



Le Carbone oublié



INITIATIVE
BORÉALE
CANADIENNE

BOREAL SONGBIRD INITIATIVE



www.borealbirds.org

Auteurs

Matt Carlson, MSc
Écologiste, Initiative boréale canadienne

Jeff Wells, PhD
Directeur, sciences, Boreal Songbird Initiative

Dina Roberts, PhD
Scientifique en résidence, Boreal Songbird Initiative

Remerciements

Ce rapport s'est enrichi des échanges et de la participation des membres du groupe d'experts de la Campagne internationale de conservation de la forêt boréale dont faisaient partie Pascal Badiou, John Jacobs, Jeremy Kerr, Micheline Manseau, Gordon Orians, Stuart Pimm, Peter Raven, Terry Root, Nigel Roulet, James Schaefer, David Schindler, Jim Strittholt, Nancy Turner et Andrew Weaver.

Ce rapport tire également parti des discussions et des commentaires de Chris Beck, David Childs, Marcel Darveau, Ronnie Drever, Suzanne Fraser, Mary Granskou, Chris Henschel, Larry Innes, Steve Kallick, Sue Libenson, Anne Levesque, Harvey Locke, Lisa McCrummen, Suzann Méthot, Faisal Moola, Lane Nothman, Kendra Ramdanny, Gary Stewart, George Woodwell et Alan Young.

Nous tenons aussi à remercier les participants à l'atelier sur le rôle de la forêt et des tourbières canadiennes dans les changements climatiques, dont les conclusions sont résumées dans ce rapport. Les participants de cet atelier étaient : Jing Chen, Stewart Elgie, Chris Henschel, Álvaro Montenegro, Nigel Roulet, Neal Scott, Charles Tarnocai et Werner Kurz. Nous remercions Peter Lee et Ryan Cheng du *Global Forest Watch* pour la préparation des cartes du rapport

et Andrew Couturier d'Études d'oiseaux Canada pour leurs données sur les oiseaux de l'Ontario.

À propos de l'Initiative boréale canadienne

L'Initiative boréale canadienne (IBC) est un organisme rassembleur national pour la préservation de la forêt boréale canadienne. Elle travaille avec des organismes de conservation, les Premières Nations, l'industrie et autres parties prenantes—incluant les membres du Conseil principal de la forêt boréale—afin d'unifier les solutions scientifiques, politiques et de conservation sur l'ensemble de la forêt boréale canadienne. Pour plus de renseignements, visitez www.borealcanada.ca

À propos de la Boreal Songbird Initiative

La *Boreal Songbird Initiative* (BSI) est un organisme à but non lucratif qui se consacre, par la science, l'éducation et la sensibilisation, à la conscientisation du rôle crucial de la forêt boréale canadienne pour les oiseaux et autres animaux sauvages d'Amérique du Nord ainsi qu'à l'environnement dans son ensemble. Pour plus de renseignements, visitez www.borealbirds.org

Suggestions de citations

Carlson, M.; Wells, J.; Roberts, D.; *Conserver les capacités de la forêt boréale canadienne d'atténuer les impacts et de s'adapter aux changements climatiques*. Boreal Songbird Initiative et Initiative boréale canadienne; Seattle, WA et Ottawa; 2009. 33 pages.

Photographies de la page couverture :

Paruline à poitrine baie-Jeff Nadler

*Caribou des forêts-Images nordiques
Wayne Sawchuk*

Enfant cri-Natasha Moine

*Vues aériennes de lacs et de forêts
Garth Lenz*

Droit d'auteur *Boreal Songbird Initiative* 2010

Numéro ISBN : 978-0-9842238-1-7

Ce rapport est imprimé sur du papier provenant entièrement de fibres recyclées postconsommation et un procédé exempt de chlore à 100 %.

Table des matières

Table des matières

Préface	2
Sommaire	3
Introduction	6
La forêt boréale canadienne et l'atténuation des impacts : la protection de la banque de carbone	7
La forêt boréale canadienne et l'adaptation : le maintien des écosystèmes résistants	13
Les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes de la forêt boréale	14
La conservation : une stratégie efficace pour l'adaptation aux changements climatiques	19
La concrétisation des avantages concomitants de la protection de la forêt boréale	24
Les implications des Politiques	29
Bibliographie	31

Préface

Les émissions industrielles de gaz à effet de serre annoncent un avenir incertain où les changements climatiques domineront les questions environnementales, politiques et économiques. Les solutions pour ralentir les impacts des changements rapides et vastes sont toujours possibles, si nous agissons à l'échelle mondiale de manière prompte et stratégique. En premier lieu, il faudra inscrire la réduction draconienne des émissions industrielles de carbone provenant des carburants fossiles. Sans coupures réelles et substantielles des énormes quantités de carbone qui seront libérées dans l'atmosphère, les fondations écologiques, dont dépendent toutes les formes de vie incluant le genre humain, se dégraderont et changeront de manière plus imprévisible que ce qu'ont pu imaginer les experts ou le public. Les régions nordiques de la planète, plus particulièrement les régions boréales et arctiques, en ressentent déjà les effets spectaculaires et elles compteront parmi les régions les plus durement touchées sur la terre alors que les accroissements de température et autres changements climatiques y seront plus importants que partout ailleurs sur la planète.

Un deuxième ensemble de solutions majeures, soit la réduction des pertes en carbone liée à l'utilisation industrielle des sols, n'a reçu qu'un accueil limité par la communauté internationale. En priorité, on doit ralentir la conversion accélérée des habitats naturels par l'agriculture, la foresterie, les mines, l'extraction du pétrole et du gaz, l'hydroélectricité et les autres usages industriels. Globalement, les changements d'utilisation des sols sont responsables de près de 20 % des émissions annuelles de gaz à effet de serre. En lien avec ces émissions, on a assisté récemment à des tentatives pour concevoir des mesures incitatives financières et des politiques qui encourageront les nations tropicales émergentes à ralentir le déboisement et à conserver les forêts naturelles par des projets de paiement de services environnementaux et par des efforts de protection accrus. Ce projet est essentiel pour ralentir les effets des changements climatiques et pour protéger l'incroyable diversité des espèces et des cultures indigènes de ces régions tropicales.

Un autre aspect de la solution préconise le changement d'affectation des sols, mais il a été largement ignoré dans le débat sur la réglementation entourant les changements climatiques. Cette pièce manquante—les stocks immenses de la forêt boréale—est le sujet de ce rapport intitulé : *Le Carbone oublié*. La forêt boréale emmagasine globalement plus de carbone que toute autre région du globe, sans doute deux ou trois fois plus que dans les forêts tropicales. La forêt boréale abrite les derniers écosystèmes terrestres et aquatiques intacts sur la planète, d'abondantes populations de grands mammifères et d'oiseaux, de même que des centaines de communautés autochtones. Cette réalité requiert la concertation des stratèges et des habitants du monde entier afin de s'assurer que tant la forêt boréale que les vastes stocks de carbone demeureront intouchés. Pour faire de cette vision une réalité, il faudra des réductions importantes dans les émissions industrielles et de plus, une augmentation radicale de régions désignées interdites au genre de dérangements industriels qui augmentent la probabilité d'émissions atmosphériques de carbone.

Nous félicitons les auteurs de ce rapport pour leur érudition et leur habileté à cerner les faits les plus marquants liés à la primauté de la forêt boréale canadienne dans les pourparlers sur la réglementation entourant les changements climatiques. Nous espérons que vous prendrez connaissance des faits, que vous étudierez les recommandations et que vous interviendrez afin qu'elles soient mises en application.

Comité scientifique de la Campagne internationale de conservation de la forêt boréale

Sommaire

Quoique le protocole de Kyoto ait permis aux politiques portant sur les changements climatiques de franchir un pas de géant, il s’y trouvait une importante lacune quant à la façon de prendre en compte les émanations continues de carbone biotique (non industriel). La plupart des experts estiment qu’il fournit approximativement 20 % de toutes les émanations d’origine humaine. En effet, le protocole ne tient pas compte des émanations de carbone issues du dérangement des écosystèmes par les activités humaines. On tente actuellement de s’attaquer à cette lacune, mais le sort des forêts tropicales dans les pays en voie de développement monopolise les efforts.

La forêt boréale : la plus importante banque de carbone terrestre

La forêt boréale encercle le globe aux latitudes subarctiques. Elle couvre plus de 10% de la superficie terrestre et abrite la moitié des étendues forestières intactes sur le globe. Ces vastes étendues non développées demeurent un bastion pour les populations de mammifères nordiques les plus saines et les plus importantes telles que le caribou, l’ours, le loup et l’original, de même que pour les oiseaux chanteurs migrateurs et les oiseaux aquatiques. Mais surtout, les régions qui abritent la forêt boréale emprisonnent plus de carbone que tout autre écosystème terrestre, soit près du double de la capacité des forêts tropicales pour chaque acre. Cependant, pour des raisons qui paraissent nébuleuses, nous semblons avoir oublié que la forêt boréale abrite tout ce carbone.

Tout comme les forêts tropicales et tempérées, la forêt boréale emprisonne et entrepose le carbone dans la végétation de surface, mais de plus, elle a accumulé et conservé les superpositions annuelles de carbone depuis des millénaires dans les sols sous-jacents, le pergélisol, les zones humides et les tourbières. On commence à peine à prendre conscience que le carbone emmagasiné dans les arbres de la forêt boréale ne représente qu’une infime portion de celui qui se trouve sous la surface du sol. Des études récentes, évaluées dans ce rapport, ont démontré que la comptabilisation planétaire du carbone sous-estimait la quantité et la profondeur des dépôts de carbone provenant de la décomposition de matières organiques emprisonnées sous la surface de la forêt boréale.

Ainsi, lorsque la végétation ou les sols de la forêt boréale sont perturbés, le carbone s’en échappe, les changements climatiques s’accélèrent et le stockage du carbone dans la matière vivante diminue. Le maintien des réservoirs de carbone intacts en forêt boréale préviendrait et limiterait le processus d’initiation des boucles de rétroaction biologique qui pourrait accélérer le processus des changements climatiques.

La protection des étendues boréales contribuera non seulement à réduire la rapidité avec laquelle les changements climatiques s’opèrent (l’atténuation des impacts), mais elle minimisera aussi ses effets négatifs (l’adaptation). Le rythme de changements sans précédent du climat auquel on s’attend dans les régions nordiques aura des implications énormes. Les effets anticipés sont nombreux et incluent le déplacement rapide des habitats fauniques vers le nord, l’augmentation des insectes et des incendies de forêt, une phénologie déficiente et la détérioration des systèmes aquatiques. Heureusement, la forêt boréale canadienne est mieux adaptée que les autres pour résister à de tels changements grâce à son état inaltéré. Les écosystèmes intacts aident à protéger les espèces contre les changements climatiques tout en leur permettant de faire les migrations nécessaires pour suivre la mouvance des habitats. La forêt boréale canadienne est déjà un refuge pour les



La forêt boréale du Labrador.

GARTH LENZ

À l'échelle mondiale, la forêt boréale offre une occasion unique pour faire valoir la conservation comme mesure stratégique pour contrer les changements climatiques

espèces qui ont été chassées de leurs habitats du sud et ce rôle augmentera à l'avenir alors que les espèces seront repoussées plus au nord par les changements climatiques.

Des directives qui feront montre d'une meilleure compréhension de l'importance de ces régions pour l'atténuation des impacts et l'adaptation sont requises de manière urgente, en particulier dans le cadre de nouvelles ententes sur les changements climatiques ou de futurs accords-cadres internationaux.

Nouvelles directives requises pour la protection de la forêt boréale

Deux changements simples, mais de grande portée, qui provoqueraient des retombées bénéfiques au protocole, seraient l'inclusion de toutes les sources de carbone souterraines, y compris la dégradation des tourbières, et l'obligation de comptabiliser toutes les émissions de carbone provenant de la gestion des forêts. À elles seules, ces modifications provoqueraient de vastes améliorations dans la gestion du carbone biotique. De plus, l'exigence que les projets de carbone biotique aient un effet positif ou neutre sur la biodiversité et les écoservices soutiendrait les écosystèmes dans leurs efforts d'adaptation aux changements climatiques.

La forêt boréale dans son ensemble offre la meilleure opportunité à l'échelle planétaire pour que la conservation devienne un élément central de la stratégie en place pour contrer les changements climatiques. On éviterait ainsi l'émission d'énormes quantités de carbone entreposées dans la région, qui aurait pour effet d'accélérer les changements climatiques, tout en maintenant l'inaltération écologique nécessaire pour tamponner les effets de ces changements sur la flore et la faune de la région. De plus, les pays riches et développés qui contrôlent de vastes étendues de forêt boréale – le Canada, les États-Unis et les nations scandinaves – sont des états de droit dont les besoins ne rivalisent pas. Ces considérations consolident les chances de réussite des efforts de protection environnementale. Alors qu'on

tente de mettre en place une nouvelle entente sur les changements climatiques, et que les efforts se concentrent sur le contrôle des émissions issues du déboisement et des changements d'affectation des sols dans les tropiques, il devient essentiel de mieux prendre en compte la contribution potentielle des forêts boréales.

À l'échelle mondiale, seule une petite fraction de la forêt boréale a été protégée dans son état naturel. Entre-temps, les effets dévastateurs des changements climatiques et du développement industriel en plein essor dans le Grand Nord menacent l'inaltération écologique de la forêt boréale. Des objectifs internationaux communs pour protéger les écosystèmes, qui prévoient

Figure 1

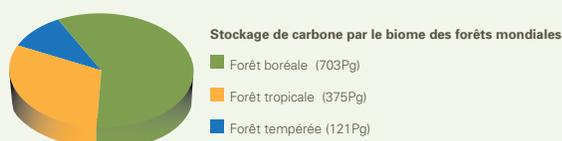
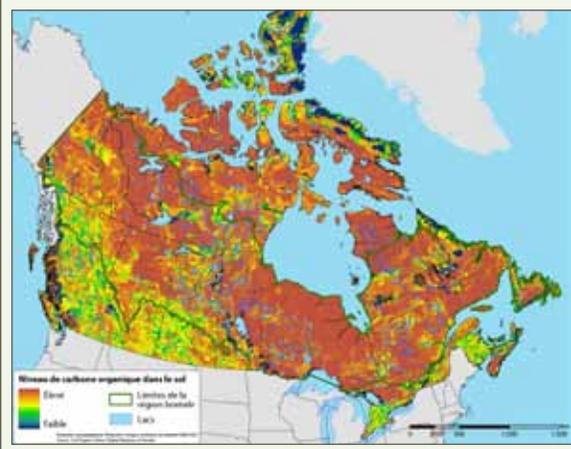


Figure 2



Voir aux pages 7 et 9 pour les graphiques pleine grandeur.

que 10 % des zones sauvages soient sauvées du développement, ne sont pas à la hauteur des attentes, ou se concentrent sur les occasions d'affaire possibles dans la forêt boréale. Des approches et des idées nouvelles, plus ambitieuses, deviennent nécessaires.

Le Canada est en tête de la conservation de la forêt boréale

Le Canada ouvre la marche. La Convention pour la conservation de la forêt boréale (Convention boréale) présente un projet pour la protection de plus d'un milliard d'acres (4 millions de kilomètres carrés) de forêts intactes, contiguës et riches en carbone, étalées sur l'ensemble du Nord canadien. Ce projet, endossé par plus de 1 500 experts de tous les pays, rétablit l'équilibre entre une protection sévère et une réglementation serrée du développement durable. Elle est, de plus, appuyée par des douzaines de groupes autochtones, des institutions financières et des groupes environnementaux.

Suivant l'approche élémentaire de la Convention boréale, les gouvernements fédéral et provinciaux canadiens ont protégé plus de 125 millions d'acres de forêt boréale depuis 2001 pour y loger de nouveaux parcs et des réserves fauniques – un taux de progression sans précédent dans la préservation de paysages vierges.

Au cours des deux dernières années, les provinces de l'Ontario et du Québec sont allées encore plus loin en amorçant la planification pour la conservation de près de 400 millions d'acres (1,6 million de kilomètres carrés), avec l'intention d'éliminer le développement sur au moins la moitié de cette superficie, tout en appliquant des limites strictes qui règlementeraient le développement sur l'autre moitié.

La protection d'une vaste portion de la forêt boréale dans le monde, suivant l'exemple du Canada, peut apporter une contribution majeure à l'amélioration des changements climatiques issus des activités humaines. Cette stratégie de conservation rapporte de multiples bienfaits, protégeant les stocks de carbone existants, fournissant un vaste refuge pour l'atténuation du stress provoqué par les changements climatiques sur les écosystèmes, et protégeant certaines des plus importantes étendues naturelles sur la planète. On comprend mieux pourquoi les récentes directives canadiennes portant sur la conservation boréale ont attiré autant d'appui. Pourquoi ces directives n'ont-elles pas été étudiées ni émulées par d'autres nations demeure, certes, plus difficile à comprendre. Souhaitons que le carbone oublié revienne enfin à la mémoire des gens.

Messages clés

- 1.** La région boréale demeure le plus grand entrepôt terrestre de carbone de la planète. Il contient près du double de la quantité de carbone par étendue de terrain que la forêt tropicale. Pour éviter l'accélération des changements climatiques, il faut éviter de déranger les immenses réservoirs de carbone de la forêt boréale.
- 2.** Les changements climatiques ont des implications sévères pour la biodiversité boréale et les services fournis par les écosystèmes. Toutefois, la région de la forêt boréale canadienne est la mieux équipée pour soutenir les effets du climat à cause de son haut degré d'inaltération.
- 3.** Non seulement la protection d'écosystèmes forestiers intacts et la gestion durable des forêts maintiendront en place des réserves de carbone d'envergure planétaire, mais encore, elles conserveront la capacité de la région boréale à résister et à s'adapter aux changements climatiques. Cette approche se trouve au cœur même de la Convention pour la conservation de la forêt boréale qui revendique pour l'instauration d'un vaste réseau interconnecté d'étendues protégées s'étendant sur plus de la moitié de la forêt boréale canadienne, ainsi que la mise en place de procédés de pointe en développement durable dans les zones restantes.
- 4.** Il est essentiel que la réglementation internationale qui s'applique aux changements climatiques soit cohérente avec la perception du rôle planétaire de la région boréale. La comptabilisation des impacts anthropogéniques causés au carbone forestier et aux tourbières devrait être obligatoire et les projets de carbone biotique devraient avoir des effets positifs ou neutres sur la biodiversité et les services fournis par les écosystèmes.

Introduction

Introduction

Voilà au moins vingt ans que les scientifiques et les écologistes ont reconnu l'importance des forêts tropicales dans l'emprisonnement du carbone et la protection de la biodiversité. Par chance, cette attention a mené à l'adoption de mécanismes politiques visant à utiliser les fonds provenant des revenus du marché du carbone et autres pour la protection des forêts tropicales. De plus, le résultat d'initiatives politiques internationales a permis la création récente d'aires protégées à l'intérieur de la forêt amazonienne, la plus vaste étendue de forêt tropicale intacte de toute la planète (Jenkins et Joppa 2009).

En revanche, les régions forestières boréales ont été en grande partie négligées en tant que priorité de conservation mondiale, et cette situation perdure malgré leurs immenses réserves de carbone qui jouent un rôle important pour l'atténuation des impacts des changements climatiques, ainsi que leur inaltération écologique qui soutient toute une série de valeurs d'importance planétaire liées à la biodiversité et à la culture (Bradshaw et coll. 2009). L'information dépassée ou erronée sur la quantité de carbone emmagasiné dans les régions forestières boréales continue d'être citée et utilisée par les stratèges, les médias et certains experts. La circulation de cette information a contribué à la sérieuse sous-représentation de l'importance des réserves de carbone de la forêt boréale dans les initiatives politiques actuelles en matière de gestion du carbone.

Les forêts et les tourbières boréales mondiales emmagasinent une plus grande quantité de carbone terrestre que tout autre biome sur la planète. La haute densité du carbone des régions forestières boréales résulte de l'accumulation lente du carbone au cours des millénaires. Alors que le flux de carbone dans les forêts tropicales est partagé entre la croissance des plantes et leur décomposition, les températures froides des écosystèmes boréaux favorisent l'accumulation de carbone en empêchant la décomposition de la biomasse morte. Il est donc essentiel de conserver intact le réservoir de carbone que constitue la forêt boréale afin d'éviter l'accélération des changements climatiques. L'inaltération des régions forestières boréales constitue une protection essentielle contre les changements climatiques rapides qui perturbent déjà les écosystèmes du Nord, changements aggravés par l'augmentation des usages industriels des terres qui croissent en nombre et en intensité. D'autre part, la conservation des écosystèmes boréaux favorise l'atténuation des impacts des changements climatiques en protégeant les grandes réserves de carbone. De plus, la conservation est essentielle à l'adaptation puisqu'elle aide à maintenir la résistance des régions aux prises avec les effets des changements climatiques rapides. Enfin, le maintien du caractère intact des habitats boréaux facilitera le déplacement nécessaire des aires de distribution des plantes et des animaux sans les perturbations additionnelles liées à la perte et à la fragmentation d'habitat.

Il est impératif d'agir pour préserver les régions où se trouve ce « carbone oublié ». Alors que des accords sur les changements climatiques sont négociés dans tous les pays, il est essentiel d'adopter des politiques qui tiennent compte de la contribution planétaire de la région boréale dans l'atténuation des impacts des changements climatiques et de l'adaptation à ceux-ci. Pour mieux comprendre l'élaboration de telles politiques, ce rapport décrit l'importance des régions forestières boréales canadiennes et détermine des stratégies visant à conserver à la fois leur carbone et leur résistance aux changements climatiques.

Photo arrière-plan : GARTH LENZ

Encadré 1. Définition des termes clés

Atténuation : mesures permettant de retarder ou de réduire les changements climatiques causés par l'activité humaine

Adaptation: mesures permettant de minimiser les effets négatifs des changements climatiques sur les humains et les milieux naturels

La protection de la banque de carbone

La forêt boréale canadienne et l'atténuation des impacts : la protection de la banque de carbone

Le biome boréal est le plus vaste et le plus important entrepôt de carbone forestier de toute la planète (Figure 1), emmagasinant presque deux fois plus de carbone par superficie que les forêts tropicales (IPCC 2000). Au Canada, la forêt boréale emmagasine actuellement environ 71,4 milliards de tonnes de carbone dans les écosystèmes¹ forestiers et 136,7 milliards de tonnes dans les écosystèmes tourbeux.² En plus de ces réserves de carbone terrestre, les nombreux lacs de la région forestière boréale contiennent aussi une part du 0,6 milliard de tonnes de carbone enfouies chaque année dans les sédiments des eaux continentales mondiales où il s'accumule depuis des milliers d'années (Battin et coll. 2009). Les quelque 208,1 milliards de tonnes de carbone accumulés dans les écosystèmes forestiers et tourbeux de la forêt boréale équivalent à environ 26 années d'émissions mondiales qui proviendraient de l'utilisation de combustibles fossiles, selon les chiffres obtenus en 2006.³

Les écosystèmes emmagasinent le carbone lorsque les plantes qui le composent emprisonnent le dioxyde de carbone lors du processus de photosynthèse, processus qui contribue également au refroidissement du climat. Ainsi, même si les forêts contribuent au réchauffement en absorbant les rayonnements solaires (à cause du faible facteur de réflexion du couvert forestier), l'effet de refroidissement est plus important en raison de l'ampleur de l'emprisonnement du carbone et, dans une moindre mesure, du refroidissement par évaporation. Une récente recherche empirique, menée à l'aide de données satellites à haute résolution, montre que le refroidissement serait l'effet climatique net du boisement (la conversion de terres non boisées en forêt) dans la forêt boréale, contrairement à de précédentes études de modélisations à faible pouvoir de résolution qui prévoyaient plutôt un effet de réchauffement (Montenegro et coll., in press). Entre 1920 et 1989, les vastes forêts canadiennes, situées pour la plupart dans la région boréale, ont absorbé une moyenne de 205 millions de tonnes de carbones par année (Kurz et Apps 1999), ce qui équivaut environ aux 204 millions de tonnes d'émissions annuelles canadiennes de gaz à effet de serre (Environnement Canada s.d.). Lorsqu'elles vieillissent, les forêts continuent d'accumuler le



Lac Oscar, Territoires du Nord-Ouest.

D. LANGHORST, DUCKS UNLIMITED CANADA

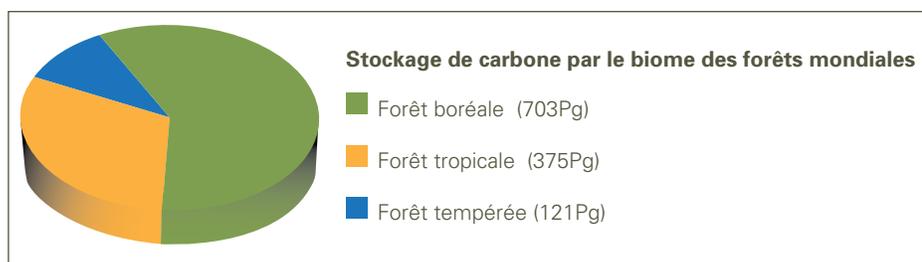


Figure 1: Le stockage du carbone dans les forêts boréales, tropicales et tempérées. Un pétagramme (Pg) équivaut à un milliard de tonnes.

Source : Kasischke 2000

¹ Selon Kurz et Apps (1999), les forêts canadiennes renferment 85,8 milliards de tonnes de carbone. De ce chiffre, 71,4 milliards de tonnes se trouvent près de la région boréale canadienne, dans les régions écoclimatiques suivantes : région boréale occidentale, région boréale orientale, région subarctique, région de la cordillère et région de la cordillère subarctique.

² Selon Tarnocai (2006), les écosystèmes tourbeux canadiens renferment 147 milliards de tonnes de carbone. Environ 93 % de ce carbone se trouve dans la région boréale.

³ En 2006, les émissions totales de CO₂ provenant de l'utilisation de combustibles fossiles s'élevaient à 29 milliards de tonnes (Energy Information Administration 2009), ce qui équivaut à 7,9 milliards de tonnes de carbone. Par conséquent, la réserve de carbone que constitue la forêt boréale canadienne (environ 208,1 milliards de tonnes) correspond à 26 ans d'émissions mondiales provenant de l'utilisation de combustibles fossiles.



Les zones humides canadiennes emmagasinent de grandes quantités de carbone.

GARTH LENZ

carbone, ce qui signifie que les forêts matures emmagasinent une plus grande quantité de carbone que les jeunes forêts (Luyssaert et coll. 2008). Conséquemment, les forêts naturelles emmagasinent plus de carbone que les forêts aménagées pour le bois d'œuvre en raison de leur âge moyen plus élevé (Kurz et coll. 1998). Et bien que le processus de séquestration au cours des dernières années ait été neutralisé par les émissions provenant du nombre croissant d'incendies forestiers et les perturbations causées par les insectes, le stockage du carbone par la végétation boréale canadienne demeure immense (environ 10 milliards de tonnes⁴).

Ce sont toutefois les sols et la tourbe qui jouent le plus grand rôle dans le stockage du carbone (Figure 2). Les températures fraîches de la région boréale ralentissent le processus de décomposition, entraînant la création de sols organiques profonds et l'accumulation massive de tourbe riche en carbone. Environ 85 % du carbone de la forêt boréale (Kurz et Apps 1999) et 98,5 % du carbone provenant des tourbières (Gorham 1991) sont conservés dans les sols plutôt que dans la végétation. À l'échelle mondiale, les tourbières

entreposent plus de carbone par superficie que tout autre écosystème terrestre, renfermant l'équivalent de la moitié du carbone qui se trouve dans l'atmosphère (Dise 2009). La capacité des écosystèmes boréaux à accumuler le carbone est plus visible dans les tourbières où la matière organique (principalement des mousses de type sphaigne) accumulée depuis des milliers d'années s'est transformée en tourbe. Les tourbières canadiennes renferment une quantité de carbone estimée à 147 milliards de tonnes (Tarnocai 2006), et l'effet de refroidissement dû à cette accumulation surpasse l'effet de réchauffement provoqué par la libération du méthane par ces mêmes tourbières (Frolking et Roulet 2007). Par ailleurs, les sols en état de gel permanent, appelés pergélisol, jouent également un rôle important. Comme la tourbe, le pergélisol accumule le carbone depuis des milliers d'années et peut être très profond. L'épaisseur moyenne du pergélisol dans la zone de pergélisol discontinu de l'hémisphère nord est de 1 à 50 m (Schuur et coll. 2008). Sur la planète, on estime à 1 672 milliards de tonnes le carbone enfoui dans la zone de pergélisol de la région circumpolaire (Schuur et coll. 2008, Tarnocai et coll. 2009).

⁴ Kurz et Apps (1999) ont estimé que la végétation du Canada pouvait stocker 14,5 milliards de tonne de carbone. De cette quantité, 10,4 milliards de tonnes sont situées dans les zones écoclimatiques approximatives de la région boréale du Canada suivantes : ouest boréal, est boréal, subarctique, cordillérien et subarctique de la Cordillère.

Des études récentes sur les réserves de carbone dans les écosystèmes du Nord suggèrent que la comptabilisation des réserves mondiales de carbone menée précédemment sous-estimait largement la quantité de carbone entreposée dans les régions du Nord, en particulier sous le pergélisol (Tarnocai et coll. 2009). Ces études indiquent que le premier mètre du sol de ces régions renferme deux fois plus de carbone qu'on ne l'avait cru, et qu'on retrouve aussi de vastes réserves dans les sédiments plus en profondeur. On évalue maintenant que la quantité totale de carbone accumulée dans les régions de pergélisol circumpolaire – ces régions se superposant globalement à la région boréale – compte pour 50 % des réserves souterraines planétaires (Tarnocai et coll. 2009). En outre, les

réserves de carbone enfouies dans les tourbières boréales sont, elles aussi, fréquemment sous-estimées puisque la tourbe qui se trouve en moyenne à 2,3 m (Gorham 1991) de profondeur est exclue des évaluations des réserves mondiales de carbone qui ne comprennent généralement que la quantité enfouie dans le premier mètre du sol (p. ex., IPCC 2000).

Par la perturbation, l'enlèvement des sols et le retrait de la végétation, l'utilisation des sols peut augmenter les émissions de carbone et diminuer l'accumulation de carbone biotique. Durant les années 1990, les activités liées à l'utilisation des sols, comme le déboisement, étaient responsables de près de 20 % des émissions

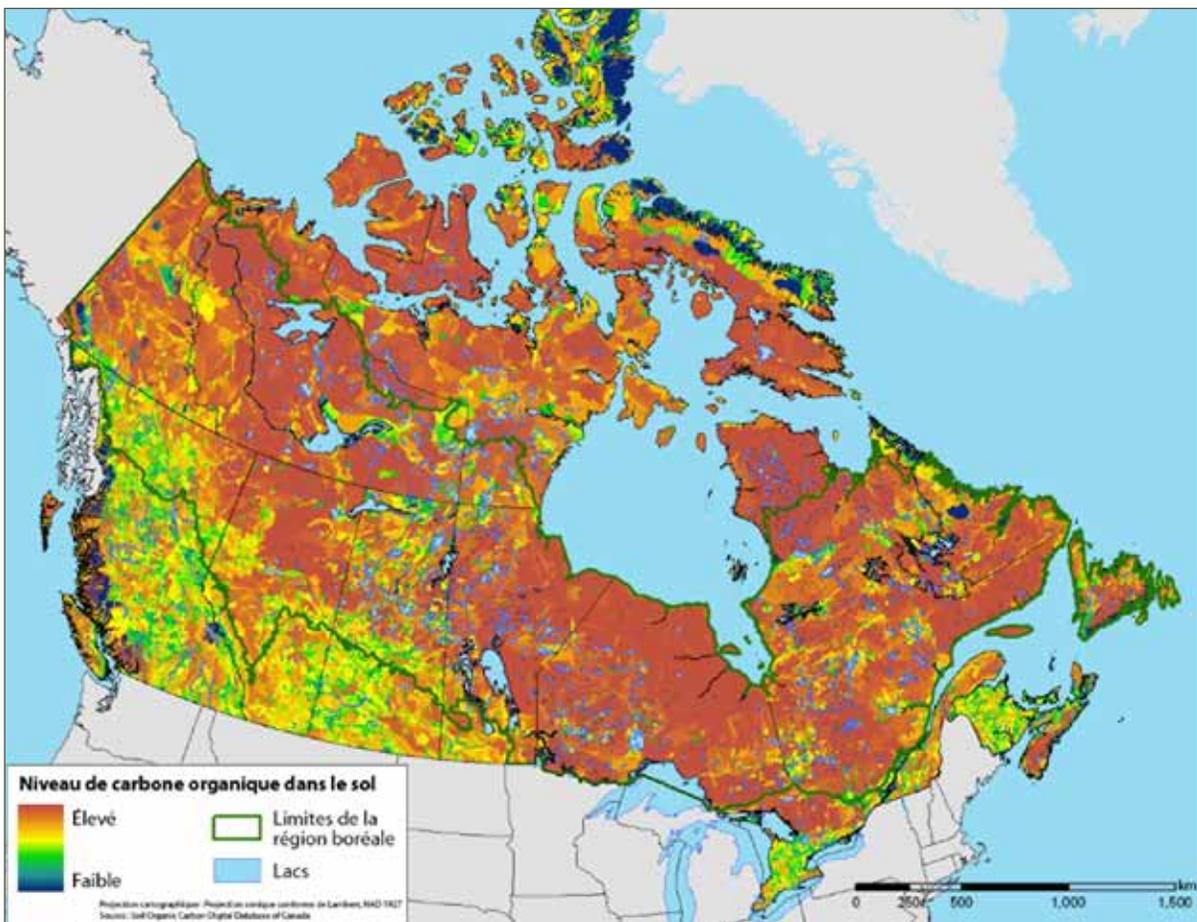


Figure 2. Stocks de carbone dans les sols canadiens. Les régions forestières boréales mondiales emmagasinent une plus grande quantité de carbone que tout autre biome forestier de la planète. La forêt boréale canadienne renferme environ 208 milliards de tonnes de carbone dans les sols et la végétation, une quantité équivalant à environ 26 années d'émissions industrielles de carbone d'après les niveaux de 2006.

L'exploitation forestière perturbe aussi le stockage du carbone par l'enlèvement de la biomasse forestière des écosystèmes (tel le bois d'œuvre).



Coupe à blanc dans la forêt boréale ontarienne.

JEFF WELLS

anthropogéniques mondiales de CO₂ (IPCC 2007). La proportion des émissions de carbone au Canada associée à l'utilisation des sols est considérablement plus faible que la proportion mondiale en raison du faible taux de déboisement. Cependant, les conséquences régionales peuvent être désastreuses. Par exemple, 73 % de l'écorégion de transition boréale de la Saskatchewan a été convertie en terres agricoles; le déboisement dans la province continue à un taux de trois fois supérieur à la moyenne mondiale (Hobson et coll. 2002).

La région des sables bitumineux du nord-est de l'Alberta est un autre exemple de pertes considérables de carbone biotique attribuable à l'utilisation des sols (Lee et Cheng 2009). En 2009, les mines de surface et leurs empreintes associées ont perturbé 686 km² de terrains dont la moitié étaient composés à l'origine de tourbières et de zones humides riches en carbone (Figure 3). Les sables bitumineux près de la surface terrestre sont extraits au moyen du drainage des zones humides sus-jacentes ainsi que de l'enlèvement de la couverture

végétale et du sol de surface. Cette pratique contribue lourdement à la perte des réserves de carbone en dessous et au-dessus du sol. La quantité totale de carbone biotique de la zone aménagée est d'environ 21 millions de tonnes. Les projets miniers déposés et approuvés totalisent 29,6 millions de tonnes de carbone biotique additionnelles. D'après l'élaboration d'un scénario de développement régional de bitume en surface et in situ, on estime que 238 millions de tonnes de carbone biotique pourraient être libérées du fait de l'exploitation des sables bitumineux (Lee et Cheng 2009).

Par ailleurs, l'exploitation forestière perturbe aussi le stockage de carbone par l'enlèvement de la biomasse forestière (le bois d'œuvre ou autre) des écosystèmes. Bien qu'une partie du bois coupé soit par la suite transformé en produits forestiers ou dirigé dans les sites d'enfouissement, l'ampleur des activités est telle que les émissions pourraient devenir considérables. En 2006, la coupe du bois sur une superficie d'environ 10 000 km² (Conseil canadien des ministres des forêts 2008)

a entraîné la libération de près de 45 millions de tonnes de carbone des forêts canadiennes (Environnement Canada 2008a).

Le maintien des services de régulation du climat assuré par les paysages forestiers canadiens

En 2007, l'Initiative boréale canadienne et la Richard Ivey Foundation ont organisé un atelier sur le rôle des

écosystèmes forestiers et tourbeux dans la régulation du climat auquel assistaient d'éminents experts canadiens. On a demandé aux experts de proposer des stratégies de gestion pour le maintien des services de régulation du climat fournis par les paysages forestiers. Voici un résumé de ces stratégies, accompagné de détails fournis par Carlon et coll. (soumis). Facilement réalisables, et considérant la quantité de

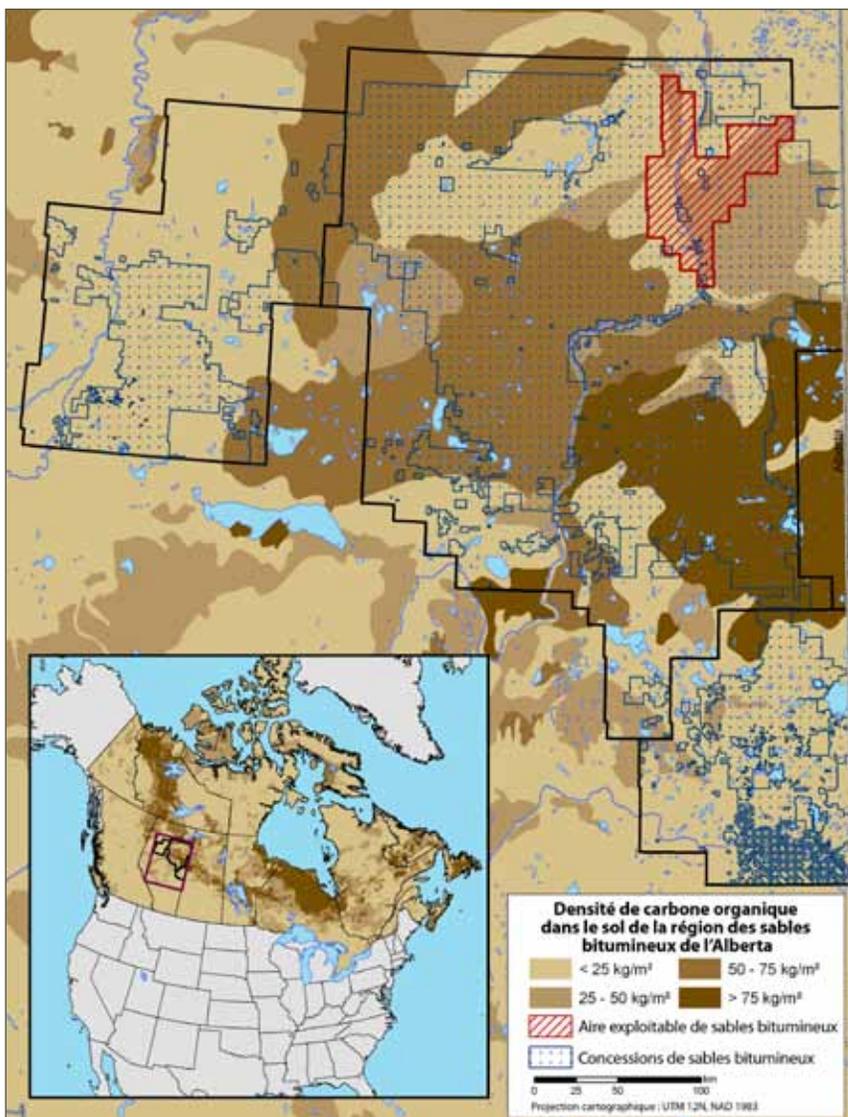


Figure 3. Stocks de carbone dans la région des sables bitumineux de l'Alberta. Des tourbières riches en carbone se trouvent dans la région des sables bitumineux. D'après l'élaboration d'un scénario de développement régional de bitume en surface et in situ, on estime que 238 millions de tonnes de carbone biotique pourraient être libérées à cause de l'exploitation des sables bitumineux (Lee et Cheng 2009).

Source : Observatoire mondial des forêts du Canada et Base de données numérique du carbone biologique de sol du Canada (1996).

Le stockage du carbone peut être maximisé par la conservation des forêts naturelles riches en carbone de même que par la production de bois d'œuvre provenant des forêts déjà aménagées afin de compenser les émissions intensives de gaz à effet de serre des produits tels que l'acier.

carbone en jeu, les stratégies proposées auraient avantage à être intégrées au plan d'action du Canada en réponse aux changements climatiques.

- 1. Éviter le déboisement et l'extraction de la tourbe.** La destruction des tourbières est particulièrement inquiétante en raison de leur haute densité en carbone et parce que leur perte est irréversible.
- 2. Éviter l'exploitation forestière des forêts naturelles.** Le stockage du carbone peut être maximisé par la conservation des forêts naturelles riches en carbone de même que par la production de bois d'œuvre provenant des forêts déjà aménagées afin de compenser les émissions intensives de gaz à effet de serre des produits tels que l'acier.
- 3. Adopter des pratiques de coupe du bois qui maintiennent le carbone biotique en bon état.** Les rotations plus longues augmentent la densité du carbone biotique et favorisent son emprisonnement après la coupe en accélérant la régénération.
- 4. Éviter la perturbation du sol.** Minimiser la perturbation du sol durant la coupe, surtout dans les régions de basse terre ou sur les terres saturées ou gelées.
- 5. Minimiser les émissions liées à la transformation des produits forestiers, au transport et à l'élimination des déchets.** Les stratégies, telles que brûler les déchets ligneux pour alimenter les usines forestières, présentent des possibilités considérables d'atténuation en raison de la forte proportion des émissions attribuables à la foresterie, associées à la transformation des produits forestiers, au transport et à l'élimination des déchets.
- 6. Réduire les impacts climatiques néfastes liés aux incendies ainsi qu'aux perturbations causées par les insectes.** Les coupes d'extinction et de récupération peuvent réduire les émissions, mais devraient être limitées aux forêts aménagées et pratiquées avec précaution pour atténuer les impacts écologiques néfastes tels que la perte d'habitat faunique et la faible régénération des forêts.



Rivière Clearwater en Alberta

GARTH LENZ

Le maintien des écosystèmes résistants



Le maintien de l'inaltération de la forêt boréale sera vital pour l'adaptation des espèces.

ASHLEY HOCKENBERRY

La forêt boréale canadienne et l'adaptation : le maintien des écosystèmes résistants

La réduction rapide et draconienne des émissions industrielles mondiales de carbone est cruciale pour éviter les pires projections associées aux changements climatiques. Toutefois, même si une réduction majeure est amorcée, le climat de la Terre continuera de subir des changements importants en raison de la haute concentration actuelle des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et du décalage entre la réduction des émissions et les effets sur le climat. Les émissions d'aujourd'hui continueront d'influencer la météorologie pendant des dizaines d'années (Hansen et coll. 2002, Wigley 2005, Weaver 2008), obligeant les écosystèmes et la société à s'adapter rapidement aux changements climatiques. De plus, la région de la forêt

boréale, telle que décrite ci-dessous, devra faire face à des modifications climatiques parmi les plus importantes de la planète. Heureusement, grâce à son inaltération, la région boréale canadienne est mieux parée que les autres pour résister à de tels changements (Ruckstuhl et coll. 2008). Il est donc nécessaire de préserver les écosystèmes forestiers boréaux du Canada pour maintenir la résistance de la région relativement aux changements climatiques de même que de minimiser la perte de la diversité biologique et des services rendus par les écosystèmes. La diversité du biote qu'abrite la région forestière boréale comprend des milliards d'oiseaux chanteurs migrateurs (Blancher 2003, Blancher et Wells 2005) des populations de mammifères du Nord parmi les plus grandes et les plus saines, entre autres les caribous, les ours, les loups et les orignaux. On évalue les services rendus par son écosystème à environ 14 fois la valeur des ressources naturelles extraites chaque année (Anielski et Wilson 2009).

Les émissions d'aujourd'hui continueront d'influencer la météorologie pendant des dizaines d'années, obligeant les écosystèmes et la société à s'adapter rapidement aux changements climatiques.

Les impacts des changements climatiques

Les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes de la forêt boréale



NORTHERN IMAGES
PAR WAYNE SAWCHUK

La hausse de la fréquence des incendies de forêt associés aux changements climatiques augmentera la vulnérabilité du caribou des bois, une espèce menacée par les perturbations causées par l'activité humaine.

Les changements climatiques qui se sont produits au cours du siècle dernier ont déjà entraîné le déplacement des aires de répartition des espèces, incluant les végétaux, les insectes, les oiseaux et les mammifères, en latitude ou en altitude.

On s'attend à ce que les changements climatiques dans les régions de latitude élevée, y compris la région de la forêt boréale du Canada, soient plus marqués et se produisent plus rapidement que dans les biomes forestiers tempérés et tropicaux. Selon les prévisions, la moyenne annuelle des températures dans le nord du Canada augmentera de 4 à 5 degrés Celsius au cours du prochain siècle (Christensen et coll. 2007), comparativement à une élévation de 3 degrés pour le reste du globe (Meehl et coll. 2007). De plus, on prévoit une élévation des températures hivernales dans la même région atteignant jusqu'à 10 degrés Celsius (Christensen et coll. 2007). L'importance des changements climatiques prévus dans les régions du Nord pourrait entraîner de sérieuses répercussions sur les processus écologiques et la biodiversité, et justifie grandement l'urgence de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'augmenter la protection des régions riches en carbone comme la forêt boréale canadienne.

Les aspects du climat, en particulier la température et les précipitations, sont déterminants dans la qualité d'un habitat. C'est pourquoi les changements climatiques, lorsqu'ils se produisent rapidement, affectent la distribution des plantes et des espèces sauvages (Crozier 2004, Root et Hughes 2005, Root et Schneider 2002). Les changements climatiques qui se sont produits au cours du siècle dernier ont déjà entraîné le déplacement des aires de répartition des espèces, incluant les végétaux, les insectes, les oiseaux et les mammifères, vers le nord en latitude ou vers des sommets plus élevés en altitude (Figure 4) (Hickling et coll. 2006). Une analyse portant sur 130 espèces d'arbres de l'Amérique du Nord, dont

un grand nombre d'espèces boréales, suggérait que des déplacements vers le nord d'environ 700 km se produiraient dans les niches climatiques (des conditions climatiques convenables) au cours des cent prochaines années. Cependant, il est peu probable que la migration naturelle des arbres et des autres végétaux puisse composer avec un changement aussi radical, ce qui laisse croire que la persistance de certaines espèces serait en péril. Le taux moyen de la migration des arbres est de l'ordre de 20 à 40 km par siècle, soit bien en deçà du déplacement prévu de la niche climatique aux prises avec les changements climatiques (Davis et Shaw 2001). Par ailleurs, on prévoit que le taux de migration nécessaire pour permettre aux espèces de s'adapter aux changements climatiques serait plus élevé dans les régions de l'hémisphère nord, comme la toundra et la forêt de conifères boréale (Malcolm et Markham 2000). En l'absence de perturbations, les communautés existantes sont en mesure de résister aux changements pendant des dizaines d'années. Mais lorsqu'elles sont perturbées, la colonisation favorise la prolifération de mauvaises herbes, compromettant les communautés de forêts existantes et engendrant un impact sur les personnes qui en dépendent.

Les espèces sauvages seront aussi affectées si les communautés végétales dont elles dépendent n'arrivent pas à s'adapter rapidement aux changements climatiques. Les déplacements vers le nord des aires de répartition correspondant aux déplacements prévus en réponse aux changements climatiques ont déjà été documentés chez des centaines d'espèces d'oiseaux de l'hémisphère nord (Hitch et Leberg 2007, Thomas et Lennon 1999). Parmi ces espèces, certaines ont vu leur aire de répartition hivernale s'étendre sur plusieurs centaines de kilomètres, vers les hautes latitudes (National Audubon Report 2009). Les modèles actuels des changements dans la répartition des espèces sauvages liés aux changements climatiques suggèrent qu'un grand

nombre d'espèces risque de subir une forte diminution de population alors que d'autres pourraient être menacées d'extinction (Huntley et coll. 2007, Ferreira de Siqueira et coll. 2004, Mathews et coll. 2004).

La phénologie, ou la synchronisation de la croissance des plantes, la reproduction des animaux, la migration et les autres phases du cycle vital des espèces, est

souvent déclenchée par les variables climatiques telles que les températures maximales ou minimales, et elle réagit donc aux changements climatiques. La phénologie d'un grand nombre d'espèces sauvages a évolué afin de s'adapter à d'autres espèces dont elles dépendent. Étant donné l'écart important de la disponibilité des ressources entre l'hiver et l'été dans les écosystèmes boréaux, la disparité déjà apparente dans

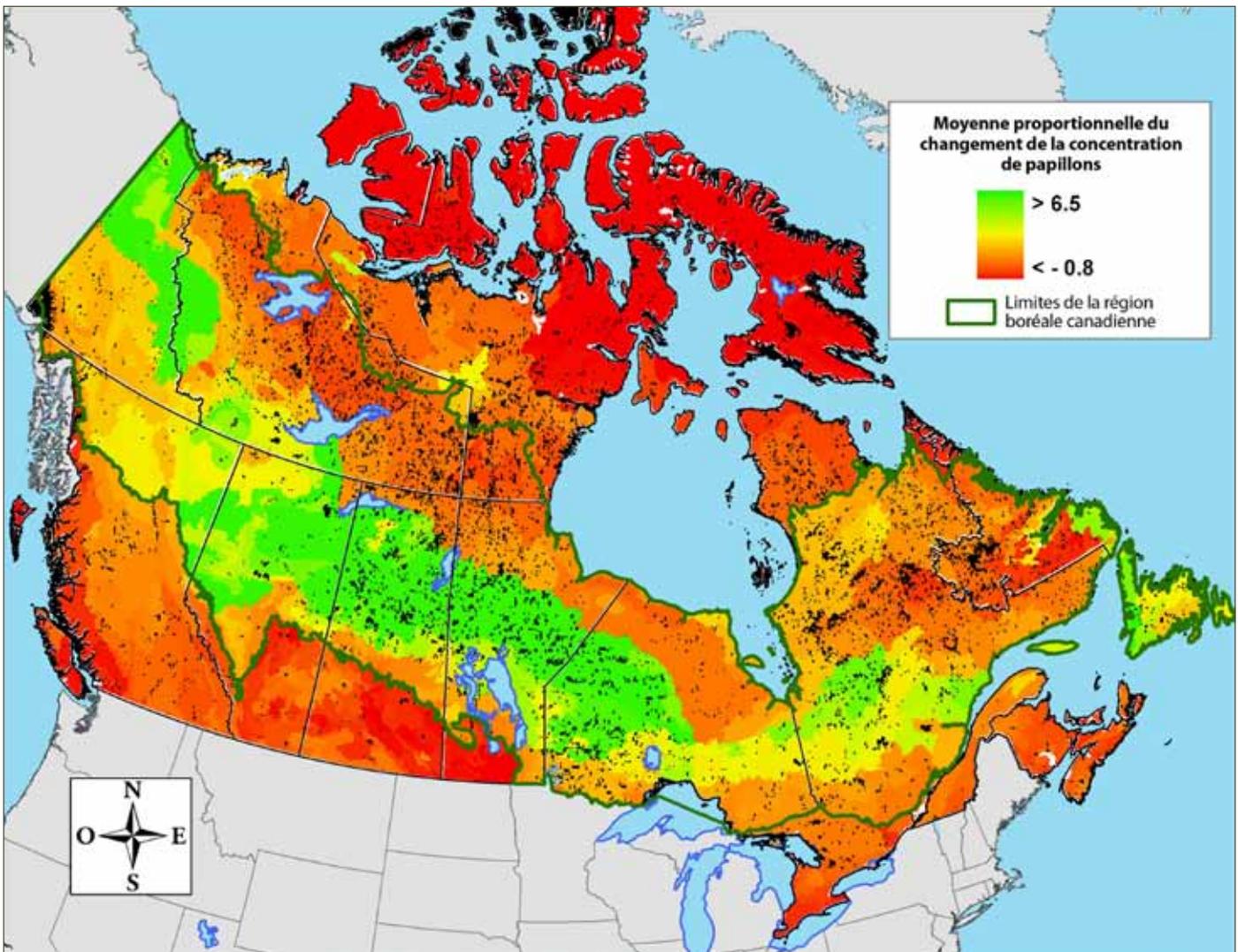


Figure 4. La région forestière boréale du Canada pourrait devenir un refuge pour les espèces forcées de migrer vers le nord à cause des changements climatiques. La carte montre dans quelle mesure la diversité des espèces de papillons a changé au cours du siècle dernier. Le vert indique une augmentation de la diversité des espèces alors que le rouge indique une diminution. La prédominance du vert dans la région forestière boréale pourrait signifier que les changements climatiques ont déjà causé le déplacement vers le nord de l'aire de répartition de certaines espèces. Le maintien de l'inaltération de la région facilitera ces mouvements futurs. Cette carte est reproduite de Kharouba et coll. (2009) avec l'accord des auteurs.



JEFF NADLER

Des phénomènes tels que l'émergence d'insectes se produisent déjà depuis une cinquantaine d'années, ce qui pourrait avoir une conséquence sur les espèces d'oiseaux dont la période de migration s'est déplacée pour coïncider avec la période d'abondance des insectes proies.

espèces devrait s'accroître en réponse aux changements climatiques (Parmesan 2006, 2007). Une étude sur les caribous de l'est du Groenland a documenté une importante disparité se traduisant par un retard dans la période de vélage par rapport à l'émergence prématurée des feuilles – les jeunes feuilles sont essentielles à l'alimentation des femelles caribous pour la lactation. Cette situation a entraîné une augmentation importante du taux de mortalité chez les petits caribous (Post et Forchhammer 2008).

D'après les données d'un examen (Root et coll. 2003) mené depuis cinquante ans sur plus de 694 espèces végétales et animales de l'hémisphère nord, on remarque une avance moyenne de 5,1 jours par décennies dans les phases printanières du cycle vital de ces espèces. Ces phases vont de l'éclosion des feuilles à l'étape de la floraison et des fruits, en passant par la pondaison des amphibiens à l'émergence des

insectes. Ainsi, la période de nidification prématurée des oiseaux résulte de leur adaptation à l'avancement d'une variété d'autres événements biologiques. Par exemple, lorsque les insectes émergent plus tôt que les années précédentes, les oiseaux doivent ajuster leur période de pondaison en conséquence s'ils veulent élever leurs petits au moment où la population des chenilles et des autres insectes proies atteint son apogée. Pour les espèces résidentes et celles qui migrent sur de courtes distances, l'adaptation est possible parce que celles-ci peuvent suivre efficacement les changements dus au réchauffement climatique jusque dans les climats septentrionaux où elles passent l'hiver. Toutefois, les grands migrateurs qui passent l'hiver dans les tropiques peuvent être désavantagés, car ils entament leur migration printanière en se fiant à la longueur du jour plutôt qu'aux signes climatiques. Par conséquent, ces oiseaux risquent de ne pas atteindre le lieu de couvain à temps pour faire coïncider l'éclosion des œufs avec la période d'abondance des insectes nécessaire à l'alimentation de leurs petits. Ce phénomène a d'ailleurs été étudié chez le gobemouche noir d'Europe. En effet, les oiseaux arrivent de leurs aires d'hivernage d'Afrique trop tard, et l'éclosion des œufs se produit après la période où les populations d'insectes sont à leur densité maximale, ce qui entraîne du même coup une baisse de reproduction et une sélection naturelle favorisant les individus qui commencent à nicher plus tôt (Both et coll. 2006, Visser et coll. 2006, Visser et coll. 1998).

Il n'y a pas que les oiseaux migrateurs qui soient menacés par les changements climatiques. Certaines espèces résidentes doivent amasser de la nourriture pour passer l'hiver et pour nourrir les jeunes dont les œufs éclosent au début du printemps, avant que l'approvisionnement en nourriture fraîche soit possible. Avec le réchauffement climatique, les automnes dans la région boréale sont plus chauds et retardent le gel, ce qui risque d'affecter ce type

d'oiseaux. L'une des espèces de la forêt boréale canadienne, le mésangeai du Canada, pourrait être particulièrement touchée. Dans le sud de la région boréale où les automnes se sont adoucis, la nourriture mise en réserve risque de se perdre avant d'avoir la chance de geler. Le mésangeai a besoin de ces réserves de nourriture pour survivre jusqu'au printemps, en plus de s'en servir pour nourrir sa progéniture qui voit généralement le jour en avril. Par ailleurs, les spécialistes ont constaté que les mésangeais du Canada avaient une plus grande couvée les années qui suivent un automne froid plutôt que celles qui suivent un automne doux (Waite et Strickland 2006).

Les perturbations naturelles qui façonnent la forêt boréale sont elles aussi modifiées par les changements climatiques. Ainsi, la hausse des températures exercera une action sur la teneur en eau des combustibles et, par conséquent, augmentera le déclenchement et la propagation d'incendies. À cause de l'accroissement des risques d'incendie associé aux changements climatiques, on prévoit que le nombre d'incendies dans l'ensemble du Canada pourrait doubler au cours du prochain siècle (Flannigan et coll. 2005) et plus que tripler dans l'ouest du pays (Balshi et coll. 2009). Les changements climatiques auront aussi des conséquences sur les perturbations causées par les insectes, comme c'est le cas dans l'Ouest canadien où une infestation de dendroctones du pin ponderosa a touché plus de 130 000 km² de forêt (Kurz 2008a). La hausse des températures, surtout durant l'hiver, a favorisé la progression de l'épidémie en permettant au dendroctone d'échapper à la mortalité hivernale prévue comme facteur premier dans la régulation des populations, et de ce fait, de se propager au nord et à l'est, ainsi qu'en altitude.

La biodiversité boréale s'est adaptée au régime des incendies de la région de sorte que la hausse des taux de perturbations découlant des changements climatiques risque d'avoir

un impact sur la faune. L'augmentation du nombre d'incendies réduira l'abondance des vieilles forêts ce qui entraînera des répercussions sur les espèces dépendantes de l'habitat boréal. Ces conséquences des changements climatiques sont particulièrement problématiques considérant que la proportion des forêts âgées a déjà subi des pertes sans précédent dans les régions où on pratique l'exploitation forestière (Cyr et coll. 2009). La hausse du taux de perturbations naturelles liées aux changements climatiques pourrait donc réduire la capacité des écosystèmes de la forêt boréale canadienne à composer avec les perturbations anthropiques directes sans une perte de la diversité des espèces. Par exemple, le caribou des bois est sensible autant aux perturbations naturelles qu'aux perturbations anthropiques. Une analyse effectuée sur la forêt boréale canadienne pour connaître les déplacements du caribou a conclu à une diminution du recrutement des caribous (l'ajout des jeunes à la population adulte, un indicateur de la tendance démographique) résultant de l'augmentation des perturbations totales (Environnement Canada 2008). Cette situation suppose qu'une plus grande fréquence des incendies rendra les caribous plus vulnérables aux perturbations liées aux activités humaines. D'autre part, les services rendus par les écosystèmes de la forêt boréale canadienne sont aussi susceptibles d'être dérangés par la multiplication des perturbations dites naturelles attribuables au climat. Ainsi, la combustion et la décomposition de la biomasse causées par une augmentation des incendies et l'infestation d'insectes se feront au détriment des réserves de carbone (Kurz et coll. 2008 b). Toutefois, les effets globaux des changements climatiques sur le stockage du carbone se compliquent par les effets positifs du réchauffement climatique et du dépôt de CO₂ et d'azote sur l'emprisonnement du carbone (Chen et coll. 2003).

Les écosystèmes aquatiques de la forêt boréale du Canada seront aussi

Le mésangeai du Canada met en réserve de la nourriture pour l'hiver, mais la hausse des températures pourrait causer la perte de ces réserves.

JEFF NADLER





On s'attend à ce que les incendies dans la forêt boréale soient plus fréquents en raison des changements climatiques.

GARTH LENZ



Les températures des lacs devraient connaître une hausse, affectant du coup les espèces comme le touladi.

GARTH LENZ

sévèrement touchés puisque les systèmes aquatiques nordiques sont vulnérables à un grand nombre de changements physiques, chimiques et biologiques provoqués par le climat (Schindler et Smol 2006). Les optimums thermiques pour les espèces d'eau froide se situent généralement en dessous de 20 degrés Celsius, mais ils risquent d'être plus élevés dans certaines régions aux prises avec le réchauffement climatique (IPCC 2002). De plus, les espèces telles que le touladi seront également affectées par les températures de l'eau qui dépassent leur seuil de tolérance de même que par la compétition, la prédation ou la maladie due à la mouvance des taxons vers le nord (Reist et coll. 2006). Par ailleurs, les rivières du Nord montrent déjà des signes de changements dans leur régime d'écoulement (Schindler et Smol 2006). Ces changements, sans doute attribuables aux changements climatiques, comprennent l'arrivée prématurée, mais moins importante des crues, l'augmentation des débits durant l'hiver et la diminution des débits durant l'été (Woo et coll. 2008). Le moment de la ponte des œufs, de l'éclosion et de l'émergence d'un grand nombre d'organismes aquatiques est synchronisé avec les variations des débits et des températures de l'eau; un changement dans ces variations peut avoir des conséquences inattendues, surtout pour les prédateurs aquatiques qui dépendent de l'abondance de la nourriture disponible. Tout comme pour les écosystèmes terrestres, l'impact lié aux activités humaines comme la pollution et l'énergie hydroélectrique, risque d'amoindrir la capacité des espèces aquatiques et des écosystèmes à s'adapter aux changements climatiques.

La région forestière boréale canadienne reçoit relativement peu de précipitations, mais elle abrite de nombreux habitats aquatiques en raison des températures froides qui empêchent l'évapotranspiration. Malheureusement, l'élévation des températures prévue dans le sud et l'ouest de la région

favorisera l'évapotranspiration des zones humides (Tarnocai 2006), entraînant l'assèchement et peut-être aussi la réduction des habitats des espèces dépendant des zones humides, comme c'est le cas pour les 12 à 15 millions de canards qui y vivent (Morissette et coll., in presse). Dans la partie nord de la forêt boréale, la fonte du pergélisol occasionnera aussi la disparition des habitats aquatiques en provoquant le drainage des zones humides et des lacs. Depuis les années 1950, la fonte du pergélisol a causé la détérioration des habitats des zones humides dans les régions boréales de l'Alaska (Riordan et Verbyla 2006) en plus de causer la disparition de lacs en Sibérie (Schindler et Smol 2006).

Les risques d'un effet de rétroaction par lesquels les changements climatiques occasionneraient la libération du carbone des sols boréaux qui, à son tour, entraînerait des changements climatiques supplémentaires suscitent énormément d'inquiétude. L'eau exerce un effet de contrôle sur le bilan du carbone des tourbières, et c'est pourquoi l'assèchement de celles-ci pourrait entraîner la libération d'importantes quantités de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (Tarnocai 2006). De plus, la fonte du pergélisol pourrait engendrer d'importants flux de carbone provenant des sols boréaux, quoique la perte aurait de bonnes chances d'être compensée en partie par l'augmentation de l'emprisonnement causée par une plus grande productivité (Turetsky et coll. 2007). Enfin, l'assèchement des tourbières pourrait perturber la chimie des écosystèmes aquatiques de la forêt boréale canadienne. L'acidification des écosystèmes peut être le résultat d'une hausse de la fréquence des incendies et des sécheresses, en plus de provoquer le rejet d'anions acides, tels que les sulfates et les chlorures qui pourraient s'être accumulés dans les bassins versants lors de précipitations acides (Bayley et coll. 1992).

La conservation

La conservation : une stratégie efficace pour l'adaptation aux changements climatiques

D'après l'étude des fossiles, il existe de nombreux exemples de la persistance et de la migration d'espèces confrontées à des changements climatiques. Pourquoi s'attend-on alors à ce que les changements à venir dévastent la diversité, menaçant jusqu'à 20 ou 30 % des espèces végétales et animales (GIEC 2007)? L'une des raisons s'explique par la vitesse à laquelle se produisent les changements. Il n'existe aucun scénario analogue dans les données climatiques concernant l'ampleur des changements climatiques actuels se produisant à l'échelle planétaire, plutôt qu'à une échelle régionale. Les changements qui s'étendent habituellement sur des milliers d'années sont maintenant prévus pour les décennies à venir. Actuellement, les changements climatiques affectent les écosystèmes déjà perturbés par diverses activités humaines. En effet, la majorité des écosystèmes planétaires ont été considérablement modifiés par les humains, réduisant leur capacité à atténuer les effets d'un climat changeant et entravant la mouvance nécessaire à l'adaptation de certaines espèces. D'autre part, il semble que l'activité humaine ait déjà réduit l'abondance d'un grand nombre d'espèces et de populations, rendant celles-ci beaucoup plus vulnérables à l'extinction ou à la disparition associée aux changements climatiques (Noss 2001). Toutefois, cette situation ne touche pas les écosystèmes encore intacts, c'est-à-dire les zones largement inaltérées par l'activité humaine. Ces écosystèmes, dont une grande partie de la région forestière boréale du Canada, offrent une occasion inestimable pour l'adaptation aux changements climatiques grâce à leur capacité exceptionnelle à composer avec les impacts prévus.



DAVID DODGE, THE PEMBINA INSTITUTE

Parmi les impacts prévus qui suscitent le plus d'inquiétudes, on trouve la nécessité d'un changement rapide et à grande échelle dans la distribution des plantes et des animaux pour permettre aux espèces de survivre. Les écosystèmes forestiers intacts ont la capacité de faire face à ce problème en raison de certaines caractéristiques leur permettant de tempérer les changements des conditions climatiques. Grâce à la longue durée de vie des arbres, les forêts peuvent persister pendant des siècles à la suite d'une modification du climat (Noss 2001). De ce fait, les écosystèmes forestiers intacts sont en mesure de ralentir les changements dans les écosystèmes liés aux changements climatiques, et ainsi protéger les espèces contre les conditions changeantes. Par contre, lorsqu'ils sont perturbés, les écosystèmes deviennent vulnérables à l'invasion rapide des mauvaises herbes (Sakai et coll. 2001, Thompson et coll. 2009). Un autre effet modérateur des écosystèmes intacts se traduit par la tendance des microclimats à l'intérieur des forêts à montrer des variations de température plus subtiles et une humidité relative plus élevée qu'à l'extérieur (Innes et coll. 2009). Par

conséquent, les conditions propices aux espèces indigènes peuvent être maintenues malgré l'instabilité des conditions atmosphériques. Cependant, lorsque les forêts sont fragmentées, elles deviennent vulnérables au vent et aux rayons du soleil qui affectent alors la stabilité du climat, et sont exposées à des conditions défavorables pour les espèces qui y vivent (Noss 2001).

Quoique les écosystèmes intacts arrivent à ralentir le rythme des changements dans les aires de répartition occasionnées par les changements climatiques, leur mouvance sera tout de même nécessaire et elle rivalisera certes avec les changements les plus importants observés dans l'étude des fossiles. Les paysages modifiés par l'activité humaine, telles les fermes, les routes, les zones urbaines et les empreintes industrielles (blocs de coupe), constituent de nombreux obstacles potentiels à la mouvance des espèces. On s'attend à un ralentissement important dans les déplacements de distribution à mesure que les habitats disponibles deviennent fragmentés à cause des impacts liés à l'activité humaine (Collingham et Huntley 2000). Considérant les taux de déplacements élevés prévus, cet effet de restriction occasionné par la modification du paysage risque d'être fatal pour certaines espèces. Pour minimiser cet impact, tout en facilitant les déplacements des aires de répartition à travers les zones déjà perturbées par les activités humaines, on pourrait établir des corridors d'habitats qui soient parallèles aux gradients climatiques (Chapin et coll. 2007). Toutefois, il peut être difficile de s'assurer de l'efficacité des corridors, surtout si on tient compte de l'importante variété d'espèces ayant besoin de grands espaces ou ayant des besoins spécifiques en matière d'habitat. La création de corridors n'est pas une science exacte et la preuve de leur efficacité est peu concluante (Beier et Noss 1998). La meilleure approche demeure le maintien d'une interconnexion fonctionnelle des territoires.

Les écosystèmes intacts répartis sur les gradients climatiques, comme on en trouve dans certains secteurs de la région forestière boréale canadienne, sont susceptibles d'être plus fonctionnels pour le déplacement des espèces, tout comme ce qui s'est produit lors des changements climatiques qui ont précédé l'ère des perturbations anthropiques des écosystèmes à grande échelle. Dans les zones où l'utilisation des sols est pratiquée, l'interconnexion peut demeurer fonctionnelle si l'inaltération de la région est suffisante pour permettre la mouvance (Lindenmayer et Franklin 2002). Les écosystèmes gardés intacts résistent mieux aux espèces exotiques et aux mauvaises herbes. À cause des changements climatiques, on prévoit toutefois une prolifération des mauvaises herbes du fait de leur grande capacité de dispersion (Malcolm et Markham 2000). De plus, les perturbations anthropiques amplifient ce problème en créant des habitats propices à l'invasion des espèces de même que le transport accidentel d'espèces invasives le long des voies d'accès et autres corridors de transport (Summers et Archibold, 2007). Réduire la détérioration des habitats peut ralentir l'avance nuisible des espèces envahissantes et favoriser la migration des espèces indigènes.

L'abondance et la diversité des espèces sont sans doute les qualités les plus importantes des écosystèmes intacts pour l'adaptation aux changements climatiques. En raison de la complexité des changements climatiques et de la biodiversité, il est difficile de prévoir exactement de quelle façon les espèces seront affectées, mais les effets risquent d'être graves (Pimm 2009). Les importantes populations que l'on retrouve dans les écosystèmes intacts auront plus de facilité à composer avec les effets inconnus des impacts de même qu'à préserver leur viabilité. La région forestière boréale canadienne constitue déjà un havre pour les espèces disparues des aires de répartition plus au sud, comprenant certains grands mammifères, dont l'ours, le loup, le caribou et le carcajou (Laliberté et Ripple



La forêt boréale constitue un havre pour les animaux déjà disparus des aires de répartition plus au sud, comme c'est le cas du loup gris.

CANARDS ILLIMITÉS CANADA

2004). On peut s'attendre à ce que le rôle des régions, en tant que refuge pour les espèces repoussées vers les limites nord de leur aire de répartition, augmentera avec les changements climatiques en cours. D'ailleurs, la diversité des espèces est un autre facteur important pour maintenir la résistance des écosystèmes intacts (Thompson et coll. 2009). La présence d'une variété d'espèces jouant des rôles écologiques similaires permet la continuité des processus écologiques dans le cas où les changements climatiques entraîneraient la disparition ou le déclin de l'une ou l'autre des espèces. Un autre avantage de la diversité des espèces dans le contexte de résistance est qu'il réduit de façon importante les dérangements naturels tels que l'infestation d'insectes. De plus, la diversité génétique à l'intérieur d'une même espèce est également déterminante, car elle permet aux espèces de s'adapter plus facilement aux changements climatiques grâce à la sélection naturelle (Thompson et coll. 2009). Finalement, les écosystèmes intacts sont susceptibles d'abriter des populations plus abondantes et, par conséquent, génétiquement plus diversifiées.

L'abondance et la diversité sont non seulement importantes pour les espèces, mais aussi pour les habitats. Les perturbations naturelles comme les incendies et les infestations d'insectes risquent d'augmenter en fréquence et en importance. Les écosystèmes boréaux ont la capacité de se reconstituer à la suite de perturbations naturelles, toutefois, cette résistance peut être assurée seulement si certaines zones sont demeurées intactes afin de servir de zone d'approvisionnement pour les espèces dépendantes des vieilles forêts. Une recherche menée dans les Territoires du Nord-Ouest révélait qu'une aire protégée devrait occuper au moins trois fois la superficie du plus important incendie prévu pour assurer le maintien de l'existence à long terme de toutes sortes d'habitats (Leroux et coll. 2007). Les incendies qui ont lieu dans la région forestière boréale du Canada peuvent

souvent s'étendre sur des milliers de kilomètres carrés, d'où le besoin de protéger les grands écosystèmes forestiers intacts nécessaires pour assurer la résistance aux perturbations naturelles.

Étant donné la grande capacité des écosystèmes intacts à résister et à s'adapter aux changements climatiques, il n'est pas étonnant que la conservation et la gestion durable soient des éléments récurrents des stratégies recommandées concernant l'adaptation aux changements climatiques. Les plans d'adaptation aux changements climatiques gouvernementaux et non gouvernementaux comprennent souvent des stratégies de conservation comme l'augmentation de la protection, le maintien ou le rétablissement de l'interconnexion ainsi que la réduction des impacts non climatiques (Mawdsley et coll. 2009). Voici les recommandations (Énoncé de position de l'UICN, juin 2009) de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) visant la conservation de la biodiversité et le maintien des services fournis par les écosystèmes malgré les conditions climatiques changeantes : maintenir les écosystèmes intacts et interconnectés, investir dans le développement et la gestion des réseaux de zones protégées pour assurer leur adaptation et leur résistance aux changements climatiques, faciliter l'utilisation durable des ressources renouvelables et restaurer les écosystèmes fragmentés ou détériorés. De la même façon, d'autres auteurs (Innes et coll. 2009, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique 2009) ont proposé les stratégies suivantes : protéger les forêts vierges, préserver dans des réserves les types de forêts représentatifs de tous les gradients environnementaux, augmenter stratégiquement le nombre et la superficie des aires protégées et enfin, réduire les contraintes non climatiques.

Il n'y a pas que les espèces qui pourront profiter de la conservation dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques, car les humains pourront également en



Enfants cris cueillant des bleuets sauvages

NATASHA MOINE

Les humains dépendent d'une variété de services rendus par les écosystèmes : l'eau douce, la nourriture et les médicaments, le contrôle naturel des inondations, la pollinisation, les loisirs et la régulation du climat.

La forêt boréale canadienne comprend le quart des grands écosystèmes forestiers intacts sur la planète ainsi que le dernier et le plus vaste écosystème forestier continu du globe.

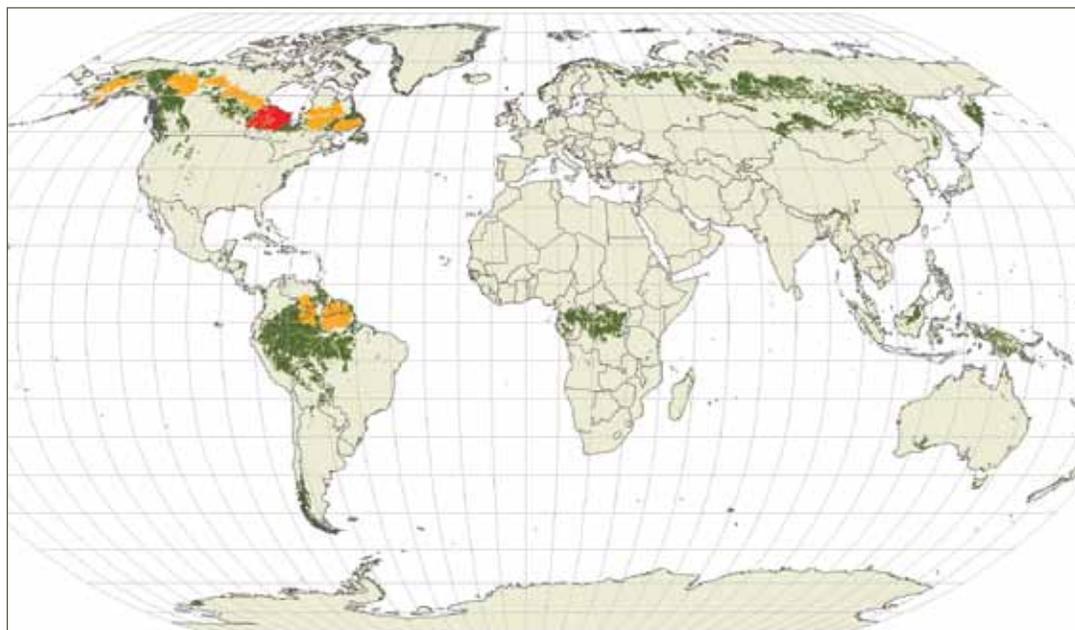


Figure 5. Emplacement des 10 plus importants blocs de forêt intacte sur terre (le plus important en rouge et les autres en jaune).

Source : Observatoire mondial des forêts du Canada.

bénéficier. En effet, ceux-ci dépendent d'une variété de services rendus par les écosystèmes, dont l'eau douce, la nourriture et les médicaments, le contrôle naturel des inondations, la pollinisation, les loisirs et, comme il en était question précédemment, la régulation du climat. Les services écosystémiques fournis chaque année par la région forestière boréale canadienne sont évalués à 700 milliards de dollars (Anielski et Wilson 2009). Ralentir le rythme des conditions changeantes en maintenant intacts les écosystèmes aidera les humains à relever les défis que posent les changements climatiques. Cela est particulièrement vrai pour les populations autochtones dont l'identité et le moyen de subsistance sont souvent étroitement liés à leurs terres environnantes. Les communautés autochtones du monde entier ont évolué au fil des générations conjointement à leur milieu de vie. Un grand nombre de communautés dans la région forestière boréale du Canada sont témoins des changements rapides se produisant dans leur environnement. Ces changements ne feront que s'accélérer dans les régions du Nord à mesure

que les changements climatiques s'intensifient. Le maintien de la capacité des communautés à s'adapter va de pair avec le maintien de la diversité des communautés biologiques (Salick et Ross 2009). Reconnaisant la vulnérabilité des peuples autochtones devant les changements climatiques de même que leur aptitude naturelle à composer avec la variabilité environnementale, l'UICN (2009) a demandé leur aide ainsi que celle des communautés locales dépendantes des écosystèmes vulnérables dans leurs efforts d'adaptation aux changements au moyen des systèmes de savoir traditionnel. L'une des stratégies hautement pertinentes à l'appui de la lutte des communautés autochtones contre les changements climatiques est la conservation des écosystèmes naturels, comme le propose un grand nombre de plans d'utilisation des sols développés par les communautés autochtones des régions boréales et de la toundra.

La forêt boréale canadienne présente peut-être une occasion unique à l'échelle mondiale de promouvoir la conservation

comme stratégie d'adaptation aux changements climatiques. La forêt boréale canadienne comprend le quart des grands écosystèmes forestiers intacts sur la planète, ainsi que le dernier et le plus vaste écosystème forestier continu du globe (Figure 5).

Actuellement, la forêt boréale est résistante par nature et c'est pourquoi la conservation de cet important biome est fondamentale pour maintenir sa capacité d'adaptation aux changements climatiques.

La Convention sur la diversité biologique des Nations Unies (CDB)

a été officiellement adoptée en 1992 et compte aujourd'hui la signature de la majorité des pays, y compris le Canada.⁵ Les signataires de la CDB s'engagent envers les trois objectifs suivants : conserver la diversité biologique, utiliser les richesses de façon durable et partager de façon juste et équitable les avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques. Récemment, les pays signataires ont reconnu le rôle principal que jouaient à long terme les changements climatiques sur la perte de la biodiversité. C'est pourquoi ils ont commandé plusieurs rapports techniques (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique 2009, Thompson et coll. 2009) décrivant les enjeux et formulant des recommandations visant à mettre au même plan la conservation de la biodiversité et l'atténuation des changements climatiques. Voici quelques-unes des nombreuses conclusions et recommandations pertinentes à la région forestière boréale du Canada contenues dans les rapports.

TIRÉ DE : *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation* (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique 2009) et *Forest Resilience, Biodiversity and Climate Change. A Synthesis of the Biodiversity/resilience/stability Relationship in Forest Ecosystems* (Thompson et coll. 2009)

- S'assurer de l'existence de réseaux d'aires protégées nationales et régionales qui soient déterminés scientifiquement,

étendus, adéquats et représentatifs. Intégrer le développement de ces réseaux à la planification nationale et régionale pour l'interconnexion à grande échelle des aires protégées.

- Établir des politiques qui intègrent la conservation et en font la promotion tout en favorisant l'emprisonnement du carbone enfoui dans les sols, y compris dans les tourbières et les zones humides, pour contribuer à l'atténuation des changements climatiques tout en étant bénéfique pour la biodiversité et les services écosystémiques.
- Utiliser les observations recueillies auprès des communautés autochtones et locales comme un outil important dans la compréhension des impacts et traiter ces observations avec le consentement préalable de ces communautés, en connaissance de cause et avec leur entière participation.
- Explorer et mettre à profit les occasions de surveillance communautaire pour la prise de décision, en reconnaissant la capacité des autochtones et des communautés locales à fournir des données et assurer la surveillance sur des systèmes entiers plutôt que sur des secteurs uniques, le tout fondé sur la participation entière et active des collectivités autochtones et locales.

⁵ Le président Clinton a signé la CDB en 1993, mais le Sénat n'a jamais ratifié le traité. Par conséquent, les États-Unis, tout en ayant acquis le statut d'observateur et de membre officiel, n'ont pas droit de vote aux assemblées du CDB.

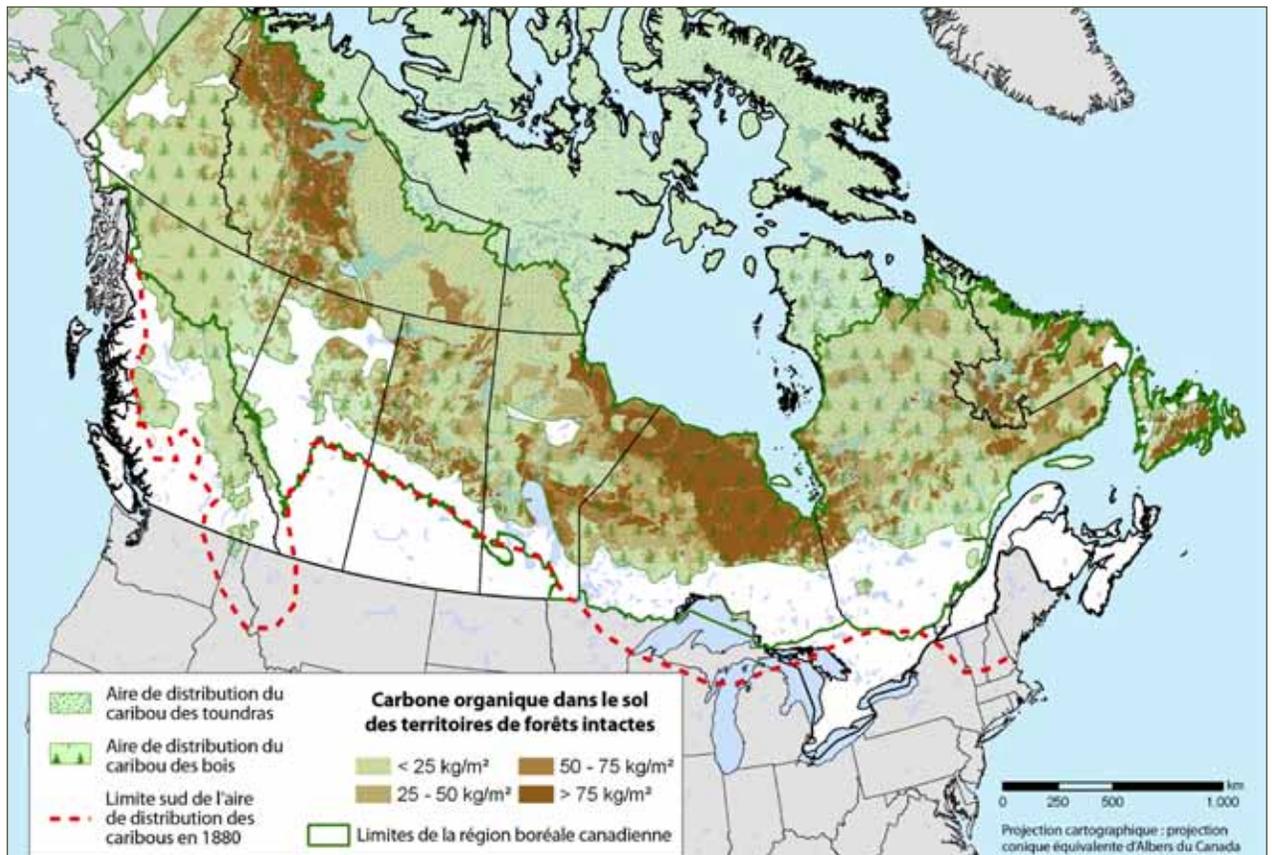
Avantages concomitants

La concrétisation des avantages concomitants de la protection de la forêt boréale

La forte teneur en carbone et l'inaltération des écosystèmes boréaux (Bradshaw et coll. 2009) sous-entendent que la conservation est une approche efficace pour obtenir les avantages simultanés de l'atténuation des impacts et de l'adaptation. La protection de paysages intacts dans la région de la forêt boréale canadienne réduira les émissions de carbone terrestre dans l'atmosphère, plus particulièrement dans les écosystèmes qui emmagasinent de vastes quantités de carbone telles les tourbières, les régions du pergélisol, et les vieilles forêts. La protection est essentielle également pour maintenir la

capacité de la région de la forêt boréale du Canada à s'adapter aux changements climatiques. Un vaste réseau interconnecté d'étendues protégées favorisera la migration des espèces aux prises avec les changements climatiques et il les aidera à affronter les désordres naturels et à surmonter leurs effets dans les régions touchées (secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2009).

Les avantages simultanés de l'atténuation des impacts et de l'adaptation des mesures de conservation dans la forêt boréale canadienne sont démontrés par le chevauchement spatial des entrepôts de carbone avec d'autres attributs écologiques. Des régions comme le Nord de l'Ontario et la vallée du Mackenzie dans les Territoires du Nord-Ouest par exemple, emmagasinent



Les plus importants entrepôts de carbone de la forêt boréale canadienne se trouvent à l'intérieur de l'aire naturelle toujours intacte du caribou des bois.

Source : Observatoire mondial de la forêt du Canada et Base de données numérique du carbone biologique de sol du Canada (1996).

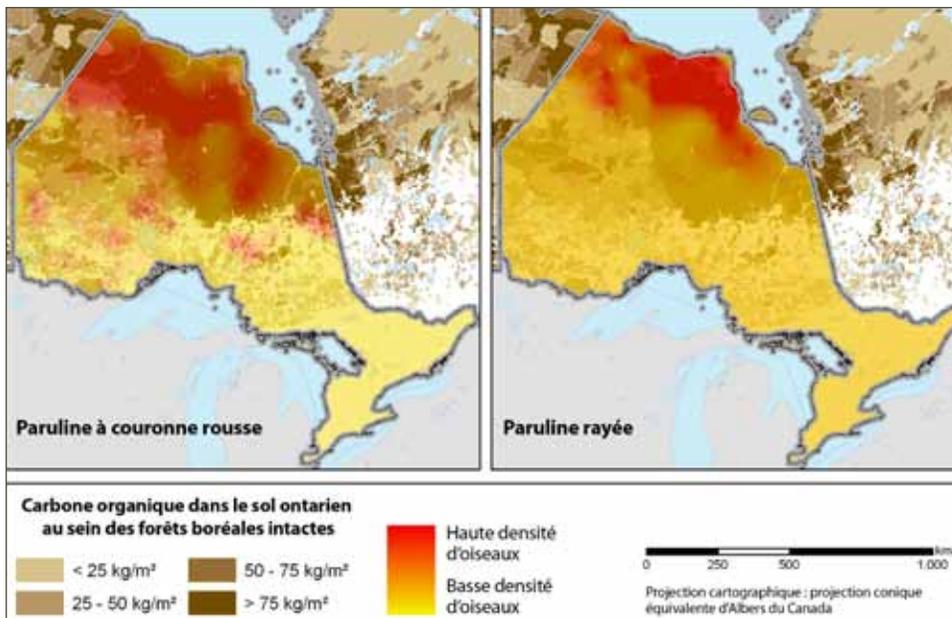


Figure 7. Les sols à densité élevée de carbone chevauchent les aires de plus haute reproduction de la paruline à couronne rousse et de la paruline rayée. Le Nord de l'Ontario abrite la plus vaste étendue de tourbières sur terre.

Les données sur la densité des oiseaux dans les aires de reproduction proviennent de l'atlas Atlas des oiseaux nicheurs de l'Ontario, gracieuseté de Andrew Couturier, Études d'oiseaux Canada.

non seulement de vastes quantités de carbone à cause de la prédominance de tourbières, mais elles fournissent également un habitat de choix pour des populations de caribou, sensibles aux changements climatiques et à l'affectation des sols, ainsi qu'aux oiseaux chanteurs migrateurs (Figure 7).

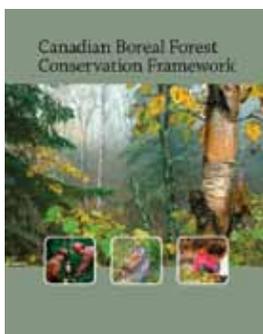
L'augmentation de la protection de ces espaces contribuera non seulement à maintenir intact de vastes entrepôts de carbone d'intérêt planétaire, mais cela augmentera la résistance des populations de caribou menacées par les changements climatiques. De manière plus générale, les régions à haute teneur en carbone se situent dans les écosystèmes avec un taux d'inaltération élevé. Ce chevauchement entre le potentiel d'atténuation et d'adaptation est le résultat fortuit de l'absence historique de développement industriel. Avec la poussée du développement vers le nord, une planification proactive sera nécessaire pour protéger les territoires à forte densité de carbone et à haute valeur de conservation. Les décisions qui entourent le développement devront

être éclairées par une comptabilisation minutieuse du coût complet. Cette dernière devra prévoir les implications à long terme des activités d'affectation des sols, car elles peuvent entraîner l'émission de vastes quantités de carbone dont les effets se feront sentir pendant des décennies.

Les terres déjà engagées dans des activités industrielles offrent des occasions favorables pour l'atténuation des impacts et l'adaptation lorsqu'on leur applique les principes de gestion durable. Les produits de la forêt peuvent aider à atténuer les effets des changements climatiques lorsqu'on les utilise comme substitut à des produits à haute teneur en gaz à effet de serre (GES) tels le ciment et l'acier. Produire du bois d'œuvre à partir de forêts aménagées existantes plutôt que d'étendre les territoires de coupe aux forêts naturelles intactes peut concrétiser les bénéfices de carbone propres à la substitution tout en minimisant les impacts sur les entrepôts terrestres de carbone. La production de bois d'œuvre à partir de forêts aménagées existantes pourrait



Les espèces, telle la paruline rayée, profiteraient des efforts de conservation.



La Convention pour la conservation de la forêt boréale canadienne a été signée par des groupes environnementaux, les Premières Nations et des chefs de file de l'industrie.

WEBSITE: BOREALCANADA.CA

être accrue par le reboisement de terres agricoles marginales. Plus de soixante-dix-mille kilomètres carrés de forêt boréale canadienne ont été convertis à l'agriculture (Smith et coll. 2000), une affectation des sols qui réduit l'entreposage du carbone écosystémique par approximativement 50 % (Grunzweig et coll. 2004). La création de plantations sur une partie de ces terres converties emprisonnerait le carbone et produirait du bois d'œuvre qui pourrait se substituer aux produits à haute teneur en GES. Puis, si elles se trouvent à proximité des usines, elles pourraient réduire les émissions associées au transport du bois. L'apport pour la biodiversité pourrait être plus grand dans

les plantations que dans certaines terres agricoles et de plus, elles pourraient fournir l'approvisionnement en bois d'œuvre sans nécessiter l'expansion des activités forestières vers des forêts à haute teneur en carbone et à haute valeur de conservation. L'adoption des principes de gestion durables sur les terres des forêts naturelles aménagées réduira les impacts sur les entrepôts de carbone terrestre et aidera à maintenir la capacité des écosystèmes de la forêt boréale canadienne à s'adapter aux changements climatiques en réduisant les effets non reliés au climat.

Cette approche de protection à grande échelle de la forêt boréale canadienne,

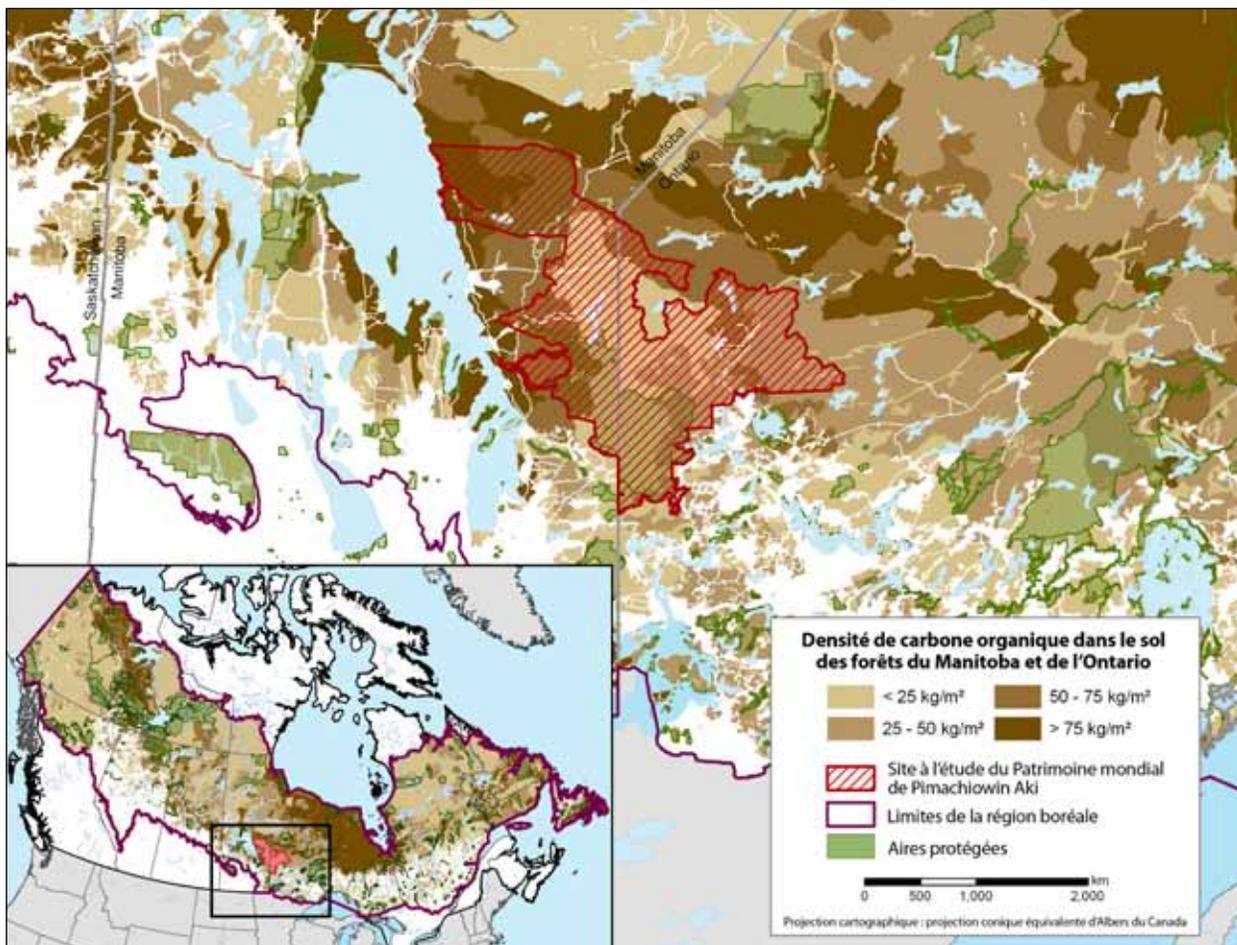
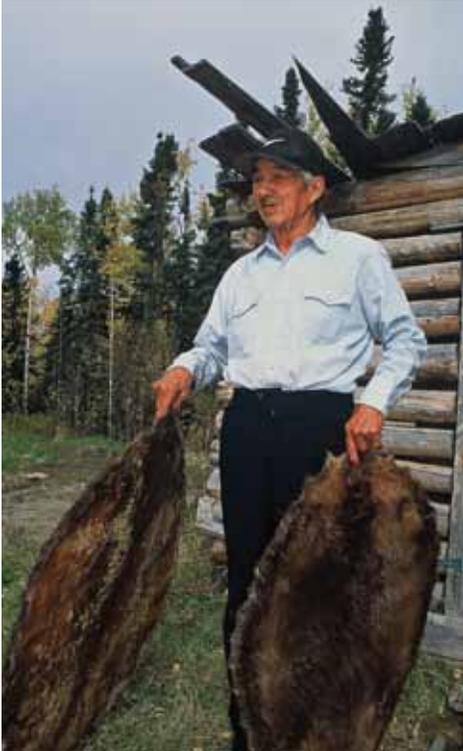


Figure 8. Site proposé du patrimoine mondial de l'UNESCO, suggéré par la société Pimachiowin Aki.

Source : Observatoire mondial de la forêt du Canada et Base de données numérique du carbone biologique de sol du Canada (1996).



Un aîné de la communauté Poplar River. Cette communauté fait partie du projet de site de l'UNESCO.

liée à une gestion durable, se trouve incarnée dans la Convention pour la conservation de la forêt boréale, une vision nationale pour la conservation de l'inaltération culturelle et écologique de la région de la forêt boréale canadienne (Convention). La Convention requiert l'implantation d'un réseau de vastes territoires protégés couvrant au moins la moitié de la région de la forêt boréale canadienne et l'utilisation de pratiques d'avant-garde en matière de développement durable dans les zones restantes. Cette approche équilibrée à la protection et à la gestion durable prend ses racines non seulement dans les meilleurs principes de la biologie de la conservation et de la planification de l'affectation des sols, mais, tel que décrit précédemment, elle est capable de maintenir l'atténuation des effets des changements climatiques et la capacité d'adaptation de l'un des écosystèmes les plus expansifs sur terre.

Les vingt organismes signataires engagés dans la Convention incluent des Premières Nations, des groupes de conservation, des entreprises de l'industrie des ressources et des institutions financières. Plus de 1 500 scientifiques de tous les pays et plus de 75 entreprises dont les revenus annuels combinés totalisent au-delà de 30 milliards de dollars soutiennent cette vision.

La Convention offre une réponse aux préoccupations soulevées par les politiques d'affectation des sols qui préconisent moins de 10 % de protection pour la région et qui sont nettement inadéquates pour traiter les menaces, dont l'exploitation accélérée des ressources et les changements climatiques. Les pratiques en vigueur dans la région de la forêt boréale canadienne sont insuffisantes pour la conservation de la biodiversité ou l'atténuation des effets des changements climatiques (Bradshaw et coll. 2009), et à peine 11 % du carbone terrestre canadien se trouvent désormais dans des aires protégées (Figure 9). Toutefois, les principes de la Convention sont reflétés dans les améliorations aux réseaux d'aires protégées et dans les pratiques de gestion durable dans la région. Les changements climatiques sont ouvertement cités comme étant à la base de plusieurs de ces avancées pour soutenir les efforts de conservation. Les gouvernements du Québec et de l'Ontario, par exemple, ont tous deux identifié la conservation du carbone terrestre comme faisant partie de leurs engagements pour protéger la moitié de la superficie de leur forêt boréale respective, une étendue dépassant les 725 000 kilomètres carrés.

Encadré 2. La protection des paysages culturels soutient les efforts mondiaux de conservation

Au cours de l'année 2002, quatre communautés voisines de Premières Nations au Manitoba et en Ontario ont émis un souhait commun, celui de protéger leurs valeurs culturelles et leurs terres traditionnelles. Ils partageaient la même intention de créer un site du patrimoine mondial de l'UNESCO sur la rive est du lac Winnipeg sur une zone de la forêt boréale de 40 000 kilomètres carrés (Fig. 8). Les gouvernements du Manitoba et de l'Ontario ont toutes deux donné leur appui à ce projet dont la candidature a franchi l'étape d'ébauche. Les partenaires ont créé la société Pimachiowin Aki Corporation et le Manitoba a annoncé récemment une contribution de 10 millions de dollars à un fonds en fiducie qui sera utilisé, de concert avec le statut de patrimoine mondial de l'UNESCO, pour faire progresser à long terme les soins que la communauté apporte à ses terres.

Cette étude de cas met en évidence un exceptionnel travail de collaboration et les multiples bienfaits de la conservation, en plus de la haute valeur écologique du projet de conservation dont fait partie l'habitat critique du caribou des bois menacé, les sols, les tourbières et les zones humides très riches en carbone. Les efforts pour réduire le déboisement et pour protéger les forêts riches en carbone peuvent coïncider avec les valeurs culturelles et écologiques de protection, et rendent cette protection plus réalisable sur le plan politique.

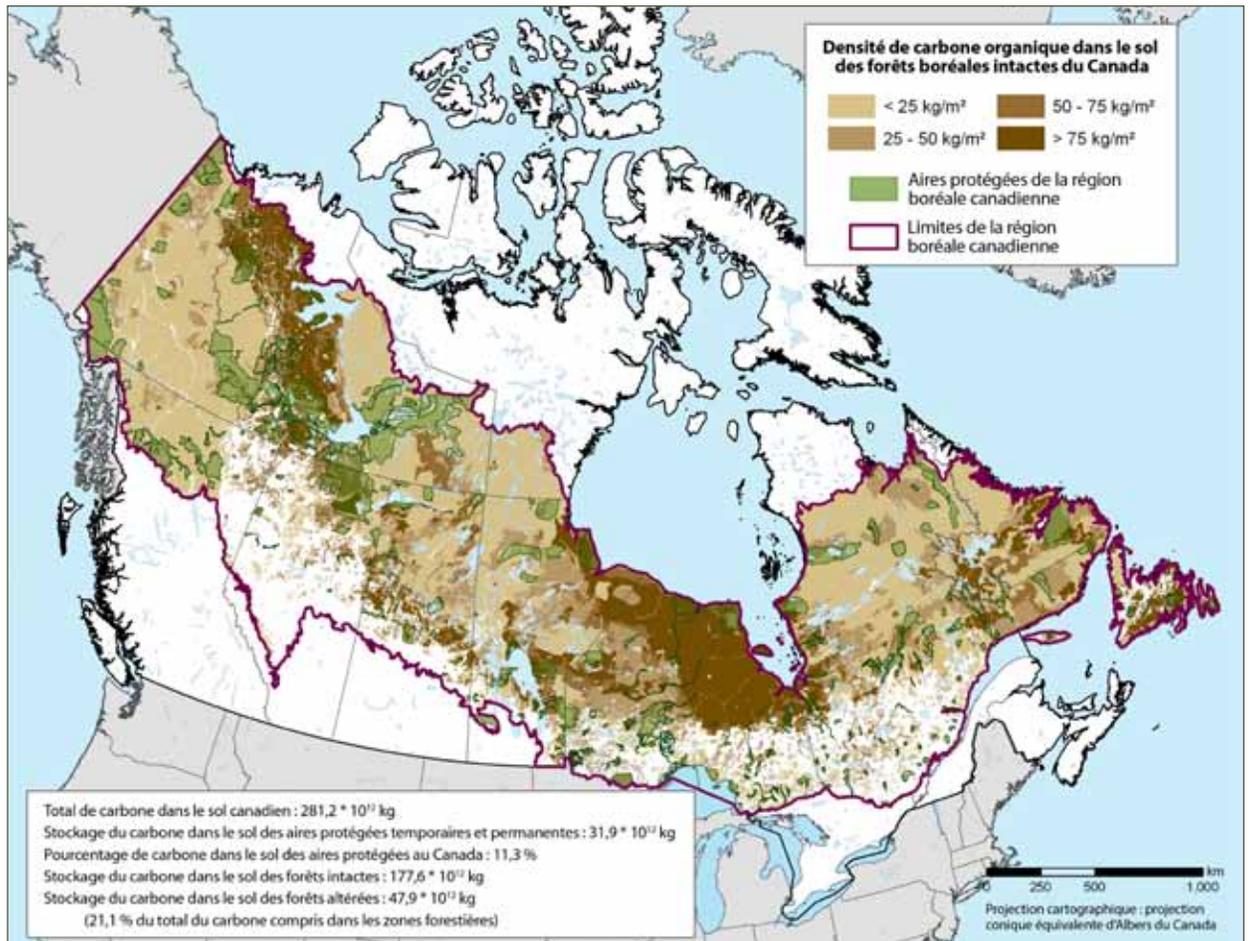


Figure 9. Les aires protégées et le stockage du carbone dans la forêt boréale du Canada. Près de 90 % du carbone terrestre canadien demeure à l'extérieur des aires protégées.

Source : Observatoire mondial de la forêt du Canada et Base de données numérique du carbone biologique de sol du Canada (1996).

Les gouvernements du Québec et de l'Ontario ont tous deux proposé la conservation du carbone terrestre comme base de leurs engagements pour protéger la moitié de la forêt boréale sur leur territoire, une étendue évaluée à plus de 725 000 kilomètres carrés.



Les tourbières font partie des écosystèmes les plus riches en carbone de la planète. Elles emmagasinent près de la moitié du dioxyde de carbone qu'on trouve dans l'atmosphère.

JEFF WELLS

Les implications sur les politiques

Les implications sur les Politiques

Quoique le Protocole de Kyoto (Protocole) ait marqué un pas en avant dans les politiques portant sur les changements climatiques, le Protocole comporte plusieurs manques au chapitre de la comptabilisation du carbone biotique. Toutefois, l'accord-cadre Utilisation des terres, modification de l'affectation des terres et foresterie (UTMATF), compris dans le Protocole, requiert légitimement de la part des signataires qu'ils rendent des comptes à propos des changements dans les zones forestières occasionnés par le déboisement, le boisement et le reboisement. Il n'est cependant pas requis d'inclure la gestion des activités d'exploitation des forêts et plusieurs pays, dont le Canada, ont choisi de l'exclure. Les règles du Protocole de Kyoto concernant la gestion forestière demandent que les pays fassent le bilan des changements apportés au carbone forestier non seulement à la suite des activités humaines, mais également à la suite de perturbations

naturelles. Évidemment, plusieurs pays ont été réticents à endosser le risque du carbone associé aux incendies de forêt et aux épidémies d'insectes, un risque qu'on s'attend à voir grandir au fil des ans. Par conséquent, le Protocole n'offre pas de mesures incitatives pour le Canada, ni pour plusieurs autres pays, en ce qui concerne la conservation des forêts et l'adoption de pratiques de gestion durable bénéfiques au carbone biotique. L'absence des tourbières dans le Protocole représente une carence additionnelle digne de mention. Ainsi, le Protocole ne crée aucune incitation à la conservation des tourbières, ces écosystèmes les plus riches en carbone de toute la planète.

Les protocoles sur les changements climatiques à venir doivent encourager une meilleure intendance des quantités massives de carbone emmagasinées dans les écosystèmes forestiers et les tourbières. En tout premier lieu, il importe que les pays prennent des engagements ambitieux relativement à la réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre. Les écosystèmes nordiques, tels ceux de la forêt

Les écosystèmes nordiques, tels ceux de la région de la forêt boréale canadienne, subissent déjà les effets accélérés des changements climatiques, et l'urgence des réductions d'émissions se fait sentir pour éviter la catastrophe.



GARTH LENZ



GARTH LENZ

Les protocoles sur les changements climatiques à venir doivent être mieux pourvus pour soutenir l'intendance des énormes quantités de carbone emmagasinées dans les écosystèmes forestiers et les tourbières.

boréale canadienne, subissent déjà les effets accélérés des changements climatiques; c'est ainsi que les réductions d'émissions sont requises d'urgence pour éviter la catastrophe. Cependant, avec la taille des stocks de carbone biotique, les futurs protocoles ne peuvent se permettre de trouver des solutions partielles aux impacts causés par l'utilisation des sols. Deux modifications simples au protocole pourraient avoir des effets bénéfiques à grande portée : 1) l'inclusion du carbone contenu dans les tourbières; 2) la comptabilisation obligatoire de toutes les émissions de carbone provenant de la gestion des forêts, sans l'obligation de comptabiliser les émissions causées par les perturbations naturelles. Ces seuls changements provoqueraient de grandes améliorations dans la gestion du carbone biotique. Plusieurs de ces améliorations seraient liées à la conservation et à la gestion durable et elles contribueraient également à maintenir la capacité des écosystèmes de s'adapter aux changements climatiques. Il est possible, toutefois, que certaines atténuations suscitées par des politiques aussi complexes qu'une entente sur les changements climatiques puissent avoir des effets négatifs sur l'inaltération des écosystèmes et réduire leur capacité à s'adapter. Les ententes post-2012 devraient nous prémunir de ces activités contre-productives en exigeant que les projets de carbone biotique aient un effet positif ou neutre sur la biodiversité et sur les écoservices afin qu'ils puissent maintenir leur capacité à s'adapter.⁶

Quoique les changements à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques soient essentiels à la formulation de solutions pour contrer lesdits changements climatiques, plusieurs autres actions sont en cours pour aider à réduire les émissions de gaz à effet de serre et pour s'assurer de la protection du carbone stocké dans les écosystèmes terrestres. Ces actions comportent

des stratégies régionales d'échange de droits d'émission de carbone réglementées et volontaires, telles la *European Union Emission Trading System*, la *Australian New South Wales Market*, et en Amérique du Nord, la *Western Climate Initiative*, ainsi que la *Regional Greenhouse Gas Initiative*. Plusieurs des stratégies émergentes incluent, ou considèrent, des façons d'inclure le boisement, le reboisement, le déboisement évité, ou d'autres options de gestion d'affectation des sols qui protègent le carbone existant, ou augmentent l'emprisonnement du carbone. Ces mécanismes politiques ainsi que plusieurs autres devraient reconnaître de manière formelle l'importance de maintenir intacts les entrepôts de carbone de la région de la forêt boréale canadienne et dans les autres écosystèmes terrestres tout en stimulant la protection et la conservation de vastes écosystèmes riches en carbone.

Le rôle crucial de la forêt boréale canadienne dans les changements climatiques futurs de la Terre fait l'objet d'une prise de conscience de plus en plus répandue. La région boréale, dont fait partie la forêt boréale canadienne, demeure le plus vaste entrepôt mondial de carbone terrestre et le biome le plus intact. Elle est ainsi dans une position unique pour contribuer à l'atténuation et à l'adaptation aux changements climatiques. Au même moment, les écosystèmes nordiques subissent le taux de changement climatique le plus rapide sur la planète. Quoique considérée comme une région éloignée, la région de la forêt boréale canadienne est à l'avant-plan de la bataille contre les changements climatiques. Le besoin de politiques, qui comportent une nouvelle entente internationale sur les changements climatiques mariant la science au potentiel d'atténuation et d'adaptation de cette région, se fait sentir de manière urgente.

⁶ Un prérequis pour l'obtention d'effets positifs ou neutres sur la biodiversité pourrait être atteint par des règles simples, mais efficaces. Par exemple, les directives suivantes qui portent sur les projets de carbone biotique sont basées sur la pertinence d'options d'atténuation dans des contextes de paysages variés, identifiés par le secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2009) : a) la conservation de la forêt est le seul projet admissible au sein d'une forêt intacte existante; b) le boisement et le reboisement sont appropriés dans des paysages qui ont été déboisés ou détériorés; c) la gestion de la forêt, la restauration et la conservation qui visent le maintien ou l'augmentation des stocks de carbone sont appropriées dans les forêts naturelles modifiées ou dans les plantations.

Bibliographie

- Anielski, M., et S. Wilson. Les Chiffres qui comptent vraiment : évaluation de la valeur réelle du capital naturel et des écosystèmes boréaux du Canada. Initiative boréale canadienne et Institut Pembina. 2009.
- Balshi, M.S., A.D. McGuire, P. Duffy, M. Flannigan, J. Walsh, et J. Melillo. Assessing the response of area burned to changing climate in western Boreal North America using a Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) approach. *Global Change Biology* 15 : 578-600. 2009.
- Battin, T.J., S. Luysaert, L.A. Kaplan, A.K. Aufdenkampe, A. Richter, et L.J. Tranvik. The boundless carbon cycle. *Nature Geoscience* 2 : 598-600. 2009.
- Bayley, S.E., D.W. Schindler, B.R. Parker, M.P. Stainton, et K.G. Beaty. Effects of forest fire et drought on acidity of a base-poor boreal forest stream : similarities between climatic warming and acidic precipitation. *Biogeochemistry* 17 : 191-204. 1992.
- Beier, P., et R.F. Noss. Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology* 12(6) : 1241-1252. 1998.
- Blancher, P. The Importance of Canada's Boreal Forest to Landbirds. Initiative boréale canadienne et Boreal Songbird Initiative. 2003.
- Blancher, P. et J.V. Wells. La Région Boréale: La crèche d'oiseaux de l'Amérique du nord. Boreal Songbird Initiative, Initiative boréale canadienne et Bird Studies Canada. 2005. 10 pp.
- Both, C., Bouwhuis, S., Lessells, C.M. et M.E. Visser. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441, 81–83. 2006.
- Bradshaw, C.J.A., I.G. Warkentin, et N.S. Sodhi. Urgent preservation of boreal carbon stocks and biodiversity. *Trends in Ecology and Evolution* 24 : 541-548. 2009.
- Conseil canadien des ministres des forêts. Abrégé des statistiques forestières canadiennes. 2008. (17 July 2009, <http://nfdp.ccfm.org>).
- Carlson, M., J. Chen, S. Elgie, C. Henschel, A. Montenegro, N. Roulet, N. Scott, C. Tarnocai, et J. Wells. Submitted for publication. Maintaining the Role of Canada's Forests and Peatlands in Climate Regulation.
- Chapin, F.S., K. Danell, T. Elmqvist, C. Folke, et N. Fresco. Managing climate change impacts to enhance the resilience and sustainability of Fennoscandian Forests. *Ambio* 36(7) : 528-533. 2007.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioac, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr et P. Whetton, 2007 : Regional Climate Projections. Dans : Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éditeurs). *Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques*.
- Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
- Résumé à l'intention des décideurs, . Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, É-U.
- Chen, J.M., W. Ju, J. Cihlar, D. Price, J. Liu, W. Chen, J. Pan, T. A. Black, et A. Barr. Spatial distribution of carbon sources and sinks in Canada's forests. *Tellus B* 55(2) : 622-642. 2003.
- Collingham, Y.C., et B. Huntley. Impacts of habitat fragmentation and patch size upon migration rates. *Ecological Applications* 10 : 131-144. 2000.
- Crozier, L. Warmer winters drive butterfly range expansion by increasing survivorship. *Ecology* 85 : 231-241. 2004.
- Cyr, D., S. Gauthier, Y. Bergeron, et C. Carcaillet. Forest management is driving the eastern North American boreal forest outside its natural range of variability. *Frontiers in Ecology and the Environment*. doi : 10.1890/080088. 2009.
- Davis, M.B., et R.G. Shaw. Range shifts and adaptive responses to quaternary climate change. *Science* 292(5517). 2001.
- Dise, N.B. Peatland response to global change. *Science* 326 : 810-811. 2009.
- Energy Information Administration. International Energy Outlook 2009. U.S. Department of Energy. (19 October 2009 <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/emissions.html>). 2009.
- Environnement Canada. 2008a. Prendre le virage : Système canadien de crédits compensatoires pour les gaz à effet de serre. (16 July 2009 http://www.ec.gc.ca/doc/virage-corner/2008-03/526_fra.htm).
- Environnement Canada. 2008b. Examen scientifique aux fins de la désignation de l'habitat essentiel de la population boréale du caribou des bois (Rangifer tarandus caribou) au Canada. Août 2008. Ottawa : Environnement Canada. 72 pp. plus 180 pp Appendices.
- Environnement Canada. n.d. Inventaire canadien des gaz à effet de serre pour 2007. Résumé des tendances (le 28 juin 2009 http://www.ec.gc.ca/pdb/ghg/inventory_report/2007/som-sum_fra.cfm).
- Ferreira de Siqueira, M., A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A.S. Van Jarrveld, G.F. Midgley, L. Miles, M.A. Ortega-Huerta, A.T. Peterson, O.L. Phillips, et S.E. Williams. Extinction risk from climate change. *Nature* 427 : 145-148. 2004.
- Flannigan, M.D., K.A. Logan, B.D. Amiro, W.R. Skinner, et B.J. Stocks. Future area burned in Canada. *Climatic Change* 72 : 1-16. 2005.
- Frolking, S. et N.T. Roulet. Holocene radiative forcing impact of northern peatland carbon accumulation and methane emissions. *Global Change Biology* 13 : 1079-1088. 2007.
- Gorham, E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications* 1(2) : 182-195. 1991.
- Grunzweig, J.M., S.D. Sparrow, D. Yakir, et F.S. Chapin III. The impact of agricultural land-use change on carbon storage in boreal Alaska. *Global Change Biology* 10 : 452-472. 2004.
- Hansen, J., et coll. Climate forcings in Goddard Institute for Space Studies SI2000 simulations. *Journal of Geophysical Research* 107(D18), 4347, doi : 10.1029/2001JD001143. 2002.

- Hickling, R., D.B. Roy, J.K. Hill, R. Fox, et C.D. Thomas. The distributions of wide-ranging taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology* 12 : 450-455. 2006.
- Hitch, A.T. et P.L. Leberg. Breeding distributions of North America bird species moving North as a result of climate change. *Conservation Biology* 21 : 534-539. 2007.
- Hobson, K.A., E.M. Bayne, et S.L. van Wilgenburg. Large-scale conversion of forest to agriculture in the boreal plains of Saskatchewan. *Conservation Biology* 16(6) : 1530-1541. 2002.
- Huntley, B., R.E. Green, Y.C. Collingham, et S.G. Willis. A climatic atlas of European breeding birds. The RCBP and Lynx Edicions. Durham University. Barcelone. 2007.
- Innes, J., L.A. Joyce, S. Kellomaki, B. Louman, A. Ogden, J. Parrotta, I. Thompson, M. Ayres, C. Ong, H. Santoso, B. Sohngen, et A. Wreford. Management for adaptation. Dans : R. Seppala, A. Buck, P. Katila (éditeurs). *Adaptation of Forests and People to Climate Change. A Global Assessment Report. IUFRO World Series Volume 22.* Helsinki, Finlande. 2009.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). *Land Use, Land-Use Change and Forestry.* R.T. Watson, I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D.J. Verardo, et D.J. Dokken (éditeurs). Cambridge University Press, Cambridge, R.-U.. 2000.
- GIEC. *Climate Change and Biodiversity.* H. Gitay, A. Suarez, R.T. Watson, et D.J. Dokken (éditeurs). IPCC Technical Paper V. Cambridge University Press, Cambridge, R.-U.. 2002.
- GIEC. Summary for policymakers. Dans : S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éditeurs). *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* Cambridge University Press, Cambridge, New York, NY, USA. 2007.
- IUCN. Énoncé de position [en anglais] : UNFCCC Climate Change Talks, juin 2009. Disponible à l'adresse : http://cmsdata.iucn.org/downloads/iucn_position_paper_eba_june_09_3.pdf
- Jenkins, C.N. et L. Joppa. Expansion of the global terrestrial protected area system. *Biological Conservation* 142 : 2166-2174. 2009.
- Kharouba, H.M., A.C. Algar, et J.T. Kerr. Historically calibrated predictions of butterfly species' range shift using global change as a pseudo-experiment. *Ecology* 90(8) : 2213-2222. 2009.
- Kasischke, E.S. Boreal ecosystems in the global carbon cycle. Dans : Kasischke, E.S., et B.J. Stocks (éditeurs). *Fire, Climate Change and Carbon Cycling in the Boreal Forest. Ecological Studies Series,* Springer-Verlag, New York. 2000.
- Kurz, W.A., S.J. Beukema et M.J. Apps. Carbon budget implications of the transition from natural to managed disturbance regimes in forest landscapes. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2 : 405-421. 1998.
- Kurz, W.A., et M.J. Apps. A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector. *Ecological Applications* 9 : 526-547. 1999.
- Kurz, W.A., C.C. Dymond, G. Stinson, G.J. Rampley, E.T. Neilson, A.L. Carroll, T. Ebata, et L. Safranyik. 2008a. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature* 452 : 987-990.
- Kurz, W.A., G. Stinson, G.J. Rampley, C.D. Dymond, et E.T. Neilson. 2008b. Risk of natural disturbances makes future contribution of Canada's forests to the global carbon cycle highly uncertain. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 : 1551-1555.
- Laberté, A.S. et W.J. Ripple. Range contractions of North American carnivores and ungulates. *Bioscience* 54 : 123-138. 2004.
- Lee, P., et R. Cheng. Bitumen and Biocarbon. *Global Forest Watch Canada.* 2009.
- Leroux, S.J., Schmiegelow, F.K.A., Lessard, R.B., et S.G. Cumming. Minimum dynamics reserves: A framework for determining reserve size in ecosystems structured by large disturbances. *Biological Conservation* 138 : 464-473. 2007.
- Lindenmayer, D.B. et J.F. Franklin. *Conserving Forest Biodiversity: A Comprehensive Multiscaled Approach.* Island Press, Washington, D.C. 2002.
- Luyssaert, S., E. Detlef Schulze, A. Börner, A. Knohl, D. Hessenmoller, B.E. Law, P. Ciais, et J. Grace. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213-215. 2008.
- Malcolm, J.R., et A. Markham. *Global Warming and Terrestrial Biodiversity Decline.* WWF, Gland, Suisse. 34 p. 2000.
- Mathews, S.N., R.J. O'Connor, L.R. Iverson, et A.M. Prasad. *Atlas of Climate Change Effects in 150 Bird Species of the Eastern United States.* Gen. Tech. Rep. NE-318. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, Newton Square, PA. 340 pp. 2004.
- Mawdsley, J.R., R. O'Malley, et D.S. Ojima. A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation Biology* 23(5) : 1080-1089.
- McKenney, D.W., J.H. Pedlar, K. Lawrence, K. Campbell, et M.F. Hutchinson. Potential impacts of climate change on the distribution of North American trees. *BioScience* 57(11) : 939-948. 2007.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver et Z.-C. Zhao, 2007 : *Global Climate Projections.* Dans : Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éditeurs). *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, USA.
- Montenegro, A., M. Eby, Q. Mu, M. Mulligan, A.J. Weaver, E.C. Wiebe, et M. Zhao. In press. The net carbon drawdown of small scale afforestation from satellite observations. *Global and Planetary Change*

- Morissette, J. L., S.M. Slattery, et G.G. Mack. sous presse. Science needs and approaches for waterfowl conservation planning in the Western Boreal forest. Dans : J.V. Wells (ed.). *Boreal Birds of North America : A Hemispheric View of their Conservation Links and Significance*. Studies in Avian Biology. National Audubon Report. Birds and Climate Change: Ecological Disruption in Motion. Washington D.C. 2009. Disponible en ligne à l'adresse : <http://birdsandclimate.audubon.org/>
- Noss, R.F. Beyond Kyoto: forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology* 15(3) : 578-590. 2001.
- Parmesan, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37:637-669. 2006.
- Parmesan, C. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology* 13 :1860-1872. 2007.
- Pimm, S.L. Climate disruption and biodiversity. *Current Biology* 19(14): R595-R601. 2009.
- Post, E., et M.C. Forchhammer. Climate change reduces reproductive success of an Arctic herbivore through trophic mismatch. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363 : 2369-2375. 2008.
- Reist, J.D., F.J. Wrona, T.D. Prowse, M. Power, J.B. Dempson, R.J. Beamish, J.R. King, T.J. Carmichael, et C.D. Sawatzky. Climate change impacts on arctic freshwater ecosystems and fisheries. *Ambio* 35(7) : 370-380. 2006.
- Riordan, B. et D. Verbyla. Shrinking ponds in subarctic Alaska based on 1950-2002 remotely sensed images. *Journal of Geophysical Research* 11: G04002, doi : 10.1029/2005JG000150, 2006. 2006.
- Root, T.L., et S.H. Schneider. Climate Change: Overview and Implications for Wildlife. Dans : S.H. Schneider et T.L. Root (éditeurs). *Wildlife Responses to Climate Change : North American Case Studies*. Island Press, Covelo, CA. 2002.
- Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig, et A. Pounds. Fingerprints of Global Warming on Wildlife Animals and Plants. *Nature* 421 : 57-60. 2003.
- Root, T.L. et L. Hughes. Present and Future Phenological Changes in Wild Plants and Animals. Dans : T.E. Lovejoy et L. Hannah éditeurs *Climate Change and Biodiversity*. Yale University Press. 2005.
- Ruckstuhl, K.E., E.A. Johnson, et K. Miyanishi. Introduction: The Boreal Forest and Climate Change. *Philosophical Transactions of Royal Society B*. 363(1501) : 2243-2247. 2008.
- Sakai, A., F.W. Allendorf, J.S. Holt, D.M. Lodge, J. Molofsky, K.A. With, S. Baughman, R.J. Cabin, J.E. Cohen, N.C. Ellstrand, D.E. McCauley, P. O'Neil, I.M. Parker, J.N. Thompson, et S.G. Weller. The population biology of invasive species. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32:305-332. 2001.
- Salick, J. et N. Ross. Traditional peoples and climate change. *Global Environmental Change* 19 : 137-139. 2009.
- Schindler, D.W. et J.P. Smol. Cumulative effects of climate warming and other human activities on freshwaters of Arctic and Subarctic North America. *Ambio* 35(4) : 160-168. 2006.
- Schuur, E.A.G., J. Bockheim, J.G. Canadell, E. Euskirchen, C.B. Field, S.V. Goryachkin, S. Hagemann, P. Kuhry, P.M. Lafleur, H. Lee, G. Mazhitov, F.E. Nelson, A. Rinke, V.E. Romanovsky, N. Shiklomanov, C. Tarnocai, S. Venevsky, J.G. Vogel et S.A. Zimov. Vulnerability of permafrost carbon to climate change: implications for the global carbon cycle. *Bioscience*. 58(8) : 701-714. 2008.
- Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique. *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*, CBD Technical Series No. 41. Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, Montréal. 126 pp. 2009.
- Smith, W. et coll. *Canada's Forests at a Crossroads: An Assessment in the Year 2000*. World Resources Institute and Global Forest Watch Canada. 2000. www.globalforestwatch.org.
- Summers, W.H., et O.W. Archibold. Exotic plant species in the southern boreal forest of Saskatchewan. *Forest Ecology and Management* 251 : 156-163. 2007.
- Tarnocai, C. The effect of climate change on carbon in Canadian peatlands. *Global and Planetary Change* 53 : 222-232. 2006.
- Tarnocai, C., J.G. Canadell, E.A.G. Schuur, P. Kuhry, G. Mazhitova, et S. Zimov. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Global Biogeochemical Cycles* 23, GB2023, doi : 10.1029/2008GB003327. 2009.
- Thomas, C.D. et J.J. Lennon. Birds extend their ranges northwards. *Nature* 399 : 213. 1999.
- Thompson, I., B. Mackey, S. McNulty, et A. Mosseler. Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, Montréal. Technical Series no. 43. 2009.
- Turetsky, M.R., R.K. Wieder, D.H. Vitt, R.J. Evans, et K.D. Scott. The disappearance of relict permafrost in boreal North America: Effects on peatland carbon storage and fluxes. *Global Change Biology* 13 : 1-13. 2007.
- Visser, M. E., A.J. Van Noordwijk, J.M. Tinbergen, et C.M. Lessells. Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). *Proceedings of Royal Society B* 265 : 1867-1870. 1998.
- Visser, M.E., L.J.M. Holleman, et P. Gienapp. Shifts in caterpillar biomass phenology due to climate change and its impact on the breeding biology of an insectivorous bird. *Oecologia* 147 : 164-172. 2006.
- Waite, T.A. et D. Strickland. Climate change and the demographic demise of a hoarding bird living on the edge. *Proceedings of Biological Sciences* 273 : 2809-2813. 2006.
- Weaver, A. *Keeping Our Cool: Canada in a Warming World*. Viking Canada, Toronto. 323 pp. 2008.
- Wigley, T.M.L. The climate change commitment. *Science* 307(5716) : 1766-1769. 2005.
- Woo, M., R. Thorne, K. Szeto, et D. Yang. Streamflow hydrology in the boreal region under the influence of climate and human interference. *Philosophical Transaction Royal Society B*. 363 : 2251-2260. 2008.

