

Synthèse des travaux de recherche sur l'aménagement intégré faune-forêt à l'île d'Anticosti dans un contexte de surabondance du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*)

Baptiste Brault, Julien H. Richard, Nelson Thiffault, Jean-Pierre Tremblay et Steeve D. Côté

Volume 147, numéro 1, printemps 2023

Les enjeux de la recherche à Anticosti : état des lieux et perspectives

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1098176ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1098176ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

0028-0798 (imprimé)

1929-3208 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Brault, B., Richard, J. H., Thiffault, N., Tremblay, J.-P. & Côté, S. D. (2023). Synthèse des travaux de recherche sur l'aménagement intégré faune-forêt à l'île d'Anticosti dans un contexte de surabondance du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*). *Le Naturaliste canadien*, 147(1), 94–105. <https://doi.org/10.7202/1098176ar>

Résumé de l'article

Les populations surabondantes de grands herbivores constituent à la fois une ressource faunique et une menace pour l'intégrité des écosystèmes qu'ils occupent. Les cervidés en forte densité peuvent surexploiter les forêts et compromettre leur régénération. L'île d'Anticosti représente un laboratoire naturel à ciel ouvert pour tester les méthodes d'aménagement cerf-forêt adaptées à la surabondance de cervidés. La forte densité de cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*) y a fortement modifié la composition, la structure et la régénération de la forêt. La chasse aux cerfs, principale activité économique sur l'île, peut aussi être affectée par la dégradation de l'habitat engendrée par la surabondance des cerfs. Depuis plus de 20 ans, notre programme de recherche vise à développer des méthodes d'aménagement forestier et faunique adaptées aux densités élevées de cervidés. Nous nous intéressons à l'identification et à la compréhension des mécanismes par lesquels le cerf altère l'intégrité des écosystèmes, notamment à travers son utilisation de l'habitat. Nous testons différents traitements sylvicoles adaptés aux densités élevées de cervidés dans une perspective d'aménagement durable des ressources forestières. Globalement, nos travaux supporteront l'élaboration d'outils de gestion permettant de concilier la régénération de la forêt et la mise en valeur du cerf de Virginie.

Synthèse des travaux de recherche sur l'aménagement intégré faune-forêt à l'île d'Anticosti dans un contexte de surabondance du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*)

Baptiste Brault, Julien H. Richard, Nelson Thiffault, Jean-Pierre Tremblay et Steeve D. Côté

Résumé

Les populations surabondantes de grands herbivores constituent à la fois une ressource faunique et une menace pour l'intégrité des écosystèmes qu'ils occupent. Les cervidés en forte densité peuvent surexploiter les forêts et compromettre leur régénération. L'île d'Anticosti représente un laboratoire naturel à ciel ouvert pour tester les méthodes d'aménagement cerf-forêt adaptées à la surabondance de cervidés. La forte densité de cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*) y a fortement modifié la composition, la structure et la régénération de la forêt. La chasse aux cerfs, principale activité économique sur l'île, peut aussi être affectée par la dégradation de l'habitat engendrée par la surabondance des cerfs. Depuis plus de 20 ans, notre programme de recherche vise à développer des méthodes d'aménagement forestier et faunique adaptées aux densités élevées de cervidés. Nous nous intéressons à l'identification et à la compréhension des mécanismes par lesquels le cerf altère l'intégrité des écosystèmes, notamment à travers son utilisation de l'habitat. Nous testons différents traitements sylvicoles adaptés aux densités élevées de cervidés dans une perspective d'aménagement durable des ressources forestières. Globalement, nos travaux supporteront l'élaboration d'outils de gestion permettant de concilier la régénération de la forêt et la mise en valeur du cerf de Virginie.

MOTS-CLÉS : aménagement écosystémique, broutement, cerf de Virginie, forêt boréale, sapin baumier

Abstract

Overabundant populations of large herbivores are both a wildlife resource and a threat to the integrity of the ecosystems they occupy. At high densities, deer can damage forests and jeopardize their regeneration. Anticosti Island (Québec, Canada) offers a natural outdoor laboratory for testing forest and deer management methods adapted to the overabundance of deer. The high density of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) on the island has greatly altered the composition, structure and regeneration of its forests. The habitat degradation caused by this overabundance can also affect deer hunting, which is the principal economic activity on the island. For more than 20 years, the main objective of our research has been to develop forest and wildlife management methods adapted to high deer densities. We are interested in identifying and understanding the mechanisms by which deer alter ecosystem integrity, particularly through their habitat use behaviour. From a perspective of sustainable management of forest resources, we are testing different silvicultural treatments adapted to high deer densities. Overall, our work will support the development of management tools to reconcile forest regeneration and the valorization of white-tailed deer.

KEYWORDS: balsam fir, boreal forest, browsing, ecosystem management, white-tailed deer

Introduction

La présence de cervidés en forte densité peut profondément modifier la structure des communautés végétales et mettre en péril les écosystèmes (Côté et collab., 2004). L'île d'Anticosti (Québec, Canada) en est un exemple : en raison de sa forte densité, le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) exerce une pression élevée sur la forêt boréale de l'île mettant en péril sa régénération ainsi que l'habitat hivernal de son espèce (Potvin et collab., 2003 ; Tremblay et collab., 2005). Pour assurer le maintien d'un habitat favorable pour une population durable de cerfs et maintenir la composition et la structure des forêts, il est essentiel de développer des méthodes d'aménagement favorisant le rétablissement du type de forêt dominante de l'île, soit la sapinière à bouleau blanc (*Betula papyrifera*) (Lefort et collab., 2007).

Depuis plus de 20 ans, nous menons un programme de recherche multidisciplinaire sur les relations entre le cerf et la forêt boréale sur l'île d'Anticosti (Côté et collab.,

Baptiste Brault est étudiant à la maîtrise en biologie à l'Université Laval.

baptiste.brault.1@ulaval.ca

Julien H. Richard (biologiste, M. Sc.) est professionnel de recherche au Département de biologie de l'Université Laval.

Nelson Thiffault (ingénieur forestier, Ph. D.) est chercheur scientifique au Centre canadien sur la fibre de bois de Ressources naturelles Canada.

Jean-Pierre Tremblay (biologiste, Ph. D.) et Steeve D. Côté (biologiste, Ph. D.) sont professeurs titulaires au Département de biologie de l'Université Laval.

2008) (figure 1). L'objectif principal de ce programme est de développer des méthodes d'aménagement forestier et faunique adaptées aux densités élevées de cervidés. Nous avons expérimenté différentes méthodes de coupe, notamment des coupes avec protection de la régénération et des sols (CPRS), des coupes progressives et des coupes avec réserve d'îlots semenciers accompagnées de scarifiage, allant de 0,5 à 300 ha selon les traitements, dans le but de régénérer l'habitat du cerf. Nous avons également mené une série d'expériences dans lesquelles nous avons contrôlé la densité de cerfs pour identifier les seuils compatibles avec la régénération de la forêt boréale (figure 2). Nous avons profité de ces expériences de densité contrôlée de cerfs pour étudier la réponse des communautés végétales et animales de différents niveaux trophiques le long d'un gradient d'intensité de broutement par les cerfs. Nous avons mené des études sylvicoles afin de tester et de développer des traitements permettant de favoriser la régénération de la forêt. Pour finir, nous avons également mené des recherches sur les facteurs influençant le succès de chasse et l'intensification du prélèvement en faveur de la régénération naturelle.

Cet article vise à synthétiser certains des principaux résultats de ce programme de recherche sur l'île d'Anticosti. Dans leur ensemble, nos résultats illustrent comment une population surabondante de cerfs a modifié un écosystème de forêt boréale, comment le cerf s'est adapté aux nouvelles conditions environnementales créées par son broutement, notamment la raréfaction d'essences fourragères et de sapinières. Ils identifient aussi certaines opportunités et limites de l'aménagement forestier et de la sylviculture pour faire face au déficit de renouvellement des sapinières sur l'île. Nous débutons avec une mise en contexte des spécificités et des problématiques propres à l'île d'Anticosti ainsi qu'à son plan d'aménagement. Nous développons ensuite les résultats obtenus pour les principaux thèmes de recherche qui ont été abordés : les relations entre les densités élevées de cerfs et les processus écologiques des écosystèmes forestiers, l'élaboration de stratégies sylvicoles adaptées aux fortes populations d'herbivores, l'utilisation d'habitat et les stratégies d'approvisionnement du cerf de Virginie, ainsi que la définition et la mise au point d'outils de gestion intégrée des ressources biologiques forestières (Côté et collab., 2008). Pour terminer, nous évoquons les perspectives pour la recherche sur l'île d'Anticosti.

Contexte

Nous avons mené nos études sur l'île d'Anticosti, une île d'une superficie de 7 943 km² située dans l'ouest du golfe du Saint-Laurent, au Québec, Canada (49°28' N., 63°00' O.). L'île d'Anticosti appartient au domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'Est (Saucier et collab., 2009). La forêt préindustrielle était composée de peuplements résineux surannés dominés par le sapin baumier (*Abies balsamea*) (Barrette et collab., 2010).

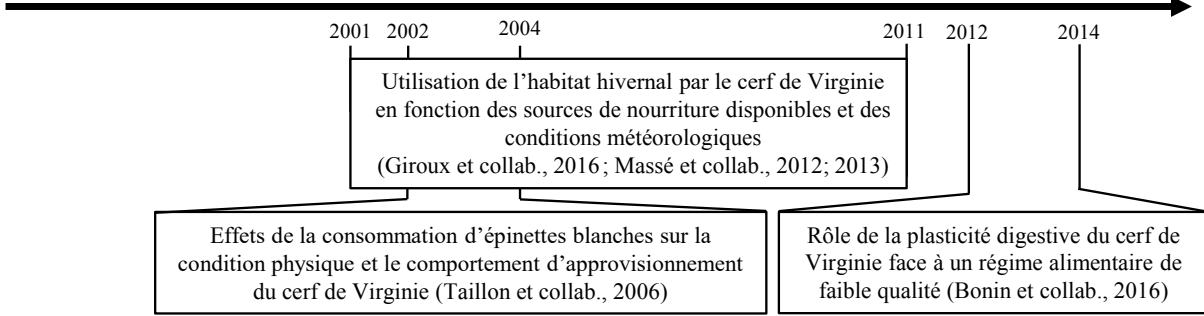
À la fin du 19^e siècle, environ 220 cerfs de Virginie ont été introduits sur l'île. Depuis, leur nombre a augmenté, profitant

d'un habitat exempt de prédateur naturel. En 2006, la population de cerfs était estimée localement à plus de 20 cerfs/km² (Rochette et Gingras, 2007). Le principal facteur limitant la population est la disponibilité des ressources alimentaires en hiver (Massé et Côté, 2012), lesquelles fluctuent en fonction de la sévérité des conditions hivernales (Simard et collab., 2010).

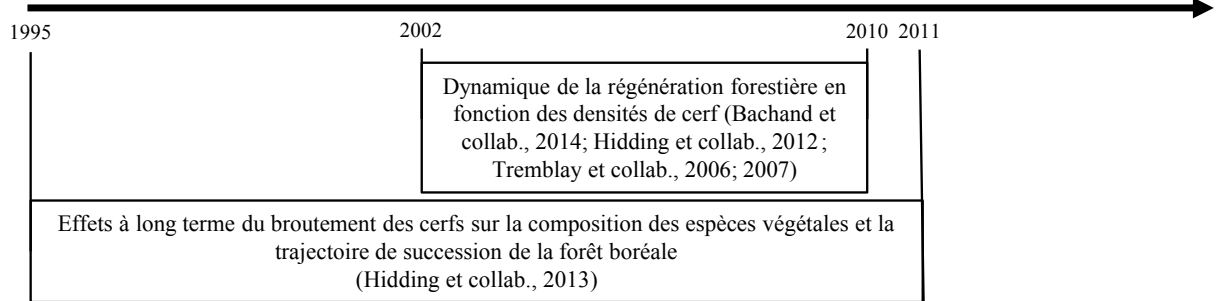
La densité des cerfs a une forte répercussion sur l'avenir de la forêt, car elle détermine en grande partie le taux de broutement qui entraîne des modifications dans la composition des strates herbacée, arbustive et arborée lorsque celui-ci est répété (figure 3). Il en résulte une raréfaction de la strate arbustive et de la plupart des espèces à feuilles caduques des strates arbustive et arborée (Potvin et collab., 2003; Tremblay et collab., 2005). Les sapinières sont un habitat clé pour la survie hivernale du cerf de Virginie sur l'île. Le sapin baumier est l'une des rares et la principale source de nourriture dont le cerf dispose en hiver depuis la disparition de la majeure partie des espèces à feuilles caduques (Lefort et collab., 2007). Or, la régénération des sapinières est compromise par le broutement des semis de sapin par le cerf, qui fait en sorte que le sapin est progressivement remplacé par l'épinette blanche (*Picea glauca*), une espèce moins convoitée (Potvin et collab., 2003; Sauvé et Côté, 2007; Tremblay et collab., 2007). De plus, la chasse sportive prélève annuellement moins de 5% de la population de cerfs de l'île, un taux de prélèvement insuffisant pour assurer le contrôle de la population (Simard et collab., 2008; 2010).

En 2000, une stratégie d'aménagement faune-forêt a vu le jour afin de favoriser la régénération du sapin baumier. Cette stratégie repose sur la mise en place de zones de coupes totales (la coupe de la totalité ou presque des arbres à valeur commerciale dans un délai de moins de 10 ans; MFFP, 2017) et de forêts résiduelles dans de grands espaces clôturés (exclos). À l'intérieur de ces espaces clôturés, les densités de cerfs sont réduites par la chasse sportive. L'objectif est que les coupes totales avec protection de la régénération permettent de réinstaurer la dynamique des sapinières en reproduisant les perturbations naturelles qui libèrent la régénération du sous-étage (Beaupré et collab., 2005). La plantation a été également prescrite pour suppléer aux carences de la régénération naturelle. Une quinzaine d'années après la mise en place des clôtures, une fois que les sapins ont atteint une hauteur suffisante pour échapper au broutement, les exclos sont démantelés. Les principales préoccupations des aménagistes étaient que la disparition des sapinières puisse avoir des effets négatifs pour d'autres espèces végétales ou animales et sur la chasse au cerf, la principale activité économique de l'île (Beaupré et collab., 2005). En 2001, la Chaire de recherche industrielle en gestion intégrée des ressources de l'île d'Anticosti a été créée à l'Université Laval (Québec, Canada), afin d'étudier les relations entre le cerf, les forêts et l'exploitation des ressources naturelles de la forêt boréale dans le contexte de la mise en place de cette stratégie d'aménagement décrite dans les lignes précédentes.

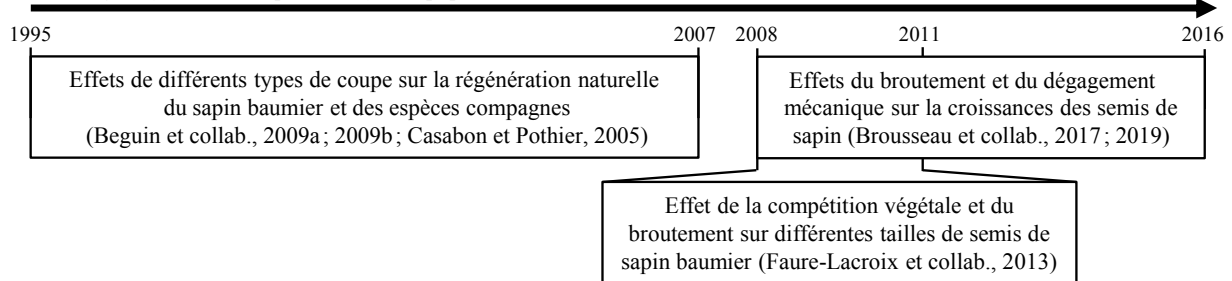
La dépendance du cerf envers le sapin baumier



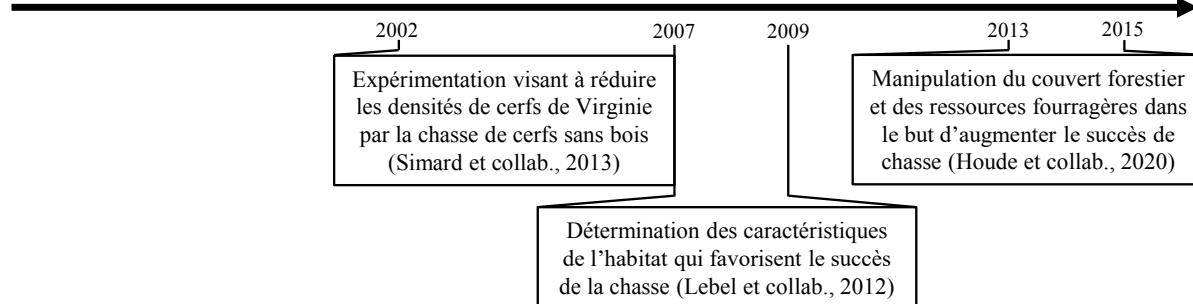
Relations entre les densités élevées de cerfs et les processus écologiques des écosystèmes forestiers



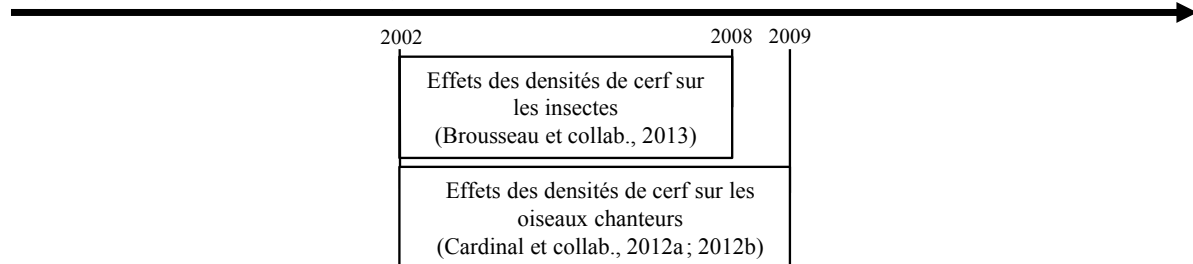
Stratégies sylvicoles adaptées aux fortes populations d'herbivores



Outils de gestion intégrée des densités de cerfs de Virginie



Effets directs et indirects du cerf sur la faune



Illustrateur : Baptiste Brault

Figure 1. Chronologie des travaux menés dans le cadre du programme de recherche multidisciplinaire sur les relations entre le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) et la forêt boréale sur l'île d'Anticosti (Québec, Canada). Les flèches horizontales représentent les diverses études effectuées pour couvrir les différents thèmes du programme.

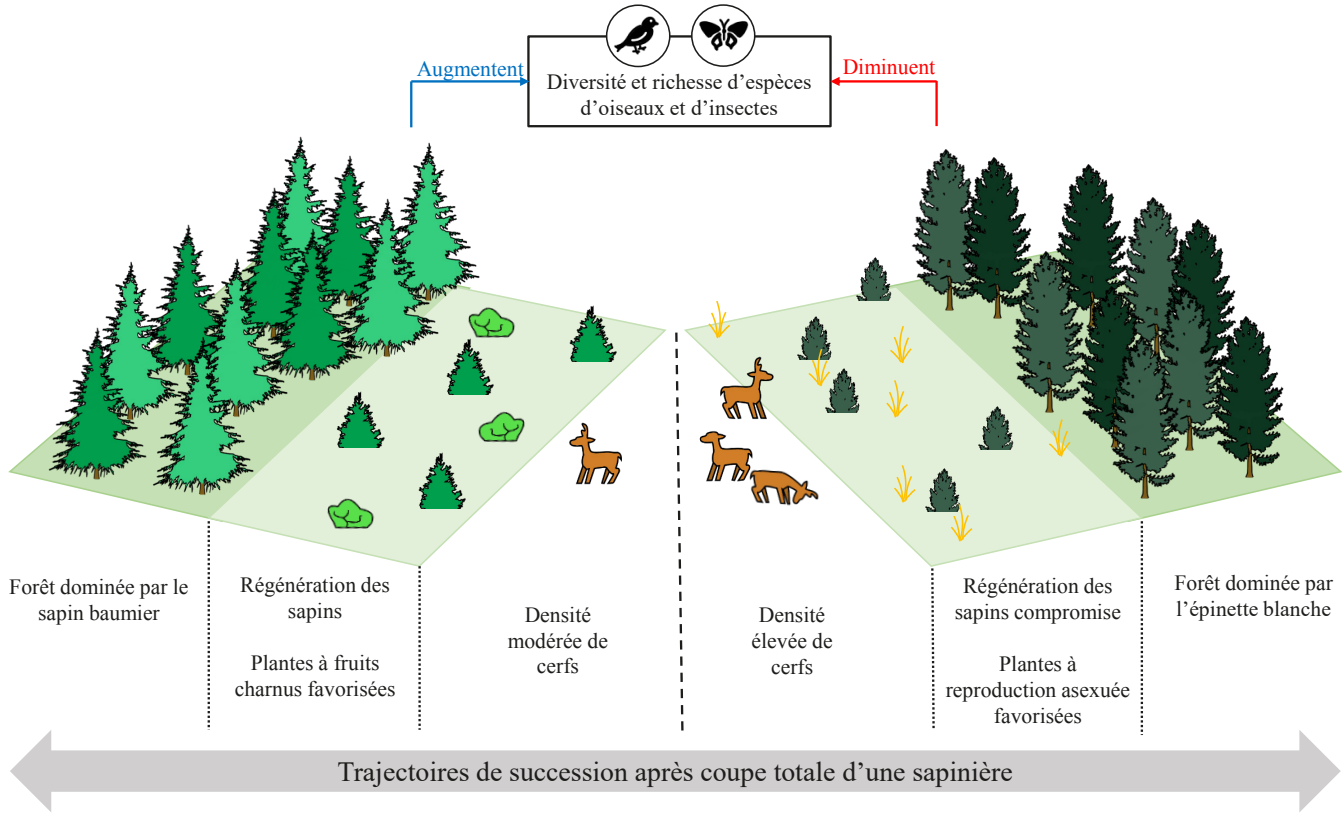


Figure 2. Effets directs et indirects des densités de cerfs de Virginie sur les trajectoires de succession après la coupe des forêts à l'île d'Anticosti (Québec, Canada).



Figure 3. Exclos de recherche permettant d'observer la régénération naturelle en l'absence de cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*) sur l'île d'Anticosti (Québec, Canada).

Dépendance du cerf envers le sapin baumier

En hiver, le cerf sélectionne son habitat selon la disponibilité du sapin baumier consommable en tenant compte de la couverture de neige qui limite ses déplacements (Massé et Côté, 2012). Cette dépendance aux sapins en régénération s'accroît avec la rudesse de l'hiver (Giroux et collab., 2016; Massé et Côté, 2013). Nous avons aussi cherché à savoir si les densités élevées de cerfs sur l'île seraient en mesure de se maintenir malgré la raréfaction croissante du sapin baumier, notamment en augmentant la proportion d'épinettes blanches consommées. Pour y parvenir, nous avons mis en place une expérience simulant une détérioration de la qualité de l'alimentation hivernale dans des enclos semi-naturels en augmentant la proportion d'épinettes blanches dans le régime alimentaire du segment le plus vulnérable de la population, soit les faons (Taillon et collab., 2006). L'expérience a été réalisée pendant l'hiver sur 2 ans, avec des faons différents âgés de 6 à 7 mois. Nous débutons en janvier pour terminer lorsque la neige avait fondu, soit vers la fin mars–mi-avril. Nous avons évalué la survie des faons ainsi que leur budget d'activité au cours de l'hiver par des observations directes des individus maintenus en enclos (Taillon et collab., 2006). Les observations du budget d'activité se faisaient toutes les 10 minutes alors qu'on notait l'activité dominante de chaque animal : en alimentation, en interaction sociale, debout ou couché. Après avoir examiné la consommation de nourriture, la perte de masse corporelle, le budget d'activité et la survie des individus, nous avons conclu que contrairement à nos attentes une augmentation de 20 à 40 % de la proportion d'épinettes blanches dans le régime alimentaire n'a pas eu d'effet sur le budget d'activité, la masse corporelle ou la survie des faons âgés de 6 à 10 mois (Taillon et collab., 2006). La comparaison de la morphologie digestive et de la digestibilité *in vitro* de la nourriture hivernale entre les cerfs de l'île d'Anticosti et ceux de la population continentale source nous a permis de comprendre que, grâce à une grande plasticité digestive, les cerfs de l'île ont pu s'adapter aux ressources alimentaires difficiles à digérer (Bonin et collab., 2016). Nos travaux suggèrent que les cerfs de l'île d'Anticosti pourraient se maintenir, au moins à court terme, à des densités élevées malgré la raréfaction du sapin baumier et de son remplacement par l'épinette blanche. Par ailleurs, les hivers doux permettent de diminuer la pression de broutement exercée sur les sapins en offrant au cerf la possibilité d'augmenter sa consommation de feuillus et d'herbacées (Giroux et collab., 2016).

Relations entre les densités élevées de cerfs et les processus écologiques des écosystèmes forestiers

Effet des densités de cerfs sur la succession naturelle à court et à moyen termes

En raison de la complexité des manipulations nécessaires, peu d'études ont documenté les seuils de densité de cerfs compatibles avec le maintien des processus naturels dans les forêts (Côté et collab., 2004; Hester et collab., 2000). La compréhension des mécanismes associés à la modification

directe et indirecte des écosystèmes par les ongulés et de leurs réponses aux changements dans les écosystèmes nécessite des expériences contrôlées, lesquelles font varier la densité de cerfs et les régimes de perturbation naturels et artificiels qui influencent la dynamique des forêts (Hester et collab., 2000). Nous avons relevé ce défi en mettant en place une expérience de broutement contrôlé qui consistait à manipuler les densités de cerfs (0, 7,5, 15 cerfs/km² et la densité à l'extérieur des enclos allant jusqu'à 56 cerfs/km²) pendant 8 années (2002-2009). Pour chacune des densités de cerfs, nous avons manipulé la structure de la forêt de sorte que 2 types de couverts soient disponibles : la régénération après coupe totale, d'une part, et la forêt résiduelle (non coupée), d'autre part. Dans des secteurs où la canopée était dominée par le sapin baumier avant le début de l'expérience (> 70 % de couverture de la canopée), nous avons créé 3 blocs expérimentaux, chacun subdivisé en 4 unités expérimentales. Ces 4 unités expérimentales étaient composées d'un enclos de 10 ha sans cerfs, 2 enclos de 20 et 40 ha qui contenaient chacun 3 cerfs et d'une unité de 40 ha représentant les densités naturelles de cerfs. Dans les unités à densité naturelle, nous avons réalisé un suivi des densités de cerfs à partir de transects linéaires des groupes de fèces d'été basés sur un protocole d'échantillonnage par distance (pour les détails du protocole, voir Tremblay, 2005).

Nous avons observé qu'après 3 années, la diminution du nombre de cerfs engendre une récupération rapide de la strate herbacée dans les coupes avec une augmentation exponentielle des indicateurs de productivité et de reproduction des plantes (Tremblay et collab., 2006). Nous avons utilisé la biomasse aérienne des espèces focales (*Abies balsamea*, *Betula papyrifera*, *Cornus canadensis*, *Epilobium angustifolium*, *Rubus* spp. et graminées) comme indicateur des réponses de composition des communautés végétales de la strate herbacée. Nous avons également utilisé comme indicateur de la performance reproductive des plantes communes à feuilles larges régulièrement broutées par le cerf ainsi que le nombre de plantes individuelles portant des structures reproductrices (*Anaphalis margaritacea*, *Aster* spp., *Clintonia borealis*, *Conioselinum chinense*, *Epilobium angustifolium*, *Hieracium* spp., *Maianthemum canadense*, *Prenanthes* spp., *Ranunculus acris*, *Senecio* spp., *Streptopus roseus*, *Rubus idaeus*, *Rubus* spp., *Trientalis borealis*, *Vaccinium* spp.). À des densités supérieures à 15 cerfs/km², il y a arrêt de la croissance ou de la reproduction, en particulier pour les espèces couramment consommées et ceci à la fois dans les coupes totales et les forêts résiduelles (Tremblay et collab., 2006) (figure 2). En revanche, la densité de certaines espèces tolérantes au broutement, comme les graminées, augmente avec la densité de cerfs (Tremblay et collab., 2006), ce qui, à terme, peut mener à une strate récalcitrante diminuant la régénération des espèces ligneuses (Royo et Carson, 2006). Nous avons également déterminé que la survie des semis de sapin baumier augmente exponentiellement dans les coupes avec la diminution des densités de cerfs (Tremblay et collab., 2007). À des densités inférieures ou égales à 15 cerfs/km², quel que soit le type de couvert, les probabilités de survie

augmentent avec le temps et la hauteur des semis, aboutissant à un taux de mortalité qui converge avec les résultats obtenus en l'absence de cerfs (Hidding et collab., 2012). Dans les zones de coupe, le pourcentage de parcelles ayant au moins un nouveau semis chute de $56 \pm 5\%$ à $7 \pm 1\%$ en 3 ans indépendamment de la densité de cerfs (Tremblay et collab., 2007). Nous expliquons cette réduction du recrutement de nouveaux plants avec le temps par la réduction de la disponibilité de semenciers ainsi que par la faible distance de dispersion des graines chez le sapin baumier (25-60 m; Frank, 1990).

Six ans après le début de l'expérience et sous les 2 types de couverts, les plantes associées aux densités élevées de cerfs se caractérisent par une reproduction asexuée ainsi qu'une pollinisation et une dispersion abiotique, leur permettant d'assurer la reproduction malgré la pression de broutement (Bachand et collab., 2014) (figure 2). Au contraire, les plantes associées à de faibles densités de cerfs investissent davantage dans des traits fonctionnels associés aux fruits charnus et aux graines de grande taille, et peu dans des traits de défense contre l'herbivorisme (Bachand et collab., 2014). Dans les sites de coupe, nous n'avons observé aucune régénération de jeunes plants (> 30 cm) sous des densités naturelles de cerfs après 7 ans (Hidding et collab., 2012). La croissance des semis augmente de façon exponentielle avec la diminution de la densité de cerfs dans les coupes, tandis qu'aucune croissance en hauteur n'est observée dans les forêts non coupées (Tremblay et collab., 2007). Dans l'ensemble, l'abondance des gaules (arbre immature plus grand qu'un semis dont le diamètre à hauteur de poitrine n'excède pas 9 cm) de sapin augmente de façon exponentielle dans les coupes, mais demeure faible et indépendante de la densité de cerfs dans les forêts non coupées (Tremblay et collab., 2007). L'abondance des gaules d'épinette blanche et d'épinette noire (*Picea mariana*) n'est pas liée à la densité de cerfs et augmente avec le temps (Tremblay et collab., 2007). Ceci peut s'expliquer par un avantage concurrentiel apparent des épinettes sur les espèces broutées par le cerf (Rooney et Waller, 2003). Bien que nous ayons mesuré une densité relativement élevée de gaules de sapin baumier 7 ans après le début du traitement, leur contribution finale à la canopée reste à confirmer.

Effet des densités de cerfs sur les trajectoires de succession

Les réponses précoces de la strate herbacée et de la régénération préétablie peuvent façonner les processus de succession en affectant la composition floristique initiale et les interactions compétitives entre les espèces dominantes. Après la coupe, le broutement du cerf peut influencer des événements de colonisation successifs qui auront des legs à long terme pouvant conduire à des trajectoires de succession alternatives (TSA au sens de Suding et collab., 2004) (figure 2). Les legs sont des effets qui persistent sur de longues périodes (au sens de Cuddington, 2011). Alors que certains systèmes résistent parfois à une exposition prolongée à de fortes pressions de broutement, notamment lorsque l'abondance d'ongulés augmente ou chute périodiquement à cause de facteurs naturels ou anthropiques (Kuijper et collab., 2010), d'autres études ont rapporté des

legs hérités du broutement longtemps après l'exclusion du cerf (Nuttle et collab., 2011; Royo et collab., 2010; Tanentzap et collab., 2011). Afin d'évaluer s'il est possible d'inverser une trajectoire de succession induite par le cerf, nous avons mis en place une expérience d'élimination retardée des herbivores. Durant 15 ans, nous avons comparé la structure et la composition des communautés végétales dans 3 types de parcelles d'une taille de 4 m²: des exclos construits immédiatement après des coupes forestières pour protéger la régénération de tout broutement, des exclos retardés, construits 8 ans après la récolte forestière, ainsi que des parcelles témoins (Hidding et collab., 2013). Dans les exclos retardés, nous avons observé des legs de plantes résistantes au broutement (au sens de Rosenthal et Kotanen, 1994): les Poacées étaient abondantes, tandis que la régénération ligneuse était dominée par l'épinette blanche (Hidding et collab., 2013). Parmi les espèces consommées, seules les espèces de début de succession se sont rétablies, notamment certaines herbacées et le bouleau blanc. En revanche, les espèces de fin de succession, comme le sapin baumier et certains feuillus, sont restées rares. Nous avons conclu qu'une courte période de broutement intensif en début de succession suffit à engendrer des TSA. La résilience des sapinières peut être menacée par les perturbations chroniques induites par le cerf, rendant ainsi les sapinières vulnérables aux TSA. Ceci a aussi été observé en Gaspésie, où, à la suite de coupes de sapinières, le broutement élevé de l'original (*Alces alces*) limite la régénération du sapin et des plantes du sous-étage forestier poussant la trajectoire de succession vers des milieux ouverts (De Vriendt et collab., 2021).

Stratégies sylvicoles adaptées aux fortes populations d'herbivores

Stratégies sylvicoles appliquées à une densité naturelle de cerfs

Un des objectifs de notre programme de recherche était de comprendre comment les caractéristiques de l'habitat et les densités locales de cerfs influencent les effets qu'ont les cerfs sur le succès de la régénération des arbres (figure 4). Notamment, nous avons voulu vérifier que les conditions biotiques et abiotiques qui priment à l'échelle du microsite (à l'échelle du semis et de son environnement immédiat), du peuplement et du paysage influencent la sensibilité de la régénération forestière au broutement (Reimoser et Gossow, 1996). Cette hypothèse prédit que l'intensité du broutement sur la régénération dans les coupes diminue avec la distance aux lisières forestières en raison d'une augmentation du risque de prédation perçu par le cerf lorsque la distance du couvert de fuite augmente (Kay, 1993). Dans de grandes CPRS de 3 km², nous avons établi des parcelles clôturées et non clôturées de 80 m² situées à différentes distances de la lisière forestière. Nos résultats ont montré que l'influence des cerfs sur la régénération des espèces d'arbres consommés est indépendante de la distance du couvert de fuite en l'absence de prédateurs naturels (Casabon et Pothier, 2007). De plus, 8,5 ans après la CPRS, nous avons mesuré que le nombre de semis de sapin augmente avec la quantité de débris ligneux laissés après la coupe (Casabon et Pothier, 2007).



Photo: Nelson Thiffault

Figure 4. Parcelle permanente de recherche pour le suivi de la régénération forestière et de la végétation en réponse aux traitements sylvicoles sur l'île d'Anticosti (Québec, Canada).

Nous avons également testé l'hypothèse selon laquelle la sensibilité de la régénération des arbres au broutement dépend du système sylvicole (Reimoser et Gossow, 1996). Un système sylvicole basé sur la régénération naturelle et des coupes progressives permettrait une régénération abondante grâce à un approvisionnement élevé en graines et au développement d'une strate de régénération hors de portée des cerfs (Greene et collab., 1999; Hughes et Bechtel, 1997). Nous avons vérifié cette prédiction à des densités naturelles de cerfs supérieures à 20 cerfs/km² en utilisant différents systèmes sylvicoles comme de grandes coupes totales, des coupes par bandes (largeur de bandes de 15, 30 ou 45 m), des coupes progressives d'intensité variable (0, 25 ou 40 % de la surface terrière récoltée), ainsi que des coupes avec réserve d'îlots semenciers accompagnées d'un gradient d'intensité de scarifiage (Beguin et collab., 2009a; 2009b). Nos résultats ont montré que le broutement des cerfs empêche la croissance en hauteur de tous les semis d'espèces consommées, et ce, dans tous les systèmes sylvicoles employés, même lorsque les densités de semis sont élevées (Beguin et collab., 2009a; 2009b). Tant que les populations de cerf de Virginie seront supérieures à 20 cerfs/km², l'utilisation de

traitements sylvicoles seule est insuffisante pour permettre la restauration du sapin baumier à l'île d'Anticosti (Beguin et collab., 2009a).

Stratégies sylvicoles appliquées à une densité réduite de cerfs

Nous avons aussi étudié l'influence de la taille initiale des plants de reboisement, de la préparation du terrain et de la gestion de la végétation concurrente sur la croissance en hauteur du sapin baumier dans les exclos de gestion à des densités de cerfs réduites (< 15 cerfs/km²). Nous avons testé l'hypothèse de la visibilité selon laquelle plus une plante est facile à trouver pour un herbivore, plus ce dernier est susceptible de s'en nourrir (Feeny, 1976). Nous avons émis l'hypothèse que sous des densités de cerfs faibles à moyennes, les plus grands plants ou ceux qui poussent le plus vite sont aussi les plus susceptibles d'être broutés (Miller et collab., 2006). Dans les plantations, nous avons montré que la probabilité qu'un plant soit brouté augmente en fonction de la hauteur atteinte l'année précédente (Faure-Lacroix et collab., 2013). Ceci suggère que le cerf sélectionne les sapins les plus grands indépendamment de leur dimension au moment de la plantation (Faure-Lacroix et collab., 2013). À court (3 années de croissance) et à moyen (8 années de croissance) termes, nous avons montré que des plants de reboisement de moyenne dimension (carotte racinaire de 200 cm³) représentent un meilleur compromis coût/bénéfice pour les opérations de plantation que les plants de petites et de grandes dimensions (carotte racinaire de 110 cm³ et 350 cm³, respectivement) (Brousseau et collab., 2019; Faure-Lacroix et collab., 2013). Enfin, nous avons prédit qu'un dégagement mécanique permettrait de limiter la compétition subie par les plants et que ces derniers auraient un meilleur taux de survie ainsi que de meilleurs paramètres morphologiques que les plants qui n'en bénéficiaient pas, à moins que ce traitement ne favorise le broutement en augmentant la visibilité (Thiffault et collab., 2012). Après 7 années de croissance, nous n'avons pas observé d'effet du dégagement sur la morphologie des sapins ou sur l'occurrence de broutement (Brousseau et collab., 2017).

À des densités élevées de cerfs, les facteurs tels que la distance à la lisière forestière, la densité de semis, la quantité de débris ligneux et la taille des coupes ne peuvent, à eux seuls, diminuer les effets du broutement sur la régénération naturelle (Beguin et collab., 2009a; 2009b; Casabon et Pothier, 2007; Potvin et collab., 2003). Dans les exclos de gestion à densités de cerfs réduites, les sapins plantés subissent davantage l'influence négative de la compétition interspécifique pendant leur première année de croissance qu'un contrôle causé par le broutement du cerf (Faure-Lacroix et collab., 2013), sans pour autant que le dégagement mécanique ne puisse faciliter leur croissance en réduisant la compétition (Brousseau et collab., 2017). Après la réduction du nombre de cerfs, l'utilisation d'une taille adaptée de plants peut permettre d'améliorer le succès d'établissement de la régénération à court et à moyen termes (Brousseau et collab., 2019; Faure-Lacroix et collab., 2013). Ces

études mettent en évidence le rôle négatif que peuvent avoir de fortes densités de cerfs et le broutement chronique sur la régénération forestière.

Outils de gestion intégrée des densités de cerfs de Virginie

Identifier les facteurs influençant le succès de chasse

La chasse est le principal outil de gestion disponible pour contrôler les populations de cerfs (Beguin et collab., 2016). Notre objectif de recherche à cet égard était d'améliorer la gestion du cerf par la chasse sportive. La difficulté est de trouver des solutions capables de concilier le maintien d'un nombre élevé de cerfs observés chaque jour par les chasseurs, tout en réduisant les répercussions négatives des fortes densités de cerfs sur leur condition corporelle ainsi que sur la composition et la structure des forêts. Nous avons ainsi étudié les variables environnementales (les caractéristiques de l'habitat et les conditions météorologiques) qui limitent l'efficacité de la chasse, notamment en utilisant une approche de suivi du comportement des chasseurs à l'aide de GPS. Nous avons comparé les caractéristiques des sites où les cerfs ont été prélevés à 2 échelles spatiales : à l'échelle de la parcelle d'habitat, soit dans un rayon de 100 m autour du site et à l'échelle du site lui-même (Lebel et collab., 2012). Cette analyse nous a permis de découvrir qu'à différentes échelles spatiales, c'est la présence de routes d'accès aux peuplements ouverts qui est le principal facteur déterminant de la distribution des prélèvements de cerfs par la chasse (Lebel et collab., 2012). Dans une moindre mesure, la distribution spatiale des prélèvements de cerfs est influencée par l'abondance de nourriture à l'échelle du paysage (Lebel et collab., 2012; voir aussi Simard et collab., 2014).

Favoriser un prélèvement plus intensif

Pour augmenter le succès de chasse, il est possible de modifier les caractéristiques de l'habitat qui affectent l'accessibilité et la visibilité à proximité des routes, notamment avec des éclaircies. Dans cette optique, nous avons modifié la structure de l'habitat pour tester le compromis entre l'évitement du risque et l'acquisition des plantes par le cerf. Pour ce faire, nous avons créé 16 champs de chasse expérimentaux qui variaient en regard du couvert forestier adjacent (bandes forestières de 30 à 60 m de large entre les champs) et de la qualité des plantes (champs fertilisés ou non; la fertilisation permettant d'accroître la production d'espèces fourragères de qualité; Månsson et collab., 2009). L'utilisation de pièges photographiques et le décompte de fèces ont démontré une plus grande utilisation des territoires fertilisés, même si les chasseurs ne percevaient pas de différence d'utilisation entre les 2 traitements (Houde et collab., 2020). En revanche, l'utilisation des champs ne diffère pas en fonction de la largeur des bandes forestières, mais les chasseurs observent davantage de cerfs par heure lorsque les champs sont séparés de bandes forestières moins larges (Houde et collab., 2020). Ces résultats

offrent des pistes d'aménagement pour maintenir l'expérience de chasse tout en réduisant les effets négatifs de l'herbivorisme dans un système où il n'y a aucun prédateur naturel et où la nourriture est limitée.

Pour réduire les densités de cerfs, le prélèvement intensif et localisé de cerfs sans bois a été proposé (Porter et collab., 1991), considérant que le comportement philopatrick des femelles (qui tendent à revenir à, ou à rester dans, leur zone de naissance) pourrait limiter la recolonisation des zones de chasse (McNulty et collab., 1997; Porter et collab., 1991). Nous avons testé cette hypothèse dans des conditions naturelles en utilisant 5 sites expérimentaux de 20 km² dans lesquels le taux de prélèvement de cerfs sans bois a augmenté de 30 à 50 %, ainsi que 5 sites témoins où le taux de prélèvement est demeuré autour de 5 à 7 % (Simard et collab., 2013). Pendant 6 ans, nous avons suivi l'évolution de l'abondance des fougères et des plantes basses couramment consommées par le cerf (*Aralia nudicaulis*, *C. borealis*, *C. canadensis*, *Coptis groenlandica*, *Fragaria* sp., *Gallium* sp., *M. canadense*, *Ribes* sp., *Rubus pubescens*, *T. borealis*, *Vaccinium* sp. et *Viola* sp.), de même que les performances reproductives et la surface foliaire du cornouiller quatre-temps (*C. canadensis*) et du maianthème du Canada (*M. canadense*). Nous avons également effectué un suivi des densités de cerfs et de leurs composantes biodémographiques (masse corporelle des faons, épaisseur de gras des femelles, femelles allaitantes ou non, taux de fécondité des femelles reproductrices) dans chacun de ces sites. Contrairement à nos prédictions, ces facteurs ne différaient pas entre les sites témoins et expérimentaux (Simard et collab., 2013). Nous proposons plusieurs hypothèses non exclusives pour expliquer le fait que la chasse aux cerfs sans bois n'a pas permis une meilleure régénération de l'habitat et une amélioration de la condition physique des cerfs : 1) mécanismes compensatoires ; 2) erreur dans les estimations de densité ; 3) accès limité au territoire pour les chasseurs ; 4) grandes zones cibles pour une gestion localisée ; 5) faible densité de chasseurs ; 6) recolonisation par les cerfs environnants ; 7) réponse lente des plantes sous couvert végétal ; 8) facteurs environnementaux limitant les ressources (Simard et collab., 2013). Au vu des efforts nécessaires pour permettre le prélèvement intensif et localisé dans des environnements naturels où la pression de chasse est limitée, nous concluons que le contrôle des populations surabondantes de cerfs par la chasse sportive hors des exclos est difficilement réalisable à l'île d'Anticosti. En contrepartie, nos expériences démontrent qu'il est possible de réduire les densités à des taux compatibles avec la restauration de plusieurs attributs de l'écosystème forestier en intervenant à l'échelle d'un secteur d'intervention de quelques kilomètres carrés.

Effets directs et indirects des cerfs sur la faune

L'intégrité écologique d'un écosystème est sa capacité à conserver l'ensemble de ses composants et les relations fonctionnelles entre ses composants à la suite d'une perturbation (au sens de De Leo et Levin, 1997). L'intensité élevée du broutement induit par les grands herbivores

en surabondance peut menacer l'intégrité écologique des écosystèmes en provoquant des modifications dans la structure et la composition de la végétation, déclenchant des cascades trophiques affectant d'autres communautés animales (Côté et collab., 2004; van Wieren, 1998). Nous avons utilisé nos expériences de broutement contrôlé pour étudier les relations entre la densité de cerfs et différentes communautés et espèces animales, notamment les insectes et les oiseaux.

Effets des cerfs sur les insectes

Sur l'archipel de Haida Gwaii, au nord de la côte de la Colombie-Britannique, où certaines îles sont soumises à un broutement chronique imposé par le cerf à queue noire (*Odocoileus hemionus*) depuis des décennies, un résultat similaire a été observé. Les insectes les plus touchés par la présence du cerf sont les consommateurs primaires contrairement aux invertébrés qui occupent la litière et qui sont peu ou pas affectés par l'historique de broutement (Allombert et collab., 2005b). Sur l'île d'Anticosti, nous avons observé un résultat similaire. L'influence de la densité de cerfs sur les taxons d'insectes et des guildes alimentaires a diminué le long d'un gradient représentant leur degré d'association avec les plantes (Brousseau et collab., 2013). L'abondance des Carabidés épigés qui n'ont pas de relation directe avec les plantes ne dépendait pas des densités de cerfs (Brousseau et collab., 2013). Inversement, les macrolépidoptères qui forment un taxon fortement lié à la végétation ont été grandement influencés par les changements de densité; à densités réduites, on a noté une plus grande abondance d'individus d'espèces rares qu'à des densités naturelles (Brousseau et collab., 2013). Nous concluons que les densités de cerfs ≤ 15 cerfs/km² pourraient être suffisantes pour restaurer la diversité d'insectes sur l'île d'Anticosti (figure 2).

Effets des cerfs sur les oiseaux chanteurs

Les populations d'oiseaux chanteurs déclinent en Amérique du Nord et l'étude menée par deCalesta (1994) suggère qu'une part du déclin des oiseaux chanteurs forestiers du nord-est des États-Unis pourrait être expliquée par l'augmentation des populations de cerfs de Virginie. Les oiseaux sont particulièrement sensibles aux changements de la composition et de la structure végétales (van Wieren et Bakker, 2008) et il a été observé sur les îles de Haida Gwaii, occupées par le cerf à queue noire, une abondance d'oiseaux chanteurs 55 à 70 % plus faible que sur les îles où le cerf est absent (Allombert et collab., 2005a). Les oiseaux qui dépendent le plus de la végétation de sous-bois ont été les plus durement touchés, leur abondance ayant diminué de 93 % (Allombert et collab., 2005a). Pour l'île d'Anticosti, nous avons donc émis l'hypothèse que le rétablissement d'habitats favorables aux oiseaux chanteurs pourrait être obtenu par une diminution des densités de cerfs. La forte densité de cerfs a eu un effet négatif sur la diversité d'oiseaux, bien que la régénération de l'épinette blanche ait permis le maintien de certaines espèces d'oiseaux chanteurs dépendantes de la strate arbustive et du couvert forestier (Cardinal et collab., 2012b). En revanche, le

maintien pendant 6 ans d'une densité de cerfs $\leq 7,5$ cerfs/km² a rendu possible le recrutement d'une plus grande couverture végétale de sapins et de bouleaux, qui s'est traduite par une augmentation d'en moyenne 30 % de l'abondance, de la richesse spécifique et de la diversité des oiseaux (Cardinal et collab., 2012b). La simplification de la structure de la végétation due au broutement a homogénéisé la composition des communautés d'oiseaux chanteurs (Cardinal et collab., 2012a), mais nos résultats montrent que même après 80 ans de broutement chronique intense, la réduction des densités de cerfs après coupe peut réinitialiser le processus de succession des forêts boréales et augmenter la diversité d'oiseaux chanteurs (Cardinal et collab., 2012b) (figure 2).

Conclusions et perspectives

Les travaux de recherche menés à l'île d'Anticosti ont pu montrer que le broutement chronique du cerf de Virginie causait des changements profonds dans la structure des communautés végétales entraînant une diminution de la diversité d'espèces d'insectes et d'oiseaux sur l'île. Les expérimentations à densités contrôlées ont aidé à mieux comprendre les répercussions du cerf sur les forêts de l'île et d'affiner les objectifs de gestion des populations de cerfs afin de régénérer les sapinières. Les premières expérimentations sylvicoles ont échoué à le faire à elles seules, mais dans les exclos, les CPRS combinées à la réduction de la densité de cerfs et à la plantation ont pu réinstaurer une dynamique de régénération des sapinières imitant les perturbations naturelles. De plus, l'expérimentation sur les plantations de sapin a permis de définir les tailles idéales de plants pour maximiser leur croissance future malgré la présence de cerfs. Enfin, bien que les travaux sur la chasse nous en aient appris plus sur les facteurs environnementaux influençant le succès de chasse, ils nous ont aussi confirmé la difficulté de contrôler les populations de cerfs de l'île d'Anticosti en dehors des exclos.

La priorité actuelle de la stratégie d'aménagement des forêts de l'île d'Anticosti est d'évaluer l'efficacité des zones clôturées à grande échelle comportant des densités de cerfs réduites et visant la régénération des sapinières (Beaupré et collab., 2005). Les sapins baumiers établis dans les plus anciens exclos de gestion ont maintenant atteint des hauteurs leur permettant d'échapper partiellement au broutement du cerf. Comme prévu, depuis le début des années 2010, ces exclos ont progressivement été démantelés. Nous évaluons présentement la façon dont l'enlèvement des clôtures affecte les communautés végétales et fauniques. Il est possible que l'augmentation de l'abondance locale de nourriture puisse attirer les cerfs sur de longues distances. Il est donc nécessaire de mesurer l'utilisation de ces parcelles nouvellement accessibles ainsi que les habitats adjacents. Comprendre comment le cerf utilise ces nouveaux paysages, en particulier pendant la période hivernale, nous permettra d'estimer le succès de restauration de son habitat et d'adapter les stratégies et la création d'une nouvelle génération d'exclos. Une première expérimentation dans ce but utilisant des pièges photographiques a déjà été effectuée.

Pour évaluer le succès de la régénération forestière et adapter le plan d'aménagement, nous mesurerons les effets des densités réduites de cerfs et de la compétition ligneuse (par l'utilisation d'un indice de compétition) sur la croissance des sapins issus des sites de régénération naturelle et de plantation des exclos.

La forêt boréale est très sensible aux changements climatiques (Gauthier et collab., 2015). Il est crucial que les stratégies sylvicoles mises en œuvre sur l'île d'Anticosti s'adaptent à cette nouvelle réalité. La sylviculture d'adaptation est un ensemble d'outils d'aménagement visant à faire le suivi des forêts dans ce contexte de changements climatiques et qui pourrait, par ailleurs, permettre aux forêts en régénération d'en atténuer les répercussions. Parmi les outils disponibles, la migration assistée et les plantations mixtes sont des pistes à explorer pour favoriser la résistance, la résilience ou la transition des écosystèmes boréaux (Thiffault et collab., 2021). Par nos recherches futures, nous souhaitons définir les mesures d'aménagement et de gestion qui permettront d'atténuer les effets des changements climatiques et le risque de simplification des écosystèmes de l'île. Pour ce faire, nous souhaitons évaluer le potentiel de persistance des espèces ligneuses clés de l'écosystème ainsi que les interactions qu'aura le broutement des cerfs avec les changements de conditions climatiques. Dans ce contexte d'évolution rapide des écosystèmes boréaux, nous souhaitons développer des modèles prédictifs de la dynamique forestière et des populations de cerfs. Ces outils répondront au besoin constant de suivi des écosystèmes de l'île d'Anticosti et appuieront la mise en place de plans d'aménagement révisés.

Remerciements

Nos recherches sur le cerf de Virginie ont été financées par le Centre canadien sur la fibre de bois de Ressources naturelles Canada, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), le ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Pétrolia, Produits forestiers Anticosti, Safari Anticosti, la Sépaq Anticosti, Solifor et l'Université Laval. Nous remercions Chantal Malenfant, Jean Huot, Pierre Beaupré, André Gingras et François Potvin pour leur rôle central dans l'établissement de notre programme de recherche sur l'île d'Anticosti et la communauté de Port-Menier pour son soutien continu. Nous sommes reconnaissants envers tous les étudiants diplômés, les techniciens et les assistants de terrain pour leur implication et leur travail dans le programme de recherche sur l'île d'Anticosti au fil des ans. Nous remercions les évaluateurs scientifiques ainsi que les membres de l'équipe du *Naturaliste canadien* pour leurs commentaires constructifs ayant permis l'amélioration d'une version préliminaire de ce texte. ◀

Références

- ALLOMBERT, S., A.J. GASTON et J.-L. MARTIN, 2005a. A natural experiment on the impact of overabundant deer on songbird populations. *Biological Conservation*, 126: 1917-1929. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.04.001>.
- ALLOMBERT, S., S. STOCKTON et J.-L. MARTIN, 2005b. A natural experiment on the impact of overabundant deer on forest invertebrates. *Conservation Biology*, 19: 1917-1929. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00280.x>.
- BACHAND, M., S. PELLERIN, M. MORETTI, I. AUBIN, J.-P. TREMBLAY, S.D. CÔTÉ et M. POULIN, 2014. Functional responses and resilience of boreal forest ecosystem after reduction of deer density. *PLoS ONE*, 9: e90437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090437>.
- BARRETTE, M., L. BÉLANGER et L. DE GRANDPRÉ, 2010. Preindustrial reconstruction of a perhumid midboreal landscape, Anticosti Island, Québec. *Canadian Journal of Forest Research*, 40: 928-942. <https://doi.org/10.1139/X10-040>.
- BEAUPRÉ, P., C. BÉDARD, C. DUFOUR et A. GINGRAS, 2005. L'île d'Anticosti a son plan général d'aménagement intégré des ressources du milieu forestier. *Le Naturaliste canadien*, 129 (1): 110-117.
- BEGUIN, J., D. POTHIER et M. PRÉVOST, 2009a. Can the impact of deer browsing on tree regeneration be mitigated by shelterwood cutting and strip clearcutting? *Forest Ecology and Management*, 257: 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.013>.
- BEGUIN, J., M. PRÉVOST, D. POTHIER et S.D. CÔTÉ, 2009b. Establishment of natural regeneration under severe browsing pressure from white-tailed deer after group seed-tree cutting with scarification on Anticosti Island. *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 596-605. <https://doi.org/10.1139/X08-196>.
- BEGUIN, J., J.-P. TREMBLAY, N. THIFFAULT, D. POTHIER et S.D. CÔTÉ, 2016. Management of forest regeneration in boreal and temperate deer-forest systems: Challenges, guidelines, and research gaps. *Ecosphere*, 7: e01488. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1488>.
- BONIN, M., J.-P. TREMBLAY et S.D. CÔTÉ, 2016. Contributions of digestive plasticity to the ability of white-tailed deer to cope with a low-quality diet. *Journal of Mammalogy*, 97: 1406-1413. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw091>.
- BROUSSEAU, M., N. THIFFAULT, J. BEGUIN, V. ROY et J.-P. TREMBLAY, 2017. Deer browsing outweighs the effects of site preparation and mechanical release on balsam fir seedlings performance: Implications to forest management. *Forest Ecology and Management*, 405: 360-366. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.024>.
- BROUSSEAU, M., J.-P. TREMBLAY, V. ROY et N. THIFFAULT, 2019. Interactions entre le type de plants et la sylviculture dans la restauration de sapinières sous forte pression de broutement. *The Forestry Chronicle*, 95: 29-38. <https://doi.org/10.5558/tfc2019-007>.
- BROUSSEAU, P.-M., C. HÉBERT, C. CLOUTIER et S.D. CÔTÉ, 2013. Short-term effects of reduced white-tailed deer density on insect communities in a strongly overbrowsed boreal forest ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 22: 77-92. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0400-5>.
- CARDINAL, E., J.-L. MARTIN et S.D. CÔTÉ, 2012a. Large herbivore effects on songbirds in boreal forests: Lessons from deer introduction on Anticosti Island. *Écoscience*, 19: 38-47. <https://doi.org/10.2980/19-1-3441>.
- CARDINAL, E., J.-L. MARTIN, J.-P. TREMBLAY et S.D. CÔTÉ, 2012b. An experimental study of how variation in deer density affects vegetation and songbird assemblages of recently harvested boreal forests. *Canadian Journal of Zoology*, 90: 704-713. <https://doi.org/10.1139/z2012-037>.
- CASABON, C. et D. POTHIER, 2007. Browsing of tree regeneration by white-tailed deer in large clearcuts on Anticosti Island, Québec. *Forest Ecology and Management*, 253: 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.07.009>.
- CÔTÉ, S.D., T.P. ROONEY, J.-P. TREMBLAY, C. DUSSAULT et D.M. WALLER, 2004. Ecological impacts of deer overabundance. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35: 113-147.
- CÔTÉ, S.D., C. DUSSAULT, J. HUOT, F. POTVIN, J.-P. TREMBLAY et V. VIERA, 2008. High herbivore density and boreal forest ecology: White-tailed deer on Anticosti Island. Dans: GASTON, A.J., T.E. GOLUMBIA, J.-L. MARTIN et S.T. SHARPE (édit.). *Lessons from the islands: Introduced species and what they tell us about how ecosystems work*. Proceedings from the Research Group on Introduced Species 2002 Symposium, Queen Charlotte City, Queen Charlotte Islands, British Columbia. Canadian Wildlife Service special publication, Environment Canada, Ottawa, p. 154-161.
- CUDDINGTON, K., 2011. Legacy effects: The persistent impact of ecological interactions. *Biological Theory*, 6: 203-210. <https://doi.org/10.1007/s13752-012-0027-5>.

- DE LEO, G.A. et S.A. LEVIN, 1997. The multifaceted aspects of ecosystem integrity. *Ecology and Society*, 1 (1): Article 3. <https://doi.org/10.5751/es-00022-010103>.
- DE VRIENDT, L., S. LAVOIE, M. BARRETTE et J.-P. TREMBLAY, 2021. From delayed succession to alternative successional trajectory: How different moose browsing pressures contribute to forest dynamics following clear-cutting. *Journal of Vegetation Science*, 32: 1-11. <https://doi.org/10.1111/jvs.12945>.
- DECALESTA, D.S., 1994. Effect of white-tailed deer on songbirds within managed forests in Pennsylvania. *The Journal of Wildlife Management*, 58: 711-718. <https://doi.org/10.2307/3809685>.
- FAURE-LACROIX, J., J.-P. TREMBLAY, N. THIFFAULT et V. ROY, 2013. Stock type performance in addressing top-down and bottom-up factors for the restoration of indigenous trees. *Forest Ecology and Management*, 307: 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.031>.
- FEENY, P., 1976. Plant apparency and chemical defense. Dans: WALLACE, J.W. et R.L. MANSELL (édit.). *Biochemical interactions between plants and insects*. Recent Advances in Phytochemistry, vol. 10. Plenum Press, New York, p. 1-40.
- FRANK, R.M., 1990. *Abies balsamea* (L.) Mill. Dans: BURNS, R.M. et B.H. HONKALA (édit.). *Silvics of North America: Vol. 1. Conifers*. Forest Service United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 654, Washington, DC, p. 26-35.
- GAUTHIER, S., P. BERNIER, T. KUULUVAINEN, A.Z. SHVIDENKO et D.G. SCHEPASCHENKO, 2015. Boreal forest health and global change. *Science*, 349: 819-822. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9092>.
- GIROUX, M., C. DUSSAULT, J.-P. TREMBLAY et S.D. CÔTÉ, 2016. Winter severity modulates the benefits of using a habitat temporally uncoupled from browsing. *Ecosphere*, 7: e01432. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1432>.
- GREENE, D.F., J.C. ZASADA, L. SIROIS, D. KNEESHAW, H. MORIN et I. CHARRON, 1999. A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 824-839. <https://doi.org/10.1139/x98-112>.
- HESTER, A.J., L. EDENIUS, R.M. BUTTENSCHON et A.T. KUITERS, 2000. Interactions between forests and herbivores: The role of controlled grazing experiments. *Forestry*, 73: 381-391. <https://doi.org/10.1093/forestry/73.4.381>.
- HIDDING, B., J.-P. TREMBLAY et S.D. CÔTÉ, 2012. Survival and growth of balsam fir seedlings and saplings under multiple controlled ungulate densities. *Forest Ecology and Management*, 276: 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.023>.
- HIDDING, B., J.-P. TREMBLAY et S.D. CÔTÉ, 2013. A large herbivore triggers alternative successional trajectories in the boreal forest. *Ecology*, 94: 2852-2860. <https://doi.org/10.1890/12-2015.1>.
- HOUE, N., J.-P. TREMBLAY, N. THIFFAULT et S.D. CÔTÉ, 2020. Manipulating forage and risk avoidance to increase white-tailed deer vulnerability to hunters. *Wildlife Biology*, 2020: 1-9. <https://doi.org/10.2981/wlb.00554>.
- HUGHES, J.W. et D.A. BECHTEL, 1997. Effect of distance from forest edge on regeneration of red spruce and balsam fir in clearcuts. *Canadian Journal of Forest Research*, 27: 2088-2096. <https://doi.org/10.1139/x97-144>.
- KAY, S., 1993. Factors affecting severity of deer browsing damage within coppiced woodlands in the south of England. *Biological Conservation*, 63: 217-222. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(93\)90715-D](https://doi.org/10.1016/0006-3207(93)90715-D).
- KUIJPER, D.P.J., B. JĘDRZEJEWSKA, B. BRZEZIECKI, M. CHURSKI, W. JĘDRZEJEWSKI et H. ŻYBURA, 2010. Fluctuating ungulate density shapes tree recruitment in natural stands of the Białowieża Primeval Forest, Poland. *Journal of Vegetation Science*, 21: 1082-1098. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01217.x>.
- LEBEL, F., C. DUSSAULT, A. MASSÉ et S.D. CÔTÉ, 2012. Influence of habitat features and hunter behavior on white-tailed deer harvest. *The Journal of Wildlife Management*, 76: 1431-1440. <https://doi.org/10.1002/jwmg.377>.
- LEFORT, S., J.-P. TREMBLAY, F. FOURNIER, F. POTVIN et J. HUOT, 2007. Importance of balsam fir as winter forage for white-tailed deer at the northeastern limit of their distribution range. *Écoscience*, 14: 109-116. [https://doi.org/10.2980/1195-6860\(2007\)14\[109:IOBFAW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2980/1195-6860(2007)14[109:IOBFAW]2.0.CO;2).
- MÅNSSON, J., R. BERGSTRÖM et K. DANELL, 2009. Fertilization—Effects on deciduous tree growth and browsing by moose. *Forest Ecology and Management*, 258: 2450-2455. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.025>.
- MASSÉ, A. et S.D. CÔTÉ, 2012. Linking alternative food sources to winter habitat selection of herbivores in overbrowsed landscapes. *The Journal of Wildlife Management*, 76: 544-556. <https://doi.org/10.1002/jwmg.306>.
- MASSÉ, A. et S.D. CÔTÉ, 2013. Spatiotemporal variations in resources affect activity and movement patterns of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) at high density. *Canadian Journal of Zoology*, 91: 252-263. <https://doi.org/10.1139/cjz-2012-0297>.
- MCNULTY, S.A., W.F. PORTER, N.E. MATHEWS et J.A. HILL, 1997. Localized management for reducing white-tailed deer populations. *Wildlife Society Bulletin*, 25: 265-271.
- MILLER, A.M., C. MCARTHUR et P.J. SMETHURST, 2006. Characteristics of tree seedlings and neighbouring vegetation have an additive influence on browsing by generalist herbivores. *Forest Ecology and Management*, 228: 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.003>.
- [MFFP] MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2017. Glossaire forestier—Coupe totale. Disponible en ligne à : <https://glossaire-forestier.mffp.gouv.qc.ca/terme/1241>. [Visité le 2022-11-10].
- NUTTLE, T., E.H. YERGER, S.H. STOLESON et T.E. RISTAU, 2011. Legacy of top-down herbivore pressure ricochets back up multiple trophic levels in forest canopies over 30 years. *Ecosphere*, 2: Article 4. <https://doi.org/10.1890/ES10-00108.1>.
- PORTER, W.F., N.E. MATHEWS, H.B. UNDERWOOD, R.W. SAGE et D.F. BEHREND, 1991. Social organization in deer: Implications for localized management. *Environmental Management*, 15: 809-814. <https://doi.org/10.1007/BF02394818>.
- POTVIN, F., P. BEAUPRÉ et G. LAPRISE, 2003. The eradication of balsam fir stands by white-tailed deer on Anticosti Island, Québec: A 150-year process. *Écoscience*, 10: 487-495. <https://doi.org/10.1080/11956860.2003.11682796>.
- REIMOSER, F. et H. GOSSOW, 1996. Impact of ungulates on forest vegetation and its dependence on the silvicultural system. *Forest Ecology and Management*, 88: 107-119. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03816-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03816-9).
- ROCHETTE, B. et A. GINGRAS, 2007. Inventaire aérien du cerf de Virginie de l'île d'Anticosti – Été 2006. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'aménagement de la faune de la Côte-Nord, Québec, p. 19.
- ROONEY, T.P. et D.M. WALLER, 2003. Direct and indirect effects of white-tailed deer in forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 181: 165-176. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00130-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00130-0).
- ROSENTHAL, J.P. et P.M. KOTANEN, 1994. Terrestrial plant tolerance to herbivory. *Trends in Ecology & Evolution*, 9: 145-148. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(94\)90180-5](https://doi.org/10.1016/0169-5347(94)90180-5).
- ROYO, A.A. et W.P. CARSON, 2006. On the formation of dense understory layers in forests worldwide: Consequences and implications for forest dynamics, biodiversity, and succession. *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 1345-1362. <https://doi.org/10.1139/x06-025>.
- ROYO, A.A., R. COLLINS, M.B. ADAMS, C. KIRSCHBAUM et W.P. CARSON, 2010. Pervasive interactions between ungulate browsers and disturbance regimes promote temperate forest herbaceous diversity. *Ecology*, 91: 93-105. <https://doi.org/10.1890/08-1680.1>.
- SAUCIER, J.-P., A. ROBITAILLE et P. GRONDIN, 2009. Cadre bioclimatique du Québec. Dans: DOUCET, R. et M. CÔTÉ (édit.). *Manuel de Foresterie*, 2^e éd. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Éditions Multimondes, Québec, p. 186-205.
- SAUVÉ, D.G. et S.D. CÔTÉ, 2007. Winter forage selection in white-tailed deer at high density: Balsam fir is the best of a bad choice. *Journal of Wildlife Management*, 71: 911-914. <https://doi.org/10.2193/2006-056>.
- SIMARD, M.A., S.D. CÔTÉ, R.B. WELADJI et J. HUOT, 2008. Feedback effects of chronic browsing on life-history traits of a large herbivore. *Journal of Animal Ecology*, 77: 678-686. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01374.x>.

- SIMARD, M.A., T. COULSON, A. GINGRAS et S.D. CÔTÉ, 2010. Influence of density and climate on population dynamics of a large herbivore under harsh environmental conditions. *The Journal of Wildlife Management*, 74: 1671-1685. <https://doi.org/10.2193/2009-258>.
- SIMARD, M.A., C. DUSSAULT, J. HUOT et S.D. CÔTÉ, 2013. Is hunting an effective tool to control overabundant deer? A test using an experimental approach. *The Journal of Wildlife Management*, 77: 254-269. <https://doi.org/10.1002/jwmg.477>.
- SIMARD, M.A., J. HUOT, S. De BELLEFEUILLE et S.D. CÔTÉ, 2014. Influences of habitat composition, plant phenology, and population density on autumn indices of body condition in a northern white-tailed deer population. *Wildlife Monographs*, 187: 1-28. <https://doi.org/10.1002/wmon.1010>.
- SUDING, K.N., K.L. GROSS et G.R. HOUSEMAN, 2004. Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 19: 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.10.005>.
- TAILLON, J., D.G. SAUVÉ et S.D. CÔTÉ, 2006. The effects of decreasing winter diet quality on foraging behavior and life-history traits of white-tailed deer fawns. *Journal of Wildlife Management*, 70: 1445-1454. [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2006\)70\[1445:TEODWD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2006)70[1445:TEODWD]2.0.CO;2).
- TANENTZAP, A.J., D.R. BAZELY, S. KOH, M. TIMCISKA, E.G. HAGGITH, T.J. CARLETON, et D.A. COOMES, 2011. Seeing the forest for the deer: Do reductions in deer-disturbance lead to forest recovery? *Biological Conservation*, 144:376-382.
- THIFFAULT, N., B. LAFLEUR, V. ROY et J. DEBLOIS, 2012. Large planting stock type and mechanical release effects on the establishment success of *Picea glauca* plantations in Québec, Canada. *International Journal of Forestry Research*, 2012: 12 p. <https://doi.org/10.1155/2012/617392>.
- THIFFAULT, N., P. RAYMOND, J.-M. LUSSIER, I. AUBIN, S. ROYER-TARDIF, A.W. D'AMATO, F. DOYON, B. LAFLEUR, M. PERRON, J. BOUSQUET, N. ISABEL, S. CARLES, P. LUPIEN et A. MALENFANT, 2021. Sylviculture d'adaptation aux changements climatiques : des concepts à la réalité. *Compte-rendu d'un colloque tenu au Carrefour Forêts 2019*. *The Forestry Chronicle*, 97: 28-42. <https://doi.org/10.5558/tfc2021-005>.
- TREMBLAY, J.-P., 2005. Relations entre les perturbations induites par les cervidés et la dynamique de régénération des écosystèmes forestiers boréaux. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 215 p.
- TREMBLAY, J.-P., I. THIBAUT, C. DUSSAULT, J. HUOT et S.D. CÔTÉ, 2005. Long-term decline in white-tailed deer browse supply: Can lichens and litterfall act as alternative food sources that preclude density-dependent feedbacks. *Canadian Journal of Zoology*, 83: 1087-1096. <https://doi.org/10.1139/z05-090>.
- TREMBLAY, J.-P., J. HUOT et F. POTVIN, 2006. Divergent nonlinear responses of the boreal forest field layer along an experimental gradient of deer densities. *Oecologia*, 150: 78-88. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0504-2>.
- TREMBLAY, J.-P., J. HUOT et F. POTVIN, 2007. Density-related effects of deer browsing on the regeneration dynamics of boreal forests: Deer density and forest regeneration. *Journal of Applied Ecology*, 44: 552-562. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01290.x>.
- VAN WIEREN, S.E., 1998. Effects of large herbivores upon the animal community. Dans: WALLISDEVRIES, M.F., J.P. BAKKER et S.E. VAN WIEREN (édit.). *Grazing and Conservation Management*. Conservation Biology Series, vol. 11, Springer, Dordrecht, p. 185-214. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4391-2_6
- VAN WIEREN, S.E. et J.P. BAKKER, 2008. The impact of browsing and grazing herbivores on biodiversity. Dans: GORDON, I.J. et H.H.T. PRINS (édit.). *Ecological studies*, vol. 195, Springer, Berlin, p. 263-292.

RECHERCHE

- Produits à base de bois massif ou fibres de bois
- Procédés de transformation de la biomasse
- Utilisation du bois dans la construction de bâtiments
- Matériaux renouvelables à partir de fibres d'origine végétale autres que le bois

FORMATION DE LA RELÈVE

- Maitrisés • Doctorats • Stages de recherche • Stagiaires postdoctoraux

AXES DE RECHERCHE

AXE 1

Connaître et caractériser la ressource renouvelable

Déterminer les propriétés physiques, mécaniques, chimiques et thermiques du bois, des plantes agricoles et autres fibres végétales.

AXE 2

Transformer la ressource et concevoir des produits et systèmes écoresponsables

Développer des procédés de transformation de la matière ligneuse et de la biomasse, concevoir des produits et systèmes innovants et écoresponsables et valoriser les extractibles et les biopolymères issus de ces procédés.

AXE 3

Utiliser les produits et systèmes innovants et analyser leurs performances environnementales

Évaluer le comportement et la performance des produits et systèmes innovants et analyser leur cycle de vie.

AXE 4

Accéder aux marchés

Analyser les besoins de la société en matériaux renouvelables ainsi que l'économie, les mécanismes de gouvernance et la mise en marché des produits et systèmes innovants.



CRMR
CENTRE DE RECHERCHE
SUR LES MATÉRIAUX
RENOUVELABLES



LA FAUNE, notre mission, notre passion!

Grâce à la générosité de nos donateurs
et aux contributions des chasseurs,
pêcheurs et piégeurs, 265 projets
de conservation de la faune ont
été soutenus en 2021-2022!



Hugues Déglaire / Québec couleur nature

› **Faites partie du mouvement faunique!**

Faites un don : www.fondationdelafaune.qc.ca



Gervais Comeau Conseiller en placement

gervais.comeau@iagestionprivee.ca · gervaiscomeau.com

iagestionprivee.ca



Yvan Bedard
PHOTONATURE
Ph.D. Prof. émérite
Neuville, Qc
Canada G0A 2R0
1-418-561-7046

yvan_bedard@hotmail.com

PHOTOS-LICENCES-COURS-CONSEILS

<http://yvanbedardphotonature.com>