiers, 26,8% se trouvaient dans des peuplements feuillus, 48,6% dans des peuplements mixtes et 24,6% dans des peuplements résineux (figure 8a). On a observé que les orignaux ont sous-utilisé légèrement les peuplements feuillus par rapport à leur disponibilité (26,8% des occurrences vs 32,9% de la superficie des forêts). Au niveau de la hauteur des peuplements, les orignaux ont utilisé plus fréquemment les peuplements de 1 à 3 m de hauteur (9,8% des occurrences) que prévu selon la prévalence de ces types de peuplements sur le territoire (3,6% de la superficie des forêts) et ont utilisé les peuplements de 7 m et plus moins souvent que prévu (86,5% des occurrences vs 94,6% de la superficie des forêts; figure 8b). Pour ce qui est de la densité, ils ont utilisé les peuplements présentant une densité située entre 25 et 39% et entre 40 et 59% de manière plus importante en comparaison avec la disponibilité de ces classes

de densité sur le territoire (12,6% et 20,2% des occurrences *vs* 5,5% et 10,2% de la superficie des forêts respectivement) et ont sous-utilisé considérablement les peuplements de densité entre 80 et 100% (27% des occurrences *vs* 45,3% de la superficie des forêts; figure 8c). En ce qui concerne les classes de pente, le patron d'utilisation des orignaux était très semblable à la disponibilité des différentes classes dans le parc national Forillon, ceux-ci utilisant principalement les sites où la pente était de nulle à modérée. Seules les pentes faibles et douces étaient légèrement plus utilisées à comparer à leur disponibilité (30,0% des occurrences *vs* 25,6% de la superficie du parc national) et les pentes modérées étaient un peu sous-utilisées (37,9% des occurrences *vs* 44,2% de la superficie du parc national; figure 8d). À l'inverse, les orignaux avaient un patron d'utilisation des classes d'altitude qui contrastait avec la disponibilité des différentes classes. En effet, les orignaux ont utilisé préférentiellement les sites où l'altitude était de 300 m ou plus (51,8% des occurrences *vs* 20,3% de la superficie du parc national) et ont sous-utilisé les sites ayant une altitude inférieure à 300 m (48,2% des occurrences *vs* 79,7% de la superficie du parc national; figure 8e). Les résultats montrent toutefois que les préférences en termes d'habitat des orignaux diffèrent selon les saisons, et ce, pour toutes les variables environnementales analysées.

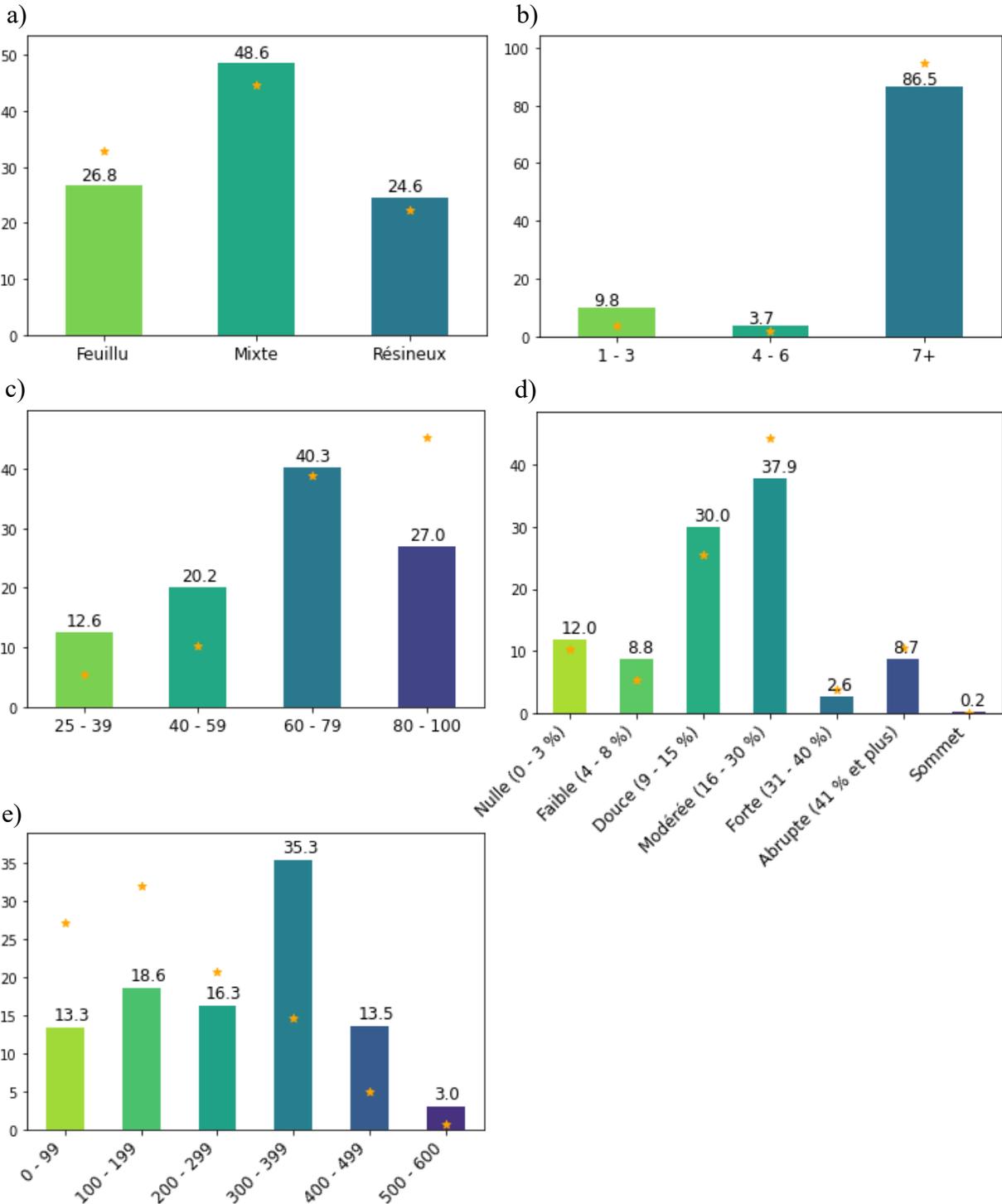


Figure 8. Pourcentage des localisations d'orignaux (*Alces alces*) entre le 4 février 2020 et le 25 mars 2021 dans le parc national Forillon, Québec, Canada, selon : a) le type de couvert des peuplements, b) la classe de hauteur (en mètres) des peuplements, c) la classe de densité (en pourcentage) des peuplements, d) la classe de pente des peuplements et e) la classe d'altitude (en mètres). Les étoiles représentent le pourcentage du territoire du parc national Forillon occupé par chacune des classes des variables environnementales.

Lors de la fin de l'hiver 2020, les orignaux ont utilisé principalement les peuplements mixtes et résineux, plus particulièrement les peuplements de 7 m (figure 9) et plus et de densité entre 60 et 79% (figure 10). Toutefois, lors des fins d'hivers moins rudes comme c'était le cas en 2021, les orignaux étaient également fortement présents dans les peuplements de feuillus de 3 m ou moins. En effet, bien que ceux-ci ne représentent que 2,1% du territoire, 11,3% des occurrences d'orignaux étaient situées dans ces peuplements lors de la fin de l'hiver 2021. De plus, lors de cette fin d'hiver, les orignaux ont utilisé en plus grande proportion les peuplements mixtes et résineux de densité entre 25 et 39% en comparaison avec la même période l'année précédente. Pour ce qui est des pentes, à la fin de l'hiver 2020, les orignaux étaient principalement observés dans des sites de pente douce à modérée, suivi des sites de pente faible et abrupte. À la fin de l'hiver 2021, l'utilisation des sites ayant une pente modérée s'est accentuée, passant de 30,7% en 2020 à 42,6% en 2021, alors que l'utilisation des sites de pente faible, douce et abrupte a diminué (figure 11). En ce qui concerne l'altitude, à la fin de l'hiver 2020, les orignaux ont utilisé principalement les sites ayant une altitude de 300 à 399 m (35,9% des occurrences), puis ceux ayant une altitude de 100 à 199 m (25,5% des occurrences) ainsi que ceux ayant une altitude de 400 à 499 m (20,9% des occurrences). L'année suivante, les orignaux ont utilisé des sites très différents au niveau de l'altitude, avec 54,5% des occurrences étant situées à une altitude de 300 à 399 m, les autres occurrences étant réparties entre les autres classes d'altitude de manière presque égale (entre 7 et 11% des occurrences dans chacune des autres classes; figure 12).

Une fois le printemps arrivé, les orignaux ont montré une utilisation de l'habitat très différente par rapport à la fin de l'hiver. C'est la seule saison où ils ont affiché une préférence pour les peuplements feuillus, qu'ils ont utilisés un peu plus souvent que ce qui était attendu considérant leur disponibilité sur le territoire. Plus particulièrement, c'est la seule saison où ils ont utilisé autant les peuplements feuillus de 7 m et plus et de densité de 60% et plus, qu'ils ont semblé éviter le reste de l'année (figures 9 et 10). Le printemps est également la seule saison où les orignaux ont sous-utilisé de manière marquée les peuplements mixtes par rapport à leur disponibilité. L'utilisation des pentes par les orignaux est restée semblable à celle à la fin de l'hiver, à l'exception d'une augmentation de l'utilisation des sites de pente nulle et d'une diminution de l'utilisation des sites de pente faible et abrupte (figure 11). Pour ce qui est de l'altitude, les orignaux ont commencé à utiliser les sites situés entre 200 et 299 m d'altitude qui étaient évités à la fin de l'hiver. Le

printemps est la saison où les orignaux ont utilisé les différentes classes d'altitude dans les proportions les plus semblables à leur disponibilité dans le parc national Forillon (figure 12).

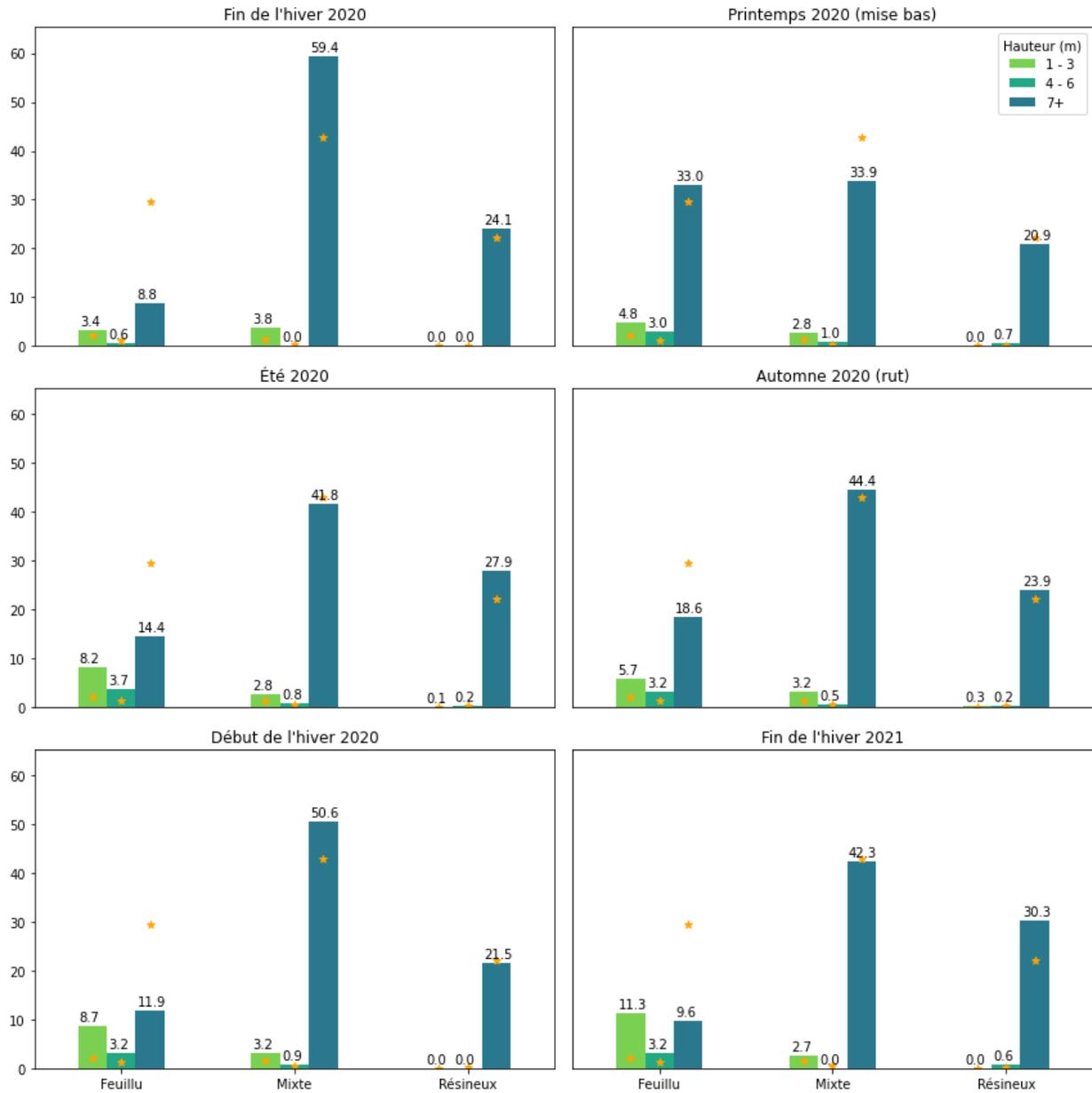


Figure 9. Pourcentage des localisations d'orignaux (*Alces alces*) selon le type de couvert des peuplements et la classe de hauteur des peuplements pour les périodes de fin de l'hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d'été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020), d'automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre), de début de l'hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l'hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021) dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les étoiles représentent le pourcentage du territoire forestier du parc national Forillon occupé par chacune des combinaisons de type de couvert et de classe de hauteur des peuplements.

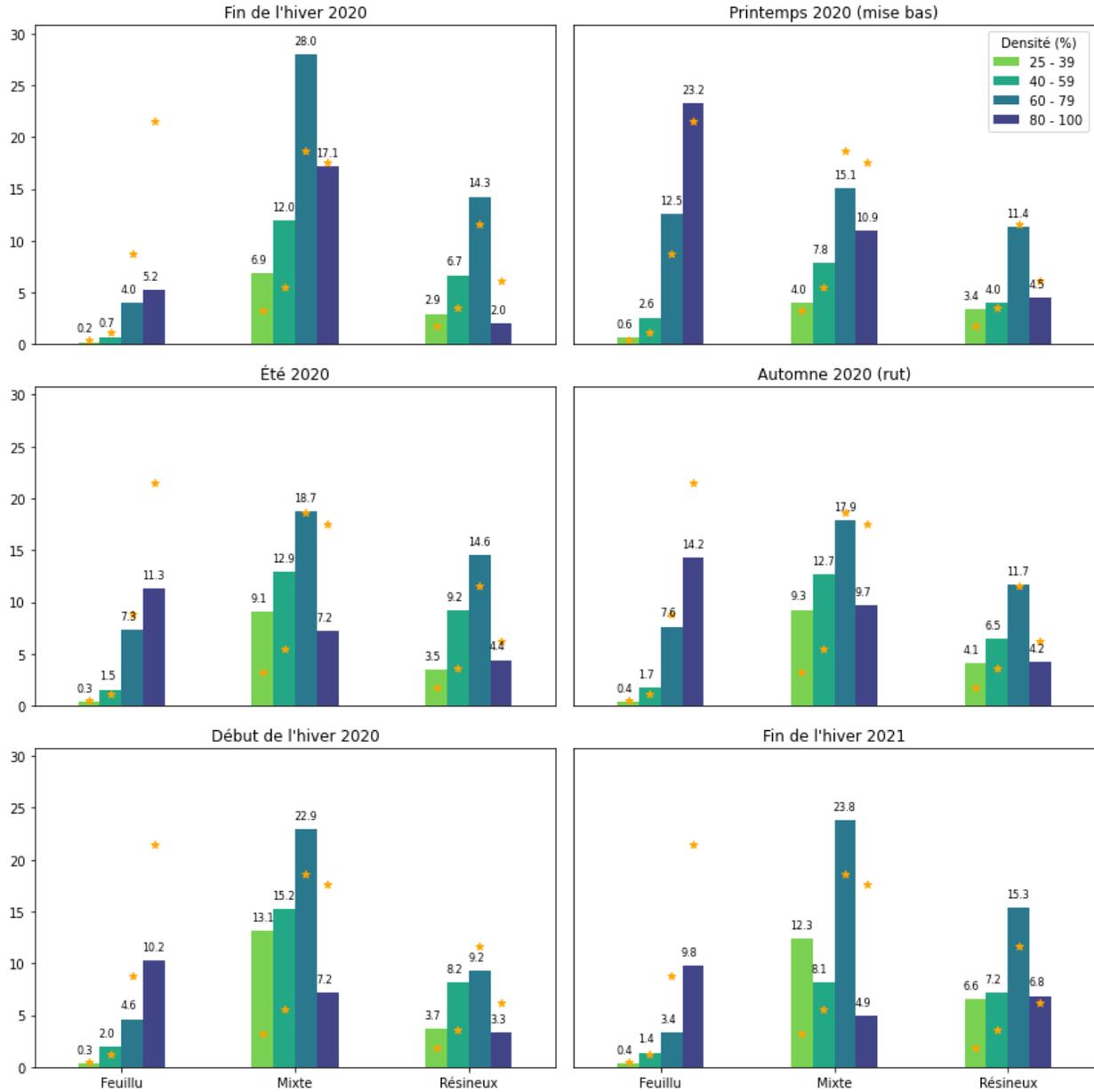


Figure 10. Pourcentage des localisations d'orignaux (*Alces alces*) selon le type de couvert des peuplements et la classe de densité des peuplements pour les périodes de fin de l'hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d'été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020), d'automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre), de début de l'hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l'hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021) dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les étoiles représentent le pourcentage du territoire forestier du parc national Forillon occupé par chacune des combinaisons de type de couvert et de classe de densité des peuplements.

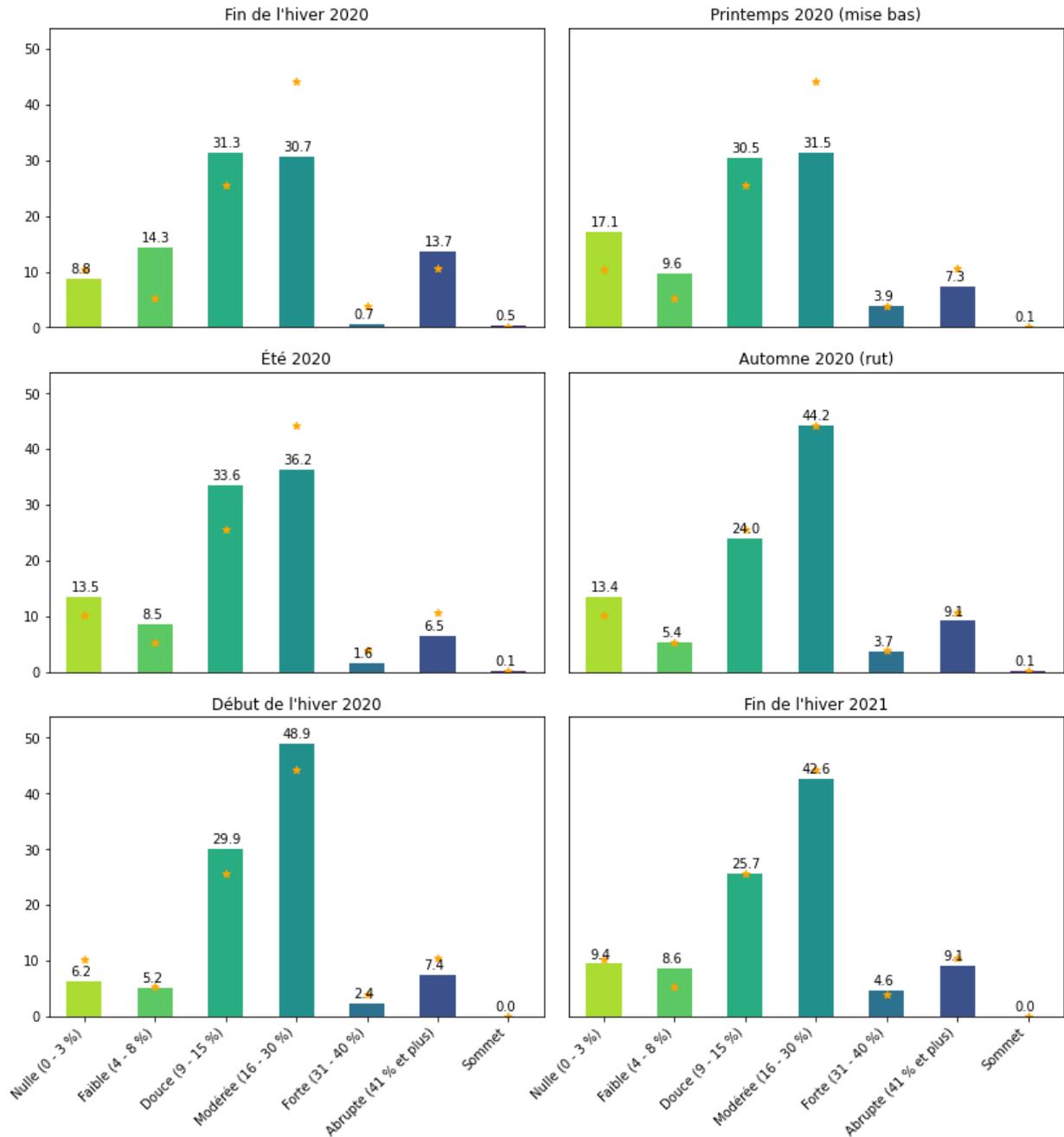


Figure 11. Pourcentage des localisations d'orignaux (*Alces alces*) selon la classe de pente des peuplements pour les périodes de fin de l'hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d'été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020), d'automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre), de début de l'hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l'hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021) dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les étoiles représentent le pourcentage du territoire du parc national Forillon occupé par chacune des classes de pente.

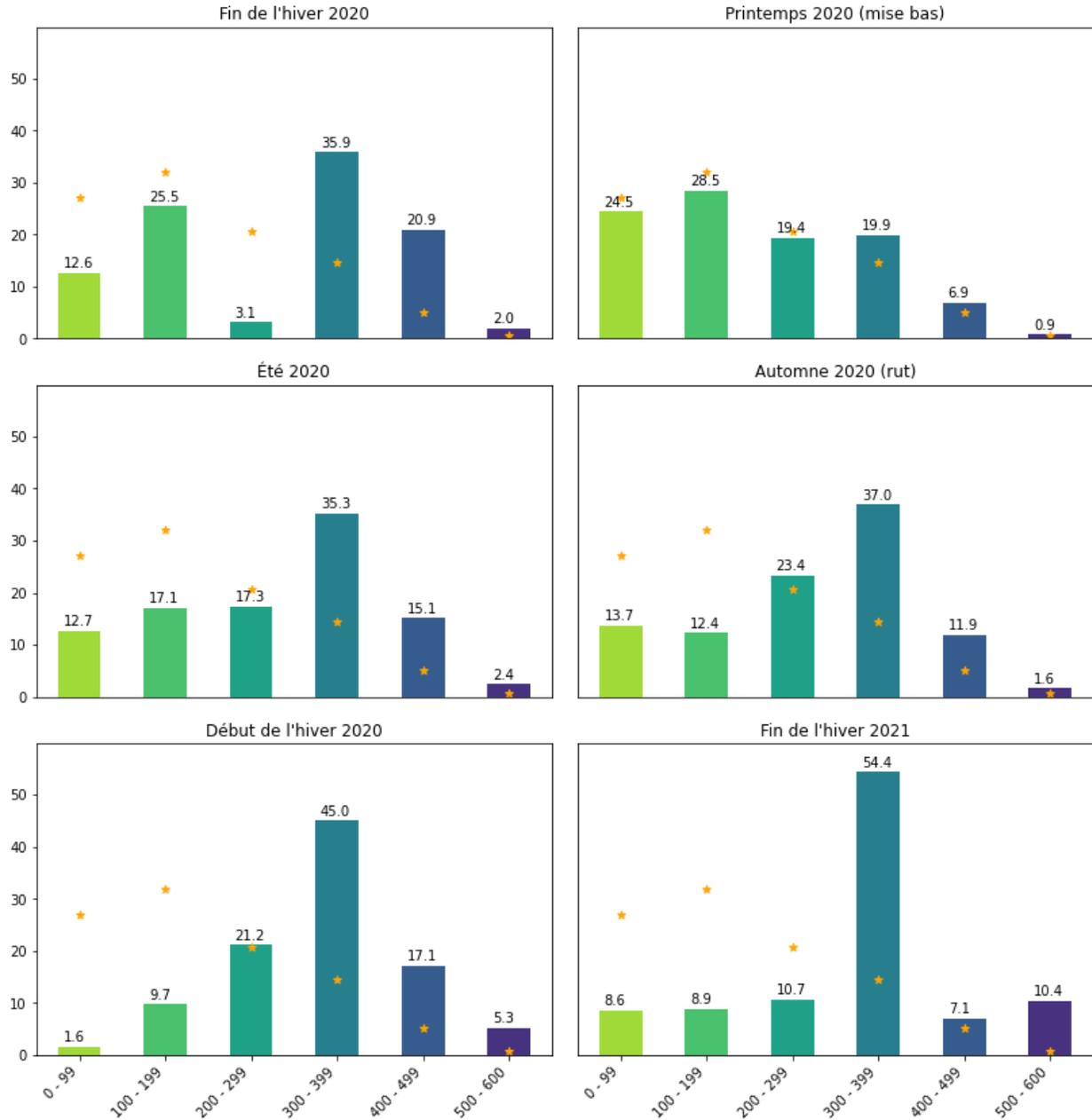


Figure 12. Pourcentage des localisations d'orignaux (*Alces alces*) selon la classe d'altitude pour les périodes de fin de l'hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d'été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020), d'automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre), de début de l'hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l'hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021) dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les étoiles représentent le pourcentage du territoire du parc national Forillon occupé par chacune des classes d'altitude.

À l'arrivée de l'été, les orignaux ont augmenté leur utilisation des peuplements feuillus de 1 à 3 m, mais ont diminué considérablement leur utilisation des peuplements feuillus de 7 m et plus au profit des peuplements mixtes et résineux de 7 m et plus (figure 9). Ils ont également diminué leur utilisation des peuplements feuillus de densité entre 60 et 100% et augmenté leur utilisation des peuplements mixtes et résineux de densité entre 25 et 79% (figure 10). Au niveau des pentes, l'utilisation des différentes classes par les orignaux restait très semblable au printemps. Seules les pentes nulles présentaient une petite diminution d'utilisation et les pentes modérées une légère augmentation (figure 11). Pour ce qui est de l'altitude, les orignaux ont sous-utilisé les sites situés à moins de 200 m d'altitude par rapport à leur disponibilité (29,9% des occurrences vs 59% de la superficie du parc national), au profit des sites situés à 300 m et plus d'altitude utilisés de manière disproportionnée par rapport à leur disponibilité (52,9% des occurrences vs 20,3% de la superficie du parc national; figure 12).

Au cours de l'automne (période du rut), l'utilisation des peuplements forestiers par l'orignal était semblable à celle observée en été. Toutefois, on a constaté une légère augmentation de l'utilisation des peuplements feuillus et mixtes de 7 m et plus ainsi qu'une légère diminution de l'utilisation des peuplements feuillus de 1 à 3 m et des peuplements résineux de 7 m et plus (figure 9). On a également observé une faible augmentation de l'utilisation des peuplements feuillus de densité supérieure ou égale à 80% et une petite diminution de l'utilisation des peuplements résineux de densité entre 40 et 79% (figure 10). En ce qui concerne les pentes, les orignaux ont été observés plus fréquemment dans des sites de pente modérée et abrupte en comparaison avec l'été, mais ont été observés un peu moins souvent dans des sites de pente faible et douce (figure 11). Au niveau de l'altitude, une plus grande proportion des occurrences d'orignaux étaient situées entre 200 et 299 m d'altitude et une plus faible proportion des occurrences étaient situées entre 100 et 199 m d'altitude ainsi qu'entre 400 et 499 m d'altitude par rapport à l'été 2020 (figure 12).

Finalement, au cours du début de l'hiver, les orignaux ont recommencé à utiliser préférentiellement les peuplements mixtes de 7 m et plus et ont diminué le temps qu'ils passaient dans les peuplements feuillus de 7 m et plus (figure 9). Durant cette saison, la proportion d'occurrences situées dans les peuplements feuillus de 1 à 3 m a augmenté légèrement. De plus, l'utilisation par les orignaux des peuplements feuillus de densité de 60% et plus a diminué et l'utilisation des peuplements de densité entre 25 à 79% a augmenté au début de l'hiver par rapport à l'automne (figure 10). On a

également observé une augmentation de l'utilisation des pentes douces et modérées par l'orignal et une diminution de leur utilisation des pentes nulles (figure 11). Pour ce qui est de l'altitude, on a constaté une diminution des occurrences d'orignaux entre 0 et 99 m d'altitude au début de l'hiver en comparaison avec l'automne ainsi qu'une augmentation des occurrences à 300 m et plus d'altitude (figure 12).

4.3. Utilisation des zones affectées par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette

Tout au long de l'année, la proportion d'occurrences d'orignaux située dans des zones ayant été affectées par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette des années 70 et 80 dépassait ce qui aurait été attendu compte tenu de la proportion du parc national Forillon ayant été affecté par l'épidémie (figure 13). En effet, 24,5% des localisations d'orignaux sont situées dans les zones ayant été touchées par l'épidémie alors que seulement 16,8% du parc national a été affecté par cette épidémie d'insectes ravageurs. L'utilisation des zones affectées variait selon les périodes de l'année, celle-ci étant plus importante à la fin de l'hiver (31,3% des occurrences en 2020 et 26% en 2021) et au début de l'hiver (27,9% des occurrences) et plus faible au printemps (20,8% des occurrences) et à l'été (20% des occurrences; figure 14).

4.4. Zones de concentration de l'utilisation par l'orignal

Dans le parc national Forillon, les zones de concentration d'occurrences d'orignaux les plus importantes sont situées sur la chaîne de montagnes à l'ouest et au sud-ouest du parc (figure 13). Plus précisément, les zones de concentration où la densité des occurrences est plus élevée sont situées au nord de la péninsule de Penouille, dans le secteur montagneux au sud-ouest de Rivière-au-Renard et au nord de Cap-aux-Os. Les occurrences d'orignaux sont toutefois réparties sur la presque totalité du parc à l'exception de sa pointe sud-est. L'utilisation du territoire du parc national Forillon varie considérablement selon les périodes de l'année (figure 14). Les périodes de fin de l'hiver sont celles présentant les plus fortes densités d'orignaux à un même endroit, particulièrement lors des hivers rudes comme celui de 2020. Durant cette période, les occurrences d'orignaux sont beaucoup plus concentrées dans certaines zones précises du parc, celles-ci étant distribuées sur une beaucoup plus petite proportion du parc par rapport aux autres périodes de l'année. La saison où les occurrences d'orignaux sont distribuées sur la plus grande étendue de territoire est le printemps, suivi de près par l'été et l'automne. Malgré ces différences selon la période de l'année, les zones présentant les densités d'occurrences d'orignaux les plus élevées sont

tout de même situées dans les mêmes sections du parc, peu importe la saison, soit les montagnes à l'ouest et au sud-ouest du parc ainsi que, dans une moindre mesure, la portion à l'est du parc entre L'Anse-au-Griffon et Cap-des-Rosiers. Comme le nombre d'occurrences d'orignaux varie grandement d'une période de l'année à l'autre, les résultats présentés à la figure 14 doivent être interprétés avec précaution.

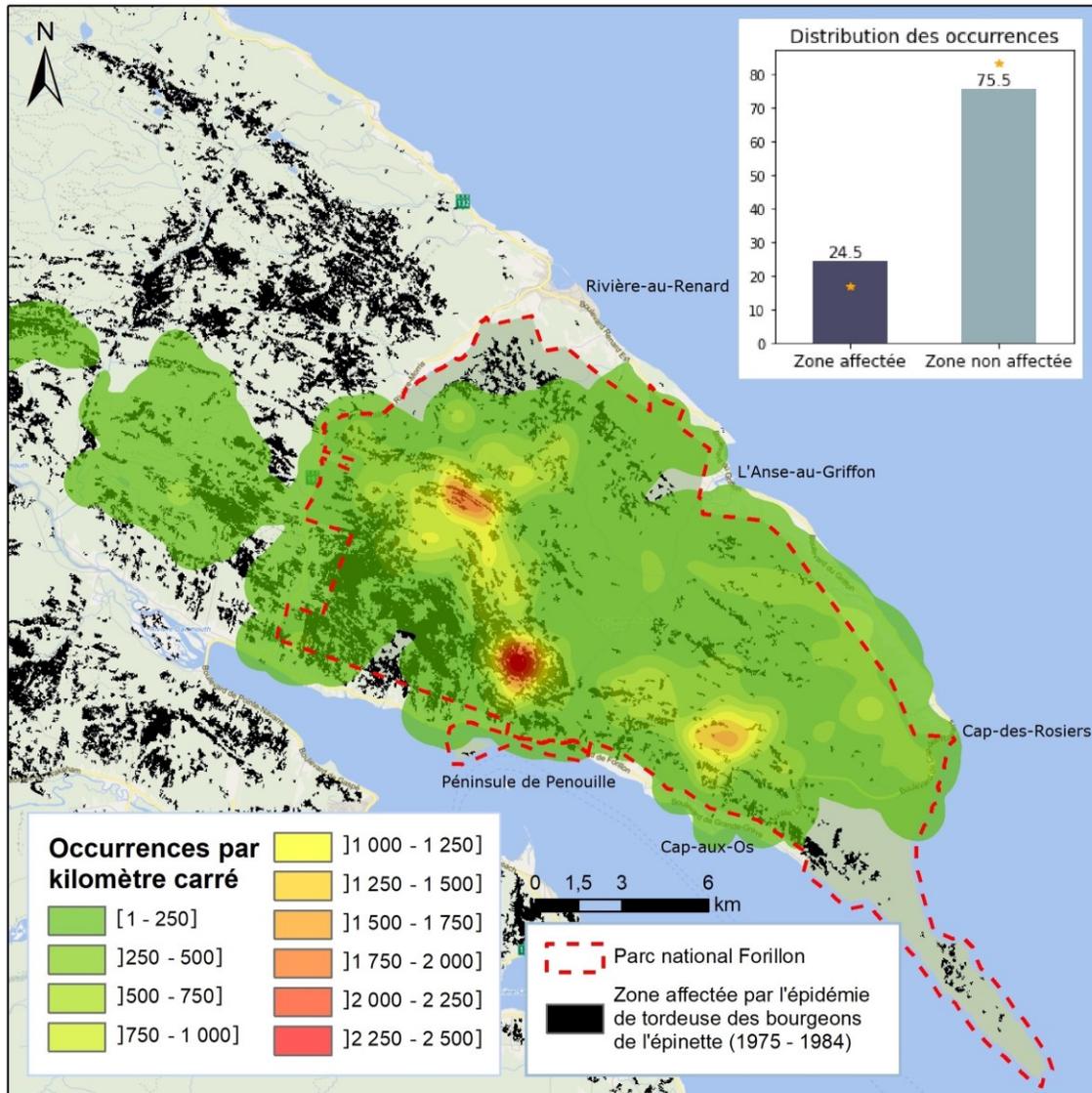


Figure 13. Distribution de la densité des occurrences d'orignaux (*Alces alces*) entre le 4 février 2020 et le 25 mars 2021 estimée à partir d'une analyse de densité de noyau et zones affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette lors de l'épidémie des années 1970 et 1980 dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Le graphique présent sur la carte montre le pourcentage des occurrences situées à l'intérieur et à l'extérieur des zones affectées par l'épidémie de tordeuses et les étoiles sur celui-ci indiquent le pourcentage du parc ayant été touché ou non par l'épidémie.

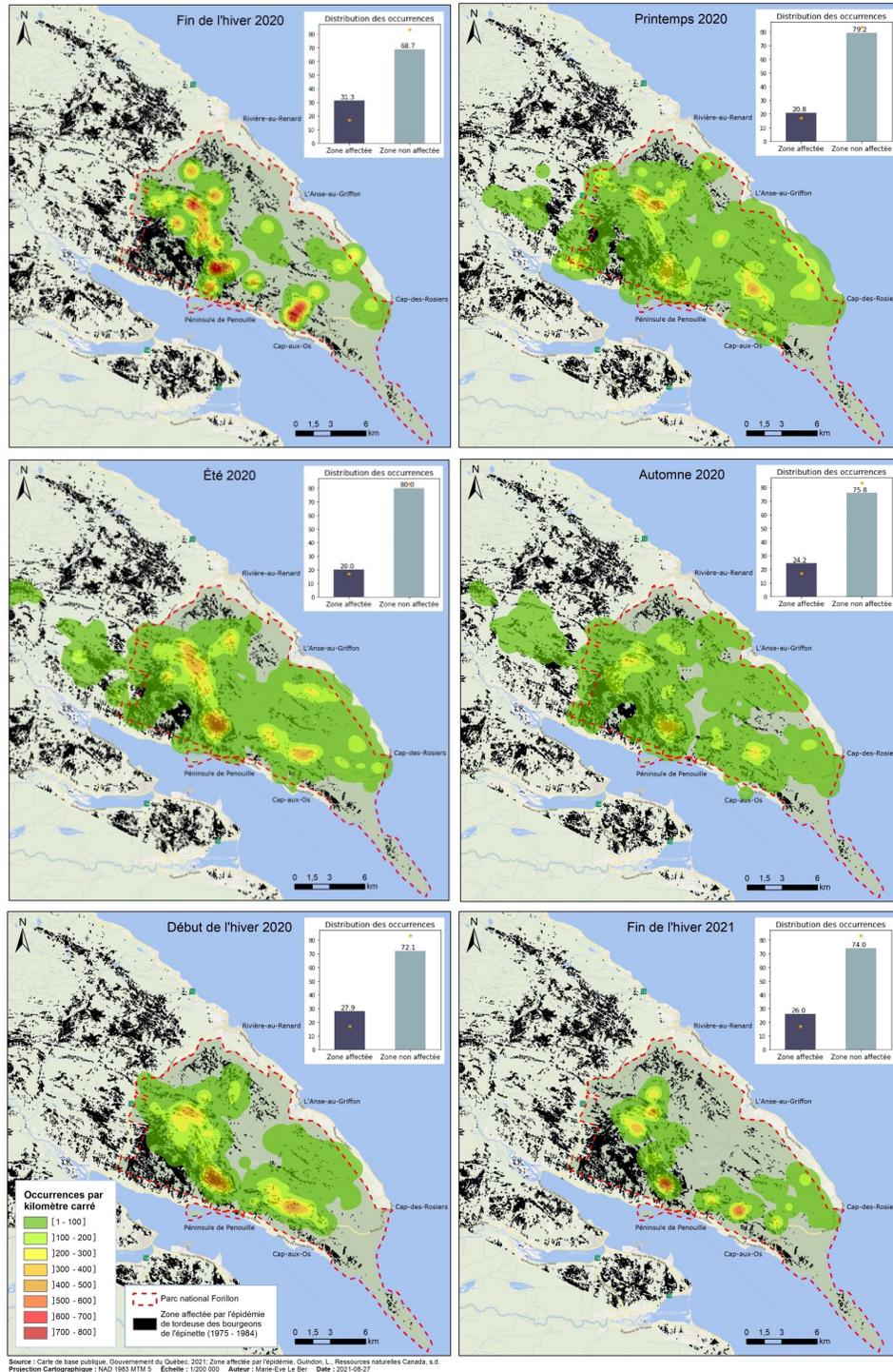


Figure 14. Distribution saisonnière de la densité des occurrences d'orignaux (*Alces alces*) estimée à partir d'une analyse de densité de noyau et zones affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette lors de l'épidémie des années 1970 et 1980 dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les graphiques présents sur les cartes montrent le pourcentage des occurrences situées à l'intérieur et à l'extérieur des zones affectées par l'épidémie de tordeuses et les étoiles sur ceux-ci indiquent le pourcentage du parc ayant été touché ou non par l'épidémie. Les cartes sont disponibles en un plus grand format à l'annexe 2.

5. Discussion

5.1. Évaluation de l'atteinte des objectifs de l'essai

Les objectifs de ce projet étaient de réaliser une caractérisation annuelle et saisonnière des déplacements des orignaux, de l'habitat sélectionné par ceux-ci et de leur utilisation des zones affectées par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette dans le parc national Forillon ainsi que d'identifier les secteurs les plus utilisés du parc. L'ensemble de ces objectifs a été atteint. Les différentes analyses réalisées dans le cadre du projet ont en effet permis d'obtenir un portrait statistique des déplacements des orignaux au fil des saisons, de cerner les caractéristiques de l'habitat recherchées par l'original selon les périodes de l'année, d'approfondir notre compréhension de l'utilisation par l'original des zones ravagées par la tordeuse et de cartographier les zones du parc national Forillon les plus utilisées par l'original. Ce portrait général de l'utilisation de l'habitat par l'original dans le parc national Forillon pourra servir de point de départ pour cibler les zones nécessitant un suivi de la régénération de la forêt afin d'être en mesure d'éviter que les écosystèmes forestiers du parc subissent une dégradation de leur intégrité écologique due à la surabondance d'orignaux.

5.2. Déplacements des orignaux dans le parc

Les distances parcourues quotidiennement par les orignaux selon les périodes de l'année dans le parc national Forillon se situaient dans les étendues de taux de mouvements observés par Leblond *et al.* (2010) dans la réserve faunique des Laurentides. Les variations saisonnières des distances quotidiennes parcourues suivaient le patron attendu (Dussault, Courtois, *et al.*, 2005; Leblond *et al.*, 2010; McCulley *et al.*, 2017), soit des déplacements réduits en hiver dû à l'énergie requise pour se déplacer dans la neige (Kelsall, 1969) et des déplacements plus importants au printemps, à l'été et à l'automne entre autres pour profiter des peuplements riches en nourriture de qualité (Leblond *et al.*, 2010; Samson *et al.*, 2002). L'accès à des sources de nourriture riches en nutriment est particulièrement important pour les femelles lors de la mise bas au printemps et lors de la période de lactation à l'été et à l'automne dû à la demande énergétique supérieure durant ces périodes (Barboza and Bowyer, 2000; Severud *et al.*, 2019). Cette variation dans les déplacements quotidiens au fil des saisons s'est reflétée également dans la distribution spatiale des occurrences d'orignaux selon les différentes périodes de l'année (figure 14), l'étendue des zones utilisées par

l'original dans le parc national Forillon étant beaucoup plus importante au printemps, à l'été et à l'automne.

En comparant la distribution des distances quotidiennes parcourues par les femelles et les jeunes orignaux, on a pu constater que les veaux se déplaçaient sur de plus grandes distances quotidiennement que les femelles. Cette différence peut être attribuée à plusieurs facteurs. Premièrement, il faut prendre en considération que les veaux portant les colliers GNSS devraient avoir été chassés par leur mère durant la période de la mise bas (Franzmann and Schwartz, 2007); ceux-ci se déplaçaient donc sans leur mère à la suite de la période de printemps 2020. La différence entre les mouvements des jeunes orignaux et des femelles potentiellement en lactation au cours de l'été et de l'automne peut donc s'expliquer entre autres par la différence entre les besoins des jeunes orignaux et ceux des femelles adultes (Barboza and Bowyer, 2000; Dussault, Ouellet, *et al.*, 2005). De plus, le fait que 42% des veaux suivis dans cette étude étaient des mâles peut également être à la source des valeurs plus élevées des distances quotidiennes parcourues par les jeunes orignaux. En effet, plusieurs études ont montré que chez les orignaux, les mâles ont un taux de mouvement supérieur aux femelles, particulièrement au printemps, en été et à l'automne (Leblond *et al.*, 2010; McCulley *et al.*, 2017; Montgomery *et al.*, 2019). On a également observé de fortes différences individuelles dans la distribution des distances quotidiennes parcourues selon les périodes de l'année, ce qui avait aussi été observé par McCulley *et al.* (2017).

5.3. Utilisation de l'habitat par l'original

De manière générale, dans le parc national Forillon, les orignaux ont sélectionné des habitats situés dans des peuplements mixte et résineux de couvert entre 25 et 59% ainsi que dans des peuplements feuillus de hauteur de 3 m et moins. Ceux-ci ont particulièrement évité les peuplements feuillus de densité élevée (80 – 100%) ou de 7 m et plus de hauteur. Des préférences semblables ont été observées par Dussault, Courtois *et al.* (2005) dans le parc national de la Jacques-Cartier où les orignaux privilégiaient les jeunes peuplements mixtes, suivis des vieux peuplements mixtes et des peuplements résineux âgés de 30 ans puis, dans une moindre mesure, les vieux peuplements feuillus. Les auteurs ont observé que les orignaux sélectionnaient particulièrement les habitats présentant un entremêlement de peuplements de conifères protégeant contre la neige et de peuplements mixtes et feuillus riches en nourriture. Les préférences des orignaux dans le parc national Forillon semblent suivre un patron semblable, les peuplements mixtes étant une bonne

source à la fois de nourriture et de couvert, les peuplements résineux assurant une protection contre les intempéries en hiver et la chaleur en été, et les peuplements feuillus de 1 à 3 m de hauteur étant particulièrement riches en nourriture de qualité (Ditmer *et al.*, 2018; Franzmann and Schwartz, 2007; Samson *et al.*, 2002). Les orignaux du parc national Forillon ont également utilisé de manière préférentielle les zones ayant été affectées par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette des années 70 et 80. Ces zones perturbées représentent souvent un habitat d'alimentation de qualité contenant une forte densité d'espèces faisant partie des sources de nourriture préférées de l'orignal telles que le bouleau blanc (Christopherson *et al.*, 2019; Crête and Bédard, 1975; Franklin and Harper, 2016; Smith *et al.*, 2010). Les orignaux ont semblé montrer une légère préférence pour les sites ayant une pente faible ou douce et ont évité les sites ayant une pente modérée. Leblond *et al.* (2010) ont obtenu des résultats similaires dans la réserve faunique des Laurentides où les orignaux préféraient les pentes douces toute l'année à l'exception de la fin de l'hiver. Dans le parc national Forillon, les orignaux ont également sélectionné comme habitat les sites situés à 300 m et plus d'altitude et évité les sites de moindre altitude. Des études ont montré que les orignaux préfèrent les sites situés à des altitudes plus basses en hiver et plus élevées au printemps et à l'été (Francis *et al.*, 2021; Poole and Stuart-Smith, 2006; Thompson *et al.*, 2021), les sites en altitude offrant plus de vent pour se rafraîchir et limiter le harcèlement par les insectes piqueurs en été (Thompson *et al.*, 2021) ainsi qu'un point de vue facilitant la détection des prédateurs (Jacqmain *et al.*, 2008; Tendeng, 2014). L'habitat sélectionné par l'orignal dans le parc national Forillon variait toutefois considérablement selon les périodes de l'année, comme il a été observé dans d'autres études sur l'utilisation de l'habitat par l'orignal (Borowik *et al.*, 2021; Dussault, Courtois, *et al.*, 2005; Dussault, Ouellet, *et al.*, 2005; Leblond *et al.*, 2010).

Pour ce qui est des différences saisonnières dans l'utilisation de l'habitat par les orignaux dans le parc national Forillon, une des différences marquantes est la forte augmentation de l'utilisation des peuplements feuillus au printemps qui contraste avec les autres périodes de l'année. Cette différence peut s'expliquer par la recherche de nourriture de qualité au printemps pour récupérer la masse perdue au cours de l'hiver (Leblond *et al.*, 2010; Milner *et al.*, 2013; Moen *et al.*, 1997). En effet, les bourgeons et les nouvelles feuilles qui apparaissent au printemps sont particulièrement riches en nutriments tels les sucres et les protéines facilement digestibles (Franzmann and Schwartz, 2007). Cela pourrait également expliquer l'utilisation marquée des basses altitudes par les orignaux au printemps en comparaison avec le reste de l'année puisque descendre au bas des

montagnes lors de la fonte des neiges permet à l'orignal de suivre la phénologie des plantes et de maximiser son accès à de la nourriture riche en nutriments (Leblond *et al.*, 2010).

Au cours de l'été et de l'automne, on a observé que les orignaux augmentent de nouveau leur utilisation des peuplements mixtes et résineux tout en maintenant une utilisation des peuplements feuillus plus élevée qu'en hiver. Cela leur permet d'avoir accès à des sites riches en nourriture dans les peuplements feuillus et mixtes afin d'accumuler des réserves pour l'hiver suivant (Leblond *et al.*, 2010; Milner *et al.*, 2013; Samson *et al.*, 2002), tout en se protégeant de la chaleur du soleil dans les peuplements mixtes et résineux (Jennewein *et al.*, 2020; Thompson *et al.*, 2021). En effet, les habitats fournissant un couvert dans les périodes chaudes de l'année sont essentiels aux orignaux dus à leur sensibilité au stress thermique (Renecker and Hudson, 1986). L'augmentation de l'altitude des sites utilisés par l'orignal en été et en automne en comparaison avec le printemps peut également être liée à des stratégies pour limiter le stress thermique puisque ces sites sont généralement plus venteux (Thompson *et al.*, 2021). De plus, les plus gros lacs du parc national Forillon dans lesquels les orignaux peuvent se rafraîchir sont situés à 300 m et plus d'altitude.

L'utilisation de l'habitat par l'orignal change encore de manière importante à l'arrivée de l'hiver et ces changements s'accroissent à la fin de l'hiver. On a observé que les orignaux augmentent leur utilisation des peuplements mixtes et résineux de densité élevée, particulièrement lors de fins d'hiver rude comme en 2020. Ces changements pourraient provenir de la présence de neige au sol qui rend les déplacements des orignaux plus coûteux en énergie et des changements dans la disponibilité de la nourriture dus à l'absence de feuilles (Kelsall, 1969; Samson *et al.*, 2002). En hiver, les orignaux vont donc modifier leur alimentation et consommer plus de sapin baumier et de ramilles d'essences feuillues (Crête and Bédard, 1975; Franklin and Harper, 2016; Routledge and Roese, 2004). Dans le parc national Forillon, les orignaux ont également sélectionné des sites situés à des altitudes plus basses lors de la fin d'hiver de 2020 par rapport à la fin d'hiver plus douce de 2021, potentiellement pour utiliser des sites où la neige au sol était d'épaisseur moindre (Poole and Stuart-Smith, 2006). Les différences marquées entre la fin d'hiver 2020 et la fin d'hiver 2021 montrent que l'utilisation de l'habitat par l'orignal varie selon les années et les conditions climatiques.

Cette description des caractéristiques des peuplements et de la topographie recherchées par l'orignal selon les saisons dans le parc national Forillon pourra servir à identifier les peuplements ayant le potentiel d'être fortement utilisés par l'orignal et à quantifier la surface de forêt à risque de voir sa succession écologique altérée par l'orignal. Ce sont ces peuplements qui nécessiteront un suivi plus serré afin d'éviter de subir une dégradation de l'intégrité écologique des forêts du parc causée par le broutage intensif des orignaux.

5.4. Impacts potentiels des patrons d'utilisation de l'habitat de l'orignal sur la forêt

Dans le parc national Forillon, les orignaux ont sélectionné les zones ayant été affectées par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette des années 1970 et 1980 tout au long de l'année, et ce, de manière encore plus marquée en hiver. L'utilisation de ces peuplements par les orignaux était également plus prononcée lors de la fin d'hiver rude de 2020 où près du tiers des observations d'orignaux étaient situées dans les zones affectées en comparaison avec la fin d'hiver de 2021 où environ le quart étaient situées dans les zones touchées par l'épidémie. Comme la distribution spatiale des orignaux était beaucoup plus concentrée dans certaines zones du parc à la fin de l'hiver par rapport au reste de l'année, leur impact sur la végétation risque d'être plus important dans ces secteurs, notamment sur le sapin baumier et le bouleau blanc qui sont des espèces importantes pour l'alimentation de l'orignal en hiver (Crête and Bédard, 1975; Franklin and Harper, 2016; Routledge and Roese, 2004). Crête et Bédard (1975) ont observé que les orignaux pouvaient brouter jusqu'à 36% des ramilles de sapin baumier et 59% des ramilles de bouleau blanc en hiver selon les sites dans la réserve faunique de Matane. Comme les orignaux sont en surabondance dans le parc national Forillon, leur utilisation prononcée des peuplements touchés par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette à la fin de l'hiver pourrait mener à une pression de broutage suffisamment élevée pour affecter la régénération du sapin baumier et du bouleau blanc. En effet, Smith *et al.* (2010) ont montré que l'abondance d'orignaux est la meilleure variable pour prédire la densité de la régénération du sapin baumier et du bouleau blanc suite à une épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette. Dans le parc national des Hautes-Terres-du-Cap-Breton en Nouvelle-Écosse, le broutage des orignaux était plus intense dans les sites touchés par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette que dans les sites de forêt intacte et celui-ci restreignait la croissance des semis et des gaules de sapin baumier et de bouleau blanc (Franklin and Harper, 2016).

Considérant la forte densité d'occurrences d'orignaux en hiver dans les zones touchées par l'épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette des années 70 et 80 au nord de la péninsule de Penouille et dans le secteur montagneux au sud-ouest de Rivière-au-Renard, il serait judicieux d'assurer un suivi rapproché du broutage et de la régénération de la forêt dans ces secteurs. Ce suivi pourrait être réalisé par télédétection soit par photo-interprétation d'images satellites pour identifier des ouvertures dans la canopée (MacSween *et al.*, 2019; Rae *et al.*, 2014) ou par analyse de données LiDAR pour observer des changements dans la structure des étages de végétation situés sous la canopée qui pourraient représenter des dommages causés par le broutage intensif (Hamraz *et al.*, 2017; Melin *et al.*, 2016). Caractériser l'état de la régénération de la forêt dans les zones touchées par l'épidémie à l'aide de parcelles positionnées selon un gradient de densité d'orignaux comme ont fait d'autres chercheurs (Iijima and Nagaike, 2015; Smith *et al.*, 2010) serait également une bonne façon d'approfondir notre compréhension de l'impact de l'orignal sur la régénération de la forêt dans le parc national Forillon.

5.5. Limitations de l'essai

Comme les données utilisées pour réaliser les analyses s'étendent sur environ une année, le portrait de l'utilisation de l'habitat par l'orignal obtenu est potentiellement biaisé par les conditions climatiques et les autres particularités de l'année 2020 et du début de l'année 2021. En effet, Leblond *et al.* (2010) ont observé une variation notable dans les taux de mouvement des orignaux lors des trois années de leur étude. De même, nous avons constaté des différences importantes dans l'utilisation de l'habitat entre la fin d'hiver 2020 et la fin d'hiver 2021. Refaire les analyses à partir de données collectées sur une période supérieure à trois ans aiderait à obtenir des résultats plus généralisables de l'utilisation de l'habitat par l'orignal.

L'utilisation des données écoforestières du gouvernement du Québec pour caractériser les préférences des orignaux en termes de peuplements forestiers représente une autre limite puisque cela produit un portrait incomplet de leurs préférences dû à l'absence de données sur les arbres, les arbustes et les semis situés sous la canopée. En effet, les jeunes pousses et les arbustes représentent une proportion appréciable de l'alimentation des orignaux (Christopherson *et al.*, 2019; Crête and Bédard, 1975; Franklin and Harper, 2016; Routledge and Roese, 2004). Afin d'obtenir des informations sur les espèces d'arbres, d'arbustes et de semis situés sous la canopée, des données provenant de la caractérisation des peuplements réalisés sur le terrain, de données

LiDAR (Boucher *et al.*, 2020; Hamraz *et al.*, 2017), ou d'imagerie obtenue par véhicules aériens sans pilote (Hernandez-Santin *et al.*, 2019) pourraient être utilisées pour bonifier les analyses d'utilisation de l'habitat.

Une autre lacune de ce projet provient de l'utilisation de localisations provenant uniquement des femelles et des veaux. Selon les saisons, les mâles peuvent avoir une utilisation de l'habitat assez différente de celle des femelles (Leblond *et al.*, 2010; Oehlers *et al.*, 2011). Si les mâles ont des préférences d'habitat différentes des femelles, leur distribution spatiale dans le parc risque également d'être différente de celle des femelles et des veaux. Le portrait des zones les plus utilisées par les orignaux dans le parc est donc possiblement incomplet. Utiliser des données de localisation provenant d'un échantillon plus représentatif de la population au niveau de la distribution en âge et du sex-ratio permettrait d'obtenir un portrait plus près de la réalité.

Finalement, la variation du nombre d'occurrences utilisé pour réaliser les analyses selon les périodes de l'année et l'absence de données de localisations de jeunes orignaux au début de l'hiver 2020 et à la fin de l'hiver 2021 a pu avoir un impact sur les résultats obtenus. L'utilisation d'un échantillon de taille égale pour chaque période de l'année pour réaliser les analyses de densité de noyau aurait permis de faciliter la comparaison de la distribution spatiale de la densité des occurrences d'orignaux entre les différentes périodes.

6. Conclusion

L'ensemble des objectifs de cet essai ont été atteints. Ce projet aura permis d'établir un portrait saisonnier des déplacements quotidiens des orignaux femelles et des veaux dans le parc national Forillon entre février 2020 et mars 2021. Il aura également permis d'identifier les préférences des orignaux en termes de peuplements forestiers et de topographie selon les périodes de l'année et de caractériser l'utilisation saisonnière des zones affectées par une épidémie de tordeuses des bourgeons de l'épinette par l'orignal. Finalement, ce projet aura permis de cartographier la distribution spatiotemporelle des occurrences d'orignaux dans le parc national. Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet nous permettent ainsi de mieux comprendre quels types de peuplements sont les plus susceptibles d'être utilisés dans le parc national par l'orignal selon la période de l'année et quelles zones du parc sont particulièrement fréquentées par les femelles et les veaux. Ils permettent également de confirmer que les orignaux utilisent de manière

préférentielle les peuplements ayant été perturbés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, et ce, de manière encore plus marquée en hiver.

La méthodologie et les données utilisées dans le cadre de ce projet présentent toutefois des limites à prendre en considération. Puisque les données de localisations s'étendent sur à peine plus d'un an, que les originaux suivis ne comportaient que des femelles et des veaux et qu'ils ne représentaient qu'environ 4% de la population du parc national Forillon, les résultats obtenus ne sont peut-être pas suffisamment représentatifs de l'ensemble de la population. De plus, l'absence de test statistique pour vérifier que l'utilisation des habitats possédant une certaine caractéristique d'intérêt était significativement différente d'une utilisation aléatoire des habitats disponibles impose une limite quant à l'interprétation des résultats obtenus.

Les préférences en termes de peuplements forestiers et de topographie ainsi que la cartographie de la distribution spatiotemporelle des occurrences d'originaux vont permettre d'identifier des zones qui mériteraient une surveillance accrue de la régénération des peuplements, notamment à l'aide de la télédétection, dû au risque plus élevé de broutage intensif par les originaux dans ces zones. Les résultats obtenus dans le présent projet pourront également servir à établir un meilleur plan d'échantillonnage pour les futurs inventaires sur le terrain qui tiendrait compte du niveau d'utilisation potentiel des peuplements par l'original.

7. Références

- Aarts, G., MacKenzie, M., McConnell, B., Fedak, M. and Matthiopoulos, J. (2008) Estimating space-use and habitat preference from wildlife telemetry data. *Ecography*, vol. 31, p. 140-160.
- Barboza, P. S. and Bowyer, R. T. (2000) Sexual Segregation in Dimorphic Deer: A New Gastrocentric Hypothesis. *Journal of Mammalogy*, vol. 81, n°2, p. 473-489.
- Benson, J. F. and Patterson, B. R. (2013) Moose (*Alces alces*) predation by eastern coyotes (*Canis latrans*) and eastern coyote × eastern wolf (*Canis latrans* × *Canis lycaon*) hybrids. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 91, n°11, p. 837-841.
- Boisjoly, D., Ouellet, J.-P. and Courtois, R. (2010) Coyote Habitat Selection and Management Implications for the Gaspésie Caribou. *Journal of Wildlife Management*, vol. 74, n°1, p. 3-11.
- Borowik, T., Kowalczyk, R., Maślanko, W., Duda, N. and Ratkiewicz, M. (2021) Annual movement strategy predicts within-season space use by moose. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, vol. 75, n°8, p. 119.

- Boucher, P. B., Hancock, S., Orwig, D. A., Duncanson, L., Armston, J., Tang, H., Krause, K., Cook, B., Paynter, I., Li, Z., Elmes, A. and Schaaf, C. (2020) Detecting Change in Forest Structure with Simulated GEDI Lidar Waveforms: A Case Study of the Hemlock Woolly Adelgid (HWA; *Adelges tsugae*) Infestation. *Remote Sensing*, vol. 12, n°8, p. 1304.
- Bradshaw, C. J. A., Sims, D. W. and Hays, G. C. (2007) Measurement error causes scale-dependent threshold erosion of biological signals in animal movement data. *Ecological Applications*, vol. 17, n°2, p. 628-638.
- Breton, M., Harvey, D. et Joyal, R. (2014) L'orignal : son habitat, sa biologie, sa chasse (Nouvelle édition actualisée.). Boucherville (Québec) : Les Éditions de Mortagne, 351 p.
- Chekchak, T., Courtois, R., Ouellet, J.-P. et St-Onge, S. (1998) Caractéristiques des sites de mise bas de l'orignal (*Alces alces*). *Canadian Journal of Zoology*, vol. 76, n°9, p. 1663-1670.
- Christopherson, V., Tremblay, J.-P., Gagné, P. N., Bérubé, J. and St-Laurent, M.-H. (2019) Meeting caribou in the alpine: Do moose compete with caribou for food? *Global Ecology and Conservation*, vol. 20, p. e00733.
- Crête, M. (1989) Approximation of K carrying capacity for moose in eastern Quebec. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 67, n°2, p. 373-380.
- Crête, M. and Bédard, J. (1975) Daily Browse Consumption by Moose in the Gaspé Peninsula, Quebec. *The Journal of Wildlife Management*, vol. 39, n°2, p. 368-373.
- Damphousse, I. (2020) Baisse importante du nombre d'orignaux dans le parc national Forillon. Radio-Canada, 9 septembre. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1732606/population-orignaux-parc-national-forillon-gaspe>.
- Desrosiers, M., Varady-Szabol, H. et Malenfant, A. (2011) Analyse des écarts de composition végétale entre la forêt préindustrielle (de 1836 à 1940) et la forêt actuelle (2005) en Gaspésie par unité d'aménagement et région écologique. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles pour le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Gaspé, 38 p.
- Ditmer, M. A., Moen, R. A., Windels, S. K., Forester, J. D., Ness, T. E. and Harris, T. R. (2018) Moose at their bioclimatic edge alter their behavior based on weather, landscape, and predators. *Current Zoology*, vol. 64, n°4, p. 419-432.
- Dussault, C., Courtois, R., Ouellet, J.-P. and Girard, I. (2005) Space use of moose in relation to food availability. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 83, n°11, p. 1431-1437.
- Dussault, C., Ouellet, J.-P., Courtois, R., Huot, J., Breton, L. and Jolicoeur, H. (2005) Linking moose habitat selection to limiting factors. *Ecography*, vol. 28, n°5, p. 619-628.
- ÉcoRessources (2014) L'industrie faunique comme moteur économique régional. Étude préparée pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 71 p.
- Ellis, N. M. and Leroux, S. J. (2017) Moose directly slow plant regeneration but have limited indirect effects on soil stoichiometry and litter decomposition rates in disturbed maritime boreal forests. *Functional Ecology*, vol. 31, n°3, p. 790-801.
- Environmental Systems Research Institute (2020) ArcMap. Logiciel, version 10.8.1, ordinateur, Environmental Systems Research Institute, Redlands.

- Environnement et Changement climatique Canada (2020) Rapport de données quotidiennes - Aéroport de Gaspé [fichier d'ordinateur]. Environnement et Changement climatique Canada, Ottawa.
- Environnement et Changement climatique Canada (2021) Données des stations pour le calcul des normales climatiques au Canada de 1981 à 2010. In Données climatiques historiques, Environnement et Changement climatique Canada, Ottawa, https://climat.meteo.gc.ca/climate_normals.
- Etcheverry, P., Sigouin, D., Côté, M. et Samson, C. (2021) Plan de gestion de l'original 2021-2025, Parc national Forillon. Agence Parcs Canada, Service de la conservation des écosystèmes, parc national Forillon. En préparation.
- Francis, A. L., Procter, C., Kuzyk, G. and Fisher, J. T. (2021) Female Moose Prioritize Forage Over Mortality Risk in Harvested Landscapes. *The Journal of Wildlife Management*, vol. 85, p. 156-168.
- Franklin, C. M. A. and Harper, K. A. (2016) Moose browsing, understorey structure and plant species composition across spruce budworm-induced forest edges. *Journal of Vegetation Science*, vol. 27, n°3, p. 524-534.
- Franzmann, A. W. and Schwartz, C. C. (2007) Ecology and management of the North American moose (2nd ed.). Boulder : University Press of Colorado.
- Guindon, L. (s. d.) Zones atteintes par la tordeuse des bourgeons de l'épinette entre 1975 et 1984 [fichier d'ordinateur]. Centre de foresterie des Laurentides, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Québec.
- Hamraz, H., Contreras, M. A. and Zhang, J. (2017) Vertical stratification of forest canopy for segmentation of understory trees within small-footprint airborne LiDAR point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 130, p. 385-392.
- Hance, D. J., Moriarty, K. M., Hollen, B. A. and Perry, R. W. (2021) Identifying resting locations of a small elusive forest carnivore using a two-stage model accounting for GPS measurement error and hidden behavioral states. *Movement Ecology*, vol. 9, p. 17.
- Hernandez-Santin, L., Rudge, M. L., Bartolo, R. E. and Erskine, P. D. (2019) Identifying Species and Monitoring Understorey from UAS-Derived Data: A Literature Review and Future Directions. *Drones*, vol. 3, n°1, p. 9.
- Iijima, H. and Nagaike, T. (2015) Appropriate vegetation indices for measuring the impacts of deer on forest ecosystems. *Ecological Indicators*, vol. 48, p. 457-463.
- Jacqmain, H. J., Dussault, C. D., Courtois, R. C. and Bélanger, L. B. (2008) Moose-habitat relationships: integrating local Cree native knowledge and scientific findings in northern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 38, n°12, p. 3120-3132.
- Jennewein, J. S., Hebblewhite, M., Mahoney, P., Gilbert, S., Meddens, A. J. H., Boelman, N. T., Joly, K., Jones, K., Kellie, K. A., Brainerd, S., Vierling, L. A. and Eitel, J. U. H. (2020) Behavioral modifications by a large-northern herbivore to mitigate warming conditions. *Movement Ecology*, vol. 8, n°1, p. 39.
- Jolicoeur, H. (2003) Première mention d'un loup en Estrie depuis plus de 100 ans. *Le naturaliste canadien*, vol. 127, n°2, p. 40-46.

- Kelsall, J. P. (1969) Structural Adaptations of Moose and Deer for Snow. *Journal of Mammalogy*, vol. 50, n°2, p. 302-310.
- Kluyver, T., Ragan-Kelley, B., Pérez, F., Granger, B., Bussonnier, M., Frederic, J., Kelley, K., Hamrick, J., Grout, J., Corlay, S., Ivanov, P., Avila, D., Abdalla, S., Willing, C., et Jupyter development team (2016) Jupyter Notebooks – a publishing format for reproducible computational workflows. *In* F. Loizides et B. Schmidt (dir.), p. 87-90. IOS Press.
- Leblond, M., Dussault, C. and Ouellet, J.-P. (2010) What drives fine-scale movements of large herbivores? A case study using moose. *Ecography*, vol. 33, n°6, p. 1102-1112.
- Lefort, S. et Massé, S. (2015) Plan de gestion de l'original au Québec 2012-2019, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats et Direction générale du développement de la faune, 443 p.
- Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Parker, G. G. and Harding, D. J. (2002) Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies: Lidar, an emerging remote sensing technology that directly measures the three-dimensional distribution of plant canopies, can accurately estimate vegetation structural attributes and should be of particular interest to forest, landscape, and global ecologists. *BioScience*, vol. 52, n°1, p. 19-30.
- Lévesque, F. (1997) Conséquences de la dynamique de la mosaïque forestière sur l'intégrité écologique du parc national Forillon. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 186 p.
- MacSween, J., Leroux, S. J. and Oakes, K. D. (2019) Cross-ecosystem effects of a large terrestrial herbivore on stream ecosystem functioning. *Oikos*, vol. 128, n°1, p. 135-145.
- McCulley, A. M., Parker, K. L. and Gillingham, M. P. (2017) Yukon moos: II. Range sizes, movement rates, and use of elevation and land cover by males and females. *Alces*, vol. 53, p. 137-157.
- McLaren, A. A. D., Benson, J. F. and Patterson, B. R. (2017) Multiscale habitat selection by cow moose (*Alces alces*) at calving sites in central Ontario. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 95, n°12, p. 891-899.
- McLaren, B. E., Mahoney, S. P., Porter, T. S. and Oosenbrug, S. M. (2000) Spatial and temporal patterns of use by moose of pre-commercially thinned, naturally-regenerating stands of balsam fir in central Newfoundland. *Forest Ecology and Management*, vol. 133, n°3, p. 179-196.
- Melin, M., Matala, J., Mehtätalo, L., Suvanto, A. and Packalen, P. (2016) Detecting moose (*Alces alces*) browsing damage in young boreal forests from airborne laser scanning data. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 46, n°1, p. 10-19.
- Milner, J. M., van Beest, F. M., Solberg, E. J. and Storaas, T. (2013) Reproductive success and failure: the role of winter body mass in reproductive allocation in Norwegian moose. *Oecologia*, vol. 172, n°4, p. 995-1005.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (2019a) Couche des territoires récréatifs du Québec à l'échelle de 1/100 000 [fichier d'ordinateur]. 1 : 100 000, Géoboutique Québec, Québec.

- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (2019b) Modèles numériques de terrain à l'échelle de 1/20 000 [fichier d'ordinateur]. 1 : 20 000, résolution de 10 m, feuillets 22a15202, 22a16101, 22a16102, 22a16201 et 22a16202, Géoboutique Québec, Québec.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (2015) Répartition de l'orignal (*Alces alces*) au Québec. Québec : Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 1:10 000 000.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (2020) Carte écoforestière avec perturbations [fichier d'ordinateur]. 1 : 250 000, feuillet 22A, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (2021) Gros gibier et dindon sauvage - Québec dévoile ses statistiques de récolte 2020 [Communiqué]. <https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/gros-gibier-et-dindon-sauvage-quebec-devoile-ses-statistiques-de-recolte-2020>.
- Moen, R., Pastor, J. and Cohen, Y. (1997) A spatially explicit model of moose foraging and energetics. *Ecology*, vol. 78, n°2, p. 505-521.
- Montgomery, R. A., Redilla, K. M., Moll, R. J., Van Moorter, B., Rolandsen, C. M., Millsaugh, J. J. and Solberg, E. J. (2019) Movement modeling reveals the complex nature of the response of moose to ambient temperatures during summer. *Journal of Mammalogy*, vol. 100, n°1, p. 169-177.
- Musante, A. R., Pekins, P. J. and Scarpitti, D. L. (2010) Characteristics and dynamics of a regional moose *Alces alces* population in the northeastern United States. *Wildlife Biology*, vol. 16, n°2, p. 185-204.
- Nosko, P., Roberts, K., Knight, T. and Marcellus, A. (2020) Growth and chemical responses of balsam fir saplings released from intense browsing pressure in the boreal forests of western Newfoundland, Canada. *Forest Ecology and Management*, vol. 460, p. 117839.
- Oehlers, S. A., Bowyer, R. T., Huettmann, F., Person, D. K. and Kessler, W. B. (2011) Sex and scale: implications for habitat selection by Alaskan moose *Alces alces gigas*. *Wildlife Biology*, vol. 17, n°1, p. 67-84.
- Parcs Canada (2010) Parc national du Canada Forillon : plan directeur. Parc national du Canada Forillon, Parcs Canada, Gaspé, 129 p.
- Parcs Canada (2011) Hyperabundant moose management plan for Gros Morne National Park. Parcs Canada. Rocky Harbour, Terre-Neuve, 46 p.
- Parcs Canada (2019) Gestion des orignaux — Parc national Terra-Nova. In Parcs Canada, Parcs Canada, Ottawa. [En ligne]. <https://www.pc.gc.ca/fr/pn-np/nl/terranova/nature/forets-forests> (page consultée le 9 janvier 2022).
- Parcs Canada (2020a) Maintenir l'équilibre de la forêt — Parc national Forillon. In Parcs Canada, Parcs Canada, Ottawa. [En ligne]. <https://www.pc.gc.ca/fr/pn-np/qc/forillon/decouvrir-discover/faune-wildlife/moose-origanal> (page consultée le 9 janvier 2022).
- Parcs Canada (2020b) La santé des forêts dans le parc national du Gros-Morne — Sciences et conservation. In Parcs Canada, Parcs Canada, Ottawa. [En ligne].

- <https://www.pc.gc.ca/fr/nature/science/conservation/forets-forests/grosmorne> (page consultée le 9 janvier 2022).
- Parcs Canada (2020c) Rétablir la santé de la forêt dans les Hautes-Terres — Parc national des Hautes-Terres-du-Cap-Breton. In Parcs Canada, Parcs Canada, Ottawa. [En ligne]. <https://www.pc.gc.ca/fr/pn-np/ns/cbreton/decouvrir-discover/conservation/foret-forest> (page consultée le 9 janvier 2022).
- Parcs Canada (2020d) Orignal — Parc national des Hautes-Terres-du-Cap-Breton. In Parcs Canada, Parcs Canada, Ottawa, <https://www.pc.gc.ca/fr/pn-np/ns/cbreton/decouvrir-discover/faune-animals/mammiferes-mammals/orignal-moose> (page consultée le 9 janvier 2022).
- Parcs Canada (2020e) Végétation — Parc national Forillon. In Parcs Canada, Parcs Canada, Ottawa. [En ligne]. <https://www.pc.gc.ca/fr/pn-np/qc/forillon/decouvrir-discover/vegetation> (page consultée le 9 janvier 2022).
- Parcs Canada (2021) Données de positionnement de l'orignal dans le parc national Forillon [fichier d'ordinateur]. Parcs Canada, Québec.
- Pastor, J., Dewey, B., Naiman, R. J., McInnes, P. F. and Cohen, Y. (1993) Moose Browsing and Soil Fertility in the Boreal Forests of Isle Royale National Park. *Ecology*, vol. 74, n°2, p. 467-480.
- Pendergast IV, T. H., Hanlon, S. M., Long, Z. M., Royo, A. A. and Carson, W. P. (2016) The legacy of deer overabundance: long-term delays in herbaceous understory recovery. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 46, n°3, p. 362-369.
- Poole, K. G., Serrouya, R. and Stuart-Smith, K. (2007) Moose Calving Strategies in Interior Montane Ecosystems. *Journal of Mammalogy*, vol. 88, n°1, p. 139-150.
- Poole, K. G. and Stuart-Smith, K. (2006) Winter habitat selection by female moose in western interior montane forests. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 84, n°12, p. 1823-1832.
- Rae, L. F., Whitaker, D. M. and Warkentin, I. G. (2014) Multiscale impacts of forest degradation through browsing by hyperabundant moose (*Alces alces*) on songbird assemblages. *Diversity and Distributions*, vol. 20, n°4, p. 382-395.
- Renecker, L. A. and Hudson, R. J. (1986) Seasonal energy expenditures and thermoregulatory responses of moose. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 64, n°2, p. 322-327.
- Routledge, R. G. and Roese, J. (2004) Moose winter diet selection in central Ontario. *Alces*, vol. 40, p. 95-101.
- Ruprecht, J. S., Hersey, K. R., Hafen, K., Monteith, K. L., DeCesare, N. J., Kauffman, M. J. and MacNulty, D. R. (2016) Reproduction in moose at their southern range limit. *Journal of Mammalogy*, vol. 97, n°5, p. 1355-1365.
- Samson, C., Dussault, C., Courtois, R. et Ouellet, J.-P. (2002) Guide d'aménagement de l'habitat de l'orignal. Société de la faune et des parcs du Québec, Fondation de la faune du Québec et ministère des Ressources naturelles du Québec, Sainte-Foy, 48 p.
- Schwartz, C. (1992) Reproductive biology of North American moose. *Alces*, vol. 28, p. 165-173.

- Severud, W. J., DelGiudice, G. D. and Obermoller, T. R. (2019) Association of moose parturition and post-parturition habitat with calf survival. *The Journal of Wildlife Management*, vol. 83, n°1, p. 175-183.
- Severud, W. J., Giudice, G. D., Obermoller, T. R., Enright, T. A., Wright, R. G. and Forester, J. D. (2015) Using GPS collars to determine parturition and cause-specific mortality of moose calves. *Wildlife Society Bulletin*, vol. 39, n°3, p. 616-625.
- Sigouin, D. (2021) Situation de l'orignal et impacts sur la végétation - Inventaires 2020. Abrégé technique. Parc national Forillon, Parcs Canada, Gaspé, 17 p.
- Sigouin, D., Ouellet, J.-P. and Courtois, R. (1995) Moose (*Alces alces*) rutting period variations. *Alces*, vol. 31, p. 185-197.
- Silverman, B. W. (1986) *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. New York : Chapman and Hall.
- Smith, C., Beazley, K. F., Duinker, P. and Harper, K. A. (2010) The impact of moose (*Alces alces andersoni*) on forest regeneration following a severe spruce budworm outbreak in the Cape Breton Highlands, Nova Scotia, Canada. *Alces*, vol. 46, p. 135-150.
- Tendeng, B. (2014) Utilisation conjointe des savoirs traditionnels et scientifiques pour évaluer la qualité de l'habitat de l'orignal en forêt feuillue. Mémoire de maîtrise, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, 86 p.
- Thompson, D. P., Crouse, J. A., Barboza, P. S., Spathelf, M. O., Herberg, A. M., Parker, S. D. and Morris, M. A. (2021) Behaviour influences thermoregulation of boreal moose during the warm season. *Conservation Physiology*, vol. 9, n°1, p. coaa130.
- Thompson, I. D., Curran, W. J., Hancock, J. A. and Butler, C. E. (1992) Influence of moose browsing on successional forest growth on black spruce sites in Newfoundland. *Forest Ecology and Management*, vol. 47, n°1, p. 29-37.
- Thurfjell, H., Ciuti, S. and Boyce, M. S. (2014) Applications of step-selection functions in ecology and conservation. *Movement Ecology*, vol. 2, p. 4.
- Veeroja, R., Kirk, A., Tilgar, V., Säde, S., Kreitsberg, M. and Tõnisson, J. (2010) Conception date affects litter type and foetal sex ratio in female moose in Estonia. *Journal of Animal Ecology*, vol. 79, p. 169-175.
- Vriendt, L. D., Lavoie, S., Barrette, M. and Tremblay, J.-P. (2021) From delayed succession to alternative successional trajectory: How different moose browsing pressures contribute to forest dynamics following clear-cutting. *Journal of Vegetation Science*, vol. 32, n°1, p. e12945.

Annexe 1 – Description statistique des déplacements des orignaux femelles et des veaux dans le parc national Forillon

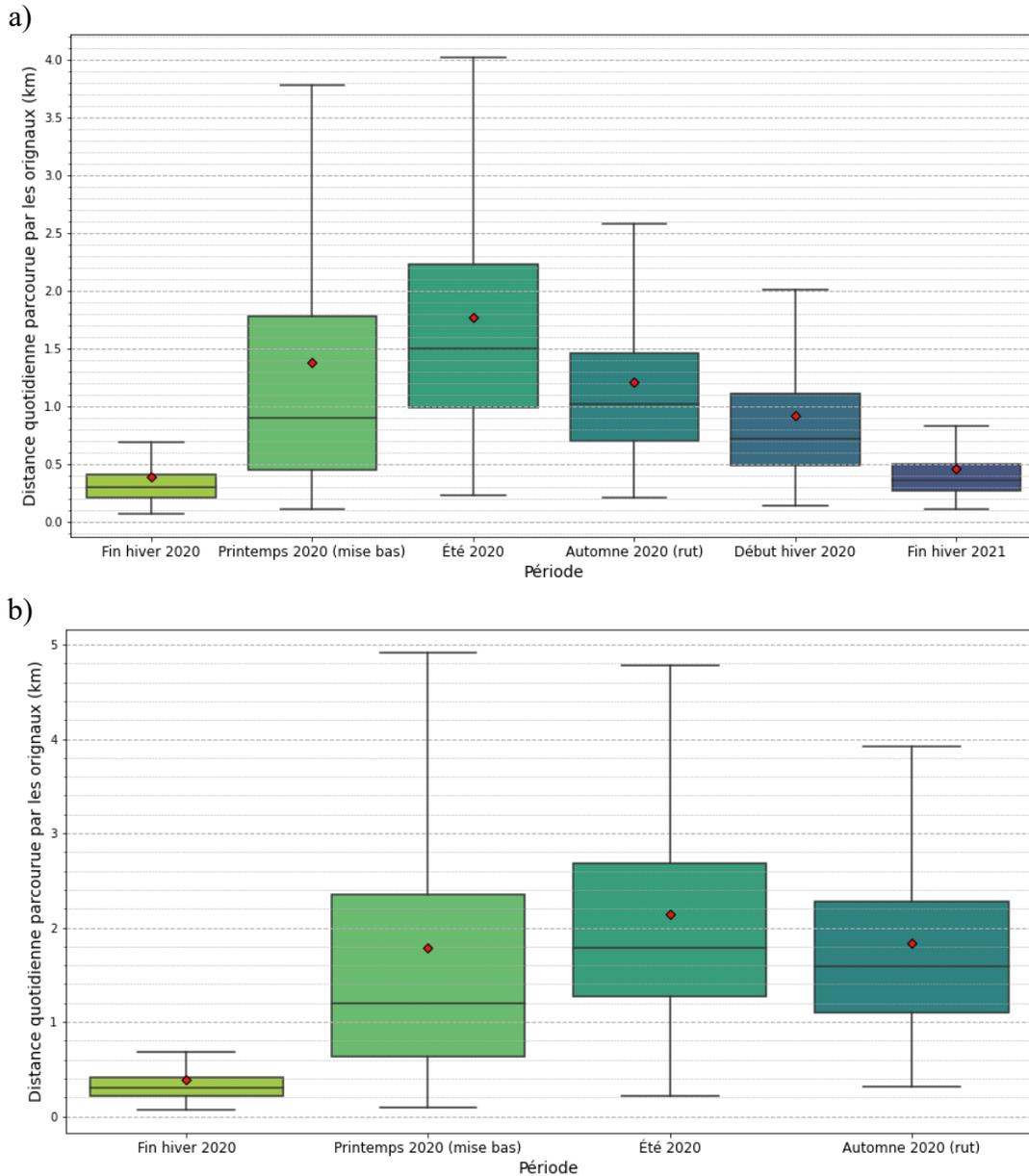


Figure 15. Diagramme des quartiles de la distribution des distances quotidiennes parcourues dans le parc national Forillon au Québec, Canada, par a) les orignaux femelles (*Alces alces*) et b) les veaux lors des périodes de fin de l'hiver 2020 (4 février 2020 – 17 avril 2020), de printemps 2020 (18 avril 2020 – 28 juin 2020), d'été 2020 (29 juin 2020 – 9 septembre 2020) et d'automne 2020 (10 septembre 2020 – 24 octobre) pour les veaux ainsi que lors des périodes additionnelles de début de l'hiver 2020 (25 octobre 2020 – 3 février 2021) et de fin de l'hiver 2021 (3 février 2021 – 25 mars 2021) pour les femelles. Les points rouges représentent la distance quotidienne moyenne parcourue lors de ces périodes. Les valeurs maximales représentent 1,5 fois l'étendue interquartile par rapport au troisième quartile. Les valeurs aberrantes ne sont pas représentées dans le diagramme.

Annexe 2 – Distribution saisonnière de la densité des occurrences d'orignaux (*Alces alces*) dans le parc national Forillon (cartes grand format)

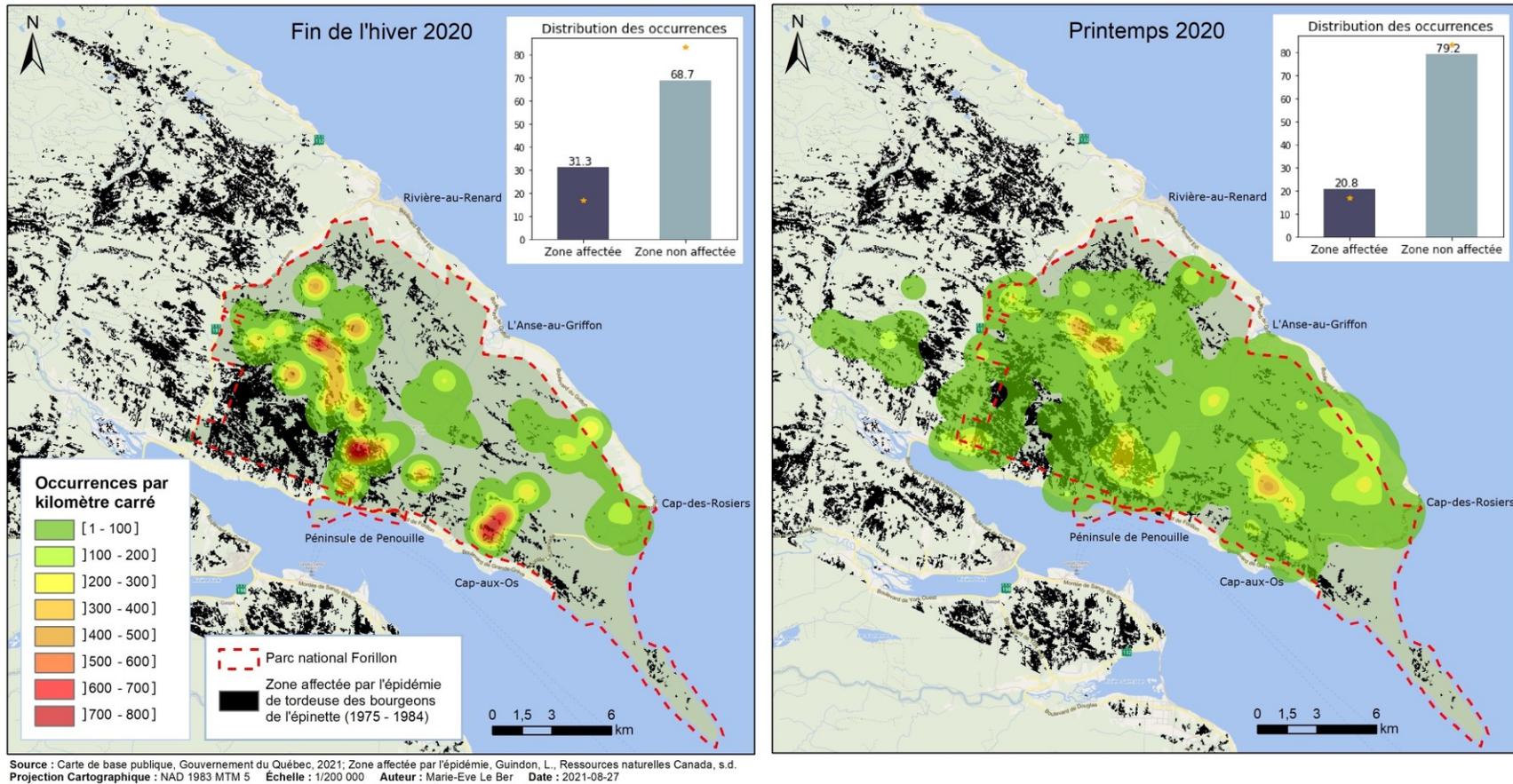


Figure 16. Distribution saisonnière de la densité des occurrences d'orignaux (*Alces alces*) estimée à partir d'une analyse de densité de noyau et zones affectées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette lors de l'épidémie des années 1970 et 1980 dans le parc national Forillon, Québec, Canada. Les graphiques présents sur les cartes montrent le pourcentage des occurrences situées à l'intérieur et à l'extérieur des zones affectées par l'épidémie de tordeuses et les étoiles sur ceux-ci indiquent le pourcentage du parc ayant été touché ou non par l'épidémie.

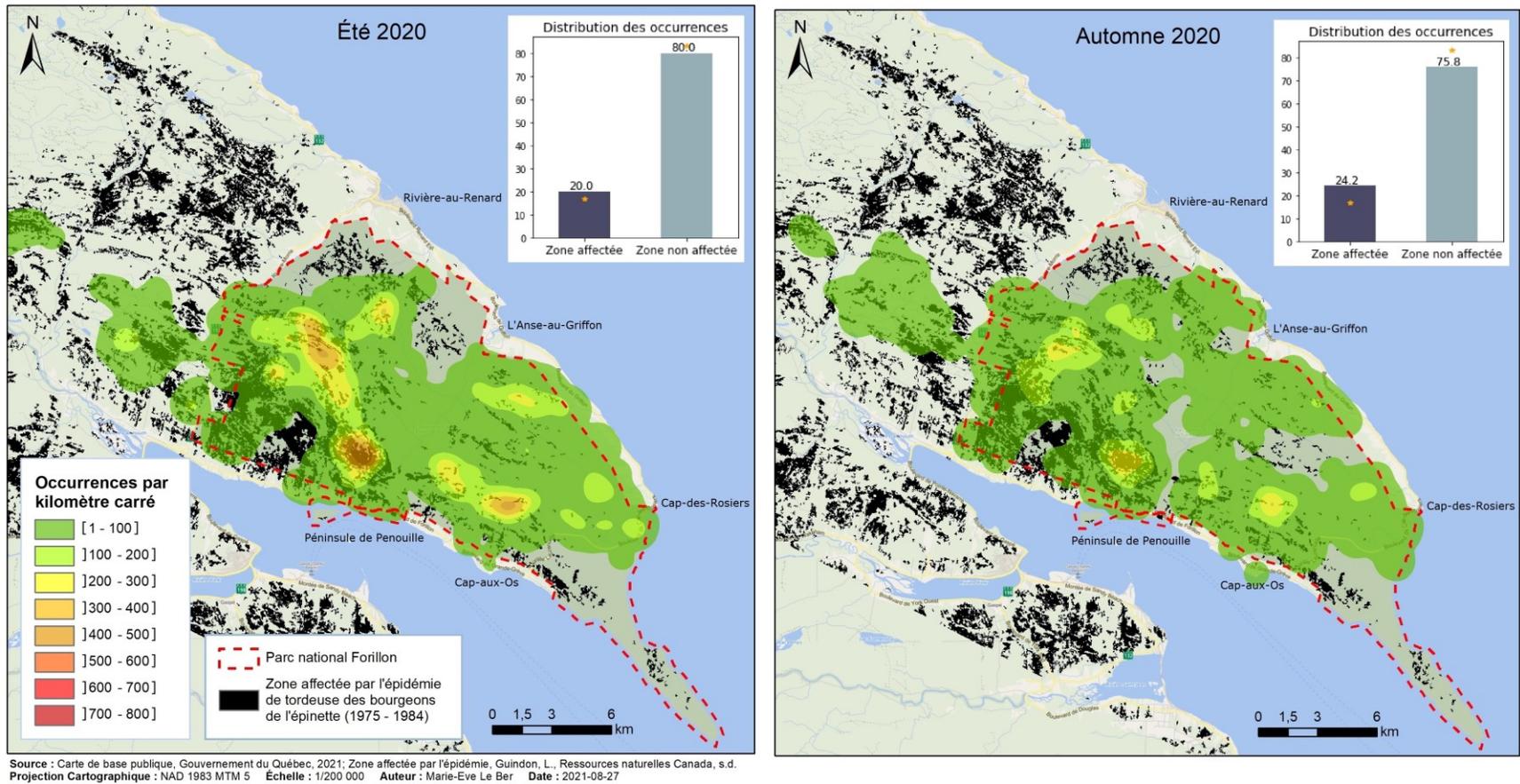


Figure 16 : suite

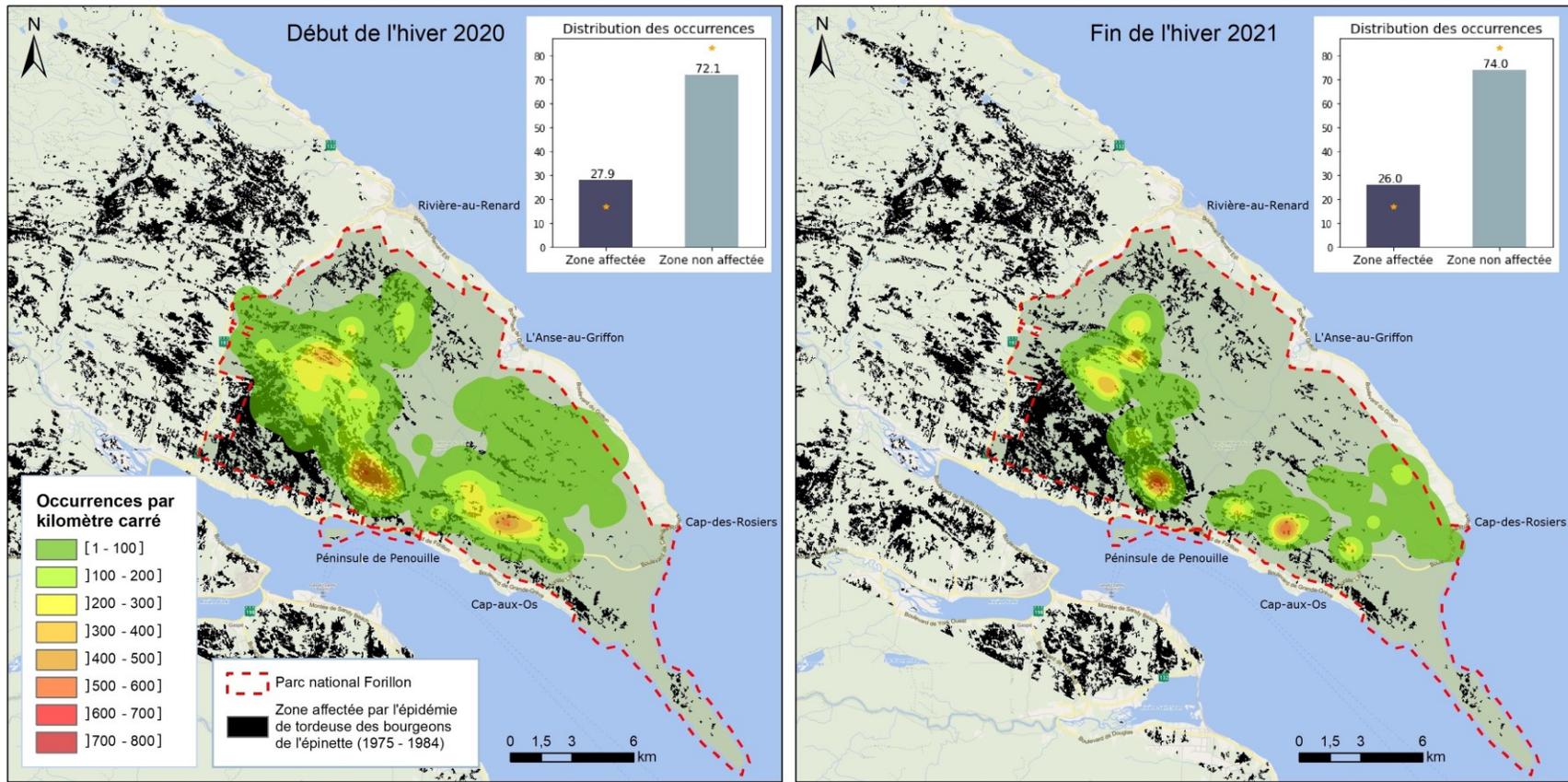


Figure 16 : suite