



Vulnérabilité des arbres du Canada aux changements climatiques

et propositions de mesures visant leur adaptation : un aperçu destiné
aux décideurs et aux intervenants du monde forestier



VULNÉRABILITÉ DES ARBRES DU CANADA AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET PROPOSITIONS DE MESURES VISANT LEUR ADAPTATION

Un aperçu destiné aux décideurs et aux intervenants du monde forestier

Auteur principal :

M. Johnston (Saskatchewan Research Council)

Auteurs collaborateurs :

M. Campagna (ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec), P. Gray (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario), H. Kope, (B.C. Ministry of Forests and Range), J. Loo (Ressources naturelles Canada), A. Ogden (Yukon Forest Management Branch), G.A. O'Neill (B.C. Ministry of Forests and Range), D. Price (Ressources naturelles Canada) et T. Williamson (Ressources naturelles Canada)

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Johnston, Mark H. (Mark Harvey), 1953-

Vulnérabilité des arbres du Canada aux changements climatiques et propositions de mesures visant leur adaptation : un aperçu destiné aux décideurs et aux intervenants du monde forestier

Publ. aussi en anglais sous le titre : Vulnerability of Canada's Tree Species to Climate Change and Management Options for Adaptation: An Overview for Policy Makers and Practitioners

La photo du bas de la page couverture : pépinière Red Rock par Lorraine Maclauchlan.

Comprend des réf. bibliogr.

ISBN 978-1-100-92124-2

N° de cat. : Fo4-28/2009F (Imprimé)

Également disponible sur l'Internet.

ISBN 978-1-100-92687-2

N° de cat. : Fo4-28/2009F-PDF (En ligne)

1. Forêts – Gestion – Aspect de l'environnement – Canada.
2. Arbres – Variétés – Aspect de l'environnement – Canada.
3. Biodiversité forestière – Aspect de l'environnement – Canada.
4. Climat – Changements – Canada.
5. Politique forestière – Canada.

I. Conseil canadien des ministres des forêts

SD387 E85 J6314 2009 634.9'20971 C2009-980300-3



Imprimé sur papier recyclé



T ABLE DES MATIÈRES

| | | | |
|--|----|---|----|
| REMERCIEMENTS | 2 | OPTIONS D'AMÉNAGEMENT | 33 |
| RÉSUMÉ | 3 | Reboisement | 34 |
| INTRODUCTION | 9 | Conservation de la diversité génétique | 36 |
| RÉPARTITION ACTUELLE DES ESSENCES FORESTIÈRES DU CANADA | 10 | Maintien de la productivité des essences | 37 |
| EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ESSENCES | 13 | Maintien de la santé des forêts | 37 |
| Inadaptation | 15 | Amélioration de la capacité d'adaptation | 38 |
| Facteurs stationnels | 15 | LACUNES DANS LES CONNAISSANCES | 39 |
| Synchronisme phénologique | 16 | CONCLUSIONS | 41 |
| Réactions physiologiques des arbres | 16 | Principales constatations et leurs incidences sur l'aménagement | 41 |
| Régénération | 18 | Besoins en matière de recherche sur les essences | 42 |
| Migration | 18 | Prochaines étapes : passer des arbres à la forêt et au secteur forestier | 44 |
| Modélisation du déplacement des aires de répartition des essences | 19 | ANNEXE I. ESSENCES FORESTIÈRES D'INTÉRÊT COMMERCIAL AU CANADA | 45 |
| Adaptation des essences | 21 | ANNEXE 2. AUTRES RESSOURCES | 46 |
| Perturbations | 22 | LÉGENDES ET SOURCES DES IMAGES | 47 |
| Perturbations d'origine abiotique | 22 | | |
| Insectes et pathogènes | 23 | | |
| ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DES ESSENCES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 28 | | |
| Tendances et prévisions du climat | 28 | | |
| Évaluation des menaces | 30 | | |
| Les arguments en faveur de l'adaptation humaine | 32 | | |





REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient de leurs conseils les membres du Groupe d'étude sur les changements climatiques du CCMF, soit Stan Kavalinas et Evelynne Wrangler (Alberta), Kathy Hopkins et Jim Snetsinger (Colombie-Britannique), Darcie Booth, Kelvin Hirsch et Tim Sheldon (Canada), Jocelyn Baker (Manitoba), Mike Bartlett (Nouveau-Brunswick), Ivan Downton et Wayne Kelly (Terre-Neuve-et-Labrador), Tom Lakusta (Territoires du Nord-Ouest), Jorg Beyeler et Ed MacAulay (Nouvelle-Écosse), Dan McAskill (Île-du-Prince-Édouard), Dwayne Dye (Saskatchewan) et Shelley Webber (anciennement du Service canadien des forêts), ainsi que les nombreux chercheurs et aménagistes consultés au sujet des sources de vulnérabilité des essences forestières canadiennes et les nombreuses personnes des différentes administrations pour leurs précieuses contributions techniques et rétroactions à l'égard de ce rapport. Nous tenons aussi à remercier les différentes administrations de leur soutien financier.

RÉSUMÉ

CONTEXTE

Au cours des prochaines décennies, les conditions climatiques régnant dans les forêts du Canada se déplaceront vers le nord à un rythme qui dépassera probablement la capacité de migration des essences individuelles. La plupart des essences peuvent migrer naturellement de quelques centaines de mètres par année grâce à la dissémination de leurs graines, mais les conditions climatiques propices à la croissance de chacune d'elles peuvent se déplacer chaque année de plusieurs milliers de mètres vers le nord. Les forêts canadiennes abritent au-delà d'une centaine d'essences d'arbres, dont 93 sont d'intérêt commercial. Les essences forestières du Canada sont vulnérables aux changements climatiques en raison de la sensibilité des arbres au climat, et il est désormais hors de doute que des changements climatiques importants se poursuivront au cours du prochain siècle. En fait, les effets des changements climatiques sur les essences forestières se font déjà sentir. Ainsi, la sécheresse a provoqué une mortalité considérable chez le peuplier faux-tremble dans le sud de la forêt boréale de l'Alberta et de la Saskatchewan, et des hivers plus chauds ont favorisé une épidémie du dendroctone du pin ponderosa qui va détruire vraisemblablement plus des trois-quarts des bois de pin de la Colombie-Britannique d'ici 2015. Même s'il faut s'attendre à ce que les changements climatiques aient un effet global net négatif sur les essences forestières d'intérêt commercial du Canada, ils peuvent aussi stimuler la croissance des arbres dans certaines régions.

Des modifications des politiques et des pratiques d'aménagement forestier sont des mesures d'adaptation susceptibles de réduire la vulnérabilité des essences aux changements climatiques. Toutefois, avant que le processus d'adaptation ne puisse débuter, il convient de comprendre comment et où se manifeste cette vulnérabilité et déterminer les options d'adaptation viables.

Le présent rapport a pour objet de fournir une évaluation nationale systématique :

- de la vulnérabilité des essences aux changements climatiques;
- des répercussions sur l'aménagement et des options;
- des lacunes dans nos connaissances sur la vulnérabilité des essences et sur leur adaptation.

EFFETS GÉNÉRAUX DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ESSENCES

Les changements climatiques auront des effets persistants, cumulatifs et interactifs sur les essences. Par exemple, les arbres stressés par des changements dans les conditions du milieu (tels que le développement de déficits en eau) seront plus vulnérables aux insectes et aux maladies dont l'activité s'accroît avec l'évolution des conditions climatiques. Les nombreuses interactions et rétroactions dans le cycle de vie d'un arbre accentuent la complexité des effets des changements climatiques. À terme, seule une approche globale, intégrée et systémique qui tienne compte de tous les facteurs et de leurs interactions permettra de comprendre ce qui rend les arbres vulnérables aux changements climatiques et quels sont les meilleurs moyens de les aider à s'adapter.

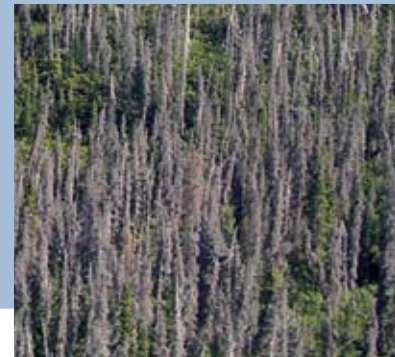
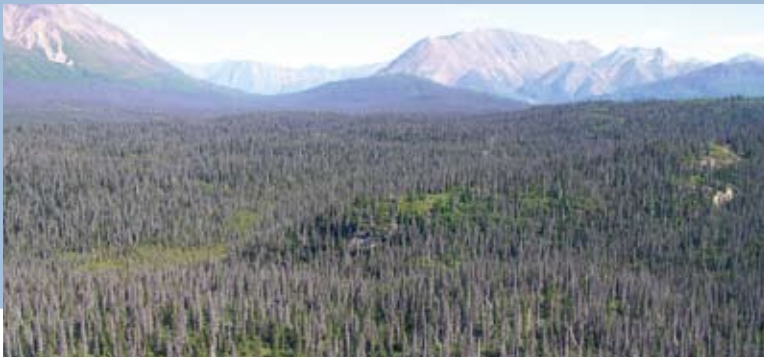
Les changements climatiques entraîneront des modifications des microclimats, des conditions stationnelles locales, des perturbations (p. ex. incendies, insectes, maladies, sécheresse, tempêtes violentes), de la phénologie (c.-à-d., la chronologie des phénomènes biologiques saisonniers en relation avec le climat) et de la répartition, de l'abondance et des interactions

des espèces envahissantes avec l'écosystème. Tous ces bouleversements risquent d'exacerber la mortalité des arbres et de modifier les rapports compétitifs entre les espèces (y compris la possibilité d'introduction d'espèces exotiques). Les essences et les géotypes s'acclimateront, s'adapteront et migreront, mais dans de nombreux cas, le rythme et l'ampleur de l'évolution future du climat pourraient dépasser significativement la capacité d'adaptation naturelle des essences. Elles risquent donc de devenir de moins en moins bien adaptées à leur environnement. Les effets généraux des changements climatiques sur les essences se feront notamment sentir avec le temps sur :

- le succès de la régénération;
- la santé des forêts (p. ex. vigueur réduite, inadaptation et mortalité accrue);

VULNÉRABILITÉ DES ESSENCES FORESTIÈRES CANADIENNES

Les essences commerciales sont menacées par les changements climatiques dans toutes les régions, mais certaines régions sont plus vulnérables que d'autres. Le réchauffement le plus important s'observera dans les régions du centre et du nord du Canada, qui sont dominées par la forêt boréale. Les essences de la forêt boréale du Nord sont très bien adaptées aux climats froids. Les essences nordiques, comme l'épinette blanche et l'épinette noire, sont gravement menacées par la fréquence accrue des incendies, par le dégel du pergélisol et par l'incapacité d'adaptation des arbres. Par ailleurs, les forêts du Nord ne sont pas densément peuplées, et les essences qui les composent ont une valeur commerciale relativement faible.



- la productivité (effets positifs à certains endroits et négatifs à d'autres);
- le volume de bois sur pied (en raison de la fréquence, de l'intensité et de la durée accrues des perturbations et des zones perturbées);
- les aires de répartition des essences, la composition forestière, la répartition des classes d'âge et la structure de la forêt à un endroit donné, au fil des ans.

C'est pourquoi les investissements dans des mesures d'adaptation seront vraisemblablement peu élevés. Les principaux facteurs menaçant la forêt boréale du Sud sont la sécheresse (notamment les périodes de sécheresse intense) et la fréquence accrue d'incendies. Des inquiétudes ont été exprimées sur le risque de dissémination du dendroctone du pin ponderosa dans les forêts de pins gris à l'Est du Canada. Cependant, les experts doutent que ce scénario se concrétise parce que les peuplements de pins gris n'ont peut-être pas une densité suffisante pour permettre la

prolifération des populations de dendroctones du pin ponderosa pouvant causer une infestation à grande échelle, même si le climat se réchauffait suffisamment pour permettre leur survie durant l'hiver. Alors que les forêts boréales du Nord et du Sud-ouest sont très vulnérables au réchauffement climatique, les parties centrales et orientales la région forestière boréale le sont moins, car les probabilités de déficit hydrique y sont plus faibles. Il n'en reste pas moins qu'il faut tenir compte des changements climatiques lors de la prise de décisions sur la régénération de la forêt boréale en raison des risques d'inadaptation et de perturbations accrues.

La région de la Cordillère montagnarde du centre de la Colombie-Britannique pourrait voir disparaître des écosystèmes alpins à mesure que l'altitude de la limite des arbres augmentera. Le couvert forestier risque de diminuer dans les secteurs secs de l'intérieur méridional de cette province. Les perturbations (causées par le feu, les insectes, la sécheresse, des phénomènes météorologiques extrêmes) augmenteront dans l'ensemble de la région montagnarde, mais des gains de productivité sont susceptibles de se produire — du moins jusqu'en 2050 — dans les portions septentrionales de la région parce que l'humidité ne devrait pas y être un facteur limitant. La forêt montagnarde méridionale est extrêmement vulnérable au réchauffement du climat, tandis que la forêt montagnarde septentrionale l'est modérément.

La région maritime du Pacifique, les plaines à forêts mixtes et la région maritime de l'Atlantique risquent de connaître une augmentation des perturbations causées par des facteurs biotiques et des phénomènes météorologiques extrêmes (fréquence et intensité accrues des tempêtes violentes). Toutefois, la vulnérabilité générale des forêts de ces régions devrait être plus faible que celle des forêts boréales de l'Ouest — du moins jusqu'en 2050.

Des secteurs de grande vulnérabilité s'observeront au sein des populations locales d'arbres dans toutes les régions susmentionnées. Par exemple, les zones de transition entre les régions et entre les écosystèmes de ces régions seront plus vulnérables aux changements climatiques parce que les facteurs écologiques agissant dans ces zones sont proches des limites de tolérance des essences et que la capacité d'adaptation génétique y est à son plus faible niveau (notamment aux limites méridionales des aires de répartition des essences).

Des secteurs de grande vulnérabilité s'observeront au sein des populations locales d'arbres dans toutes les régions susmentionnées. Par exemple, les zones de transition entre les régions et entre les écosystèmes de ces régions seront plus vulnérables aux changements climatiques parce que les facteurs écologiques agissant dans ces zones sont proches des limites de tolérance des essences et que la capacité d'adaptation génétique y est à son plus faible niveau (notamment aux limites méridionales des aires de répartition des essences).

L'incertitude liée à ce qui se produira réellement est une des grandes préoccupations que soulèvent les changements climatiques. Des changements de la composition, de la structure et de l'âge des forêts se produiront assurément, mais l'ampleur, l'emplacement et le rythme de ces changements à l'échelle locale demeurent incertains. En raison de ce manque de prévisibilité, les aménagistes devront faire face à des situations entièrement imprévues et nouvelles. De plus, les leçons acquises sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers, sur leur succession, leur régénération, leurs processus de perturbation et leur croissance, tirées d'observations historiques et de relevés sur les terrains n'aideront peut-être pas les aménagistes à prévoir ce qui se produira dans le futur ni à concevoir et mettre en œuvre des mesures d'aménagement efficaces.



UNE NOUVELLE APPROCHE : RÉDUIRE LA VULNÉRABILITÉ GRÂCE À DES MESURES D'ADAPTATION

Les changements climatiques ont d'importantes répercussions sur l'aménagement des essences forestières du Canada. La mise en œuvre rapide de mesures d'adaptation pourrait réduire la vulnérabilité des essences d'intérêt commercial en minimisant les impacts négatifs et en tirant le meilleur parti des avantages associés aux changements climatiques (p. ex. les politiques et les mesures réglementant l'aménagement pourraient être modifiées pour profiter de tout gain de productivité). Plusieurs mesures faciliteront l'adaptation, dont les suivantes :

- prendre en considération les changements climatiques lors d'activités comme la planification, le reboisement, les traitements sylvicoles et les coupes (c.-à-d., intégrer les changements climatiques à l'aménagement forestier au moyen d'une approche systémique);
- développer les capacités de modélisation écologique et génécologique pour couvrir les questions relatives aux déplacements des aires de répartition des essences, à la migration assistée des essences et des provenances et à la diversification des essences et des provenances lors du reboisement;
- développer, partager et adopter les meilleures pratiques d'aménagement afin de réduire la vulnérabilité aux changements climatiques;
- réduire le risque des pertes liées aux perturbations catastrophiques grâce à des pratiques de récolte et d'aménagement qui tiennent compte des changements climatiques (p. ex. aménager la structure de la forêt de manière à réduire les risques d'incendies ou d'infestations à grande échelle);

- accroître la surveillance des essences (p. ex. de la croissance, de la mortalité, du dépérissement) pour assurer une détection précoce des impacts des changements climatiques et l'efficacité des mesures d'adaptation;
- intégrer des analyses de vulnérabilité, des analyses de risque et la gestion adaptative aux pratiques d'aménagement comme le reboisement et le choix de la composition forestière, par exemple;
- identifier de façon continue les lacunes clés dans les connaissances, les mesures institutionnelles et les politiques qui freinent l'adaptation et prendre rapidement des mesures pour y remédier.

OPTIONS ET POSSIBILITÉS

Les mesures d'adaptation susceptibles de réduire la vulnérabilité des essences sont notamment les suivantes :

- veiller à ce que la prochaine génération d'arbres soit mieux adaptée à l'environnement climatique dans lequel elle se développera (c.-à-d., faciliter la migration, gérer le fonds génétique et tenir compte de la diversité potentielle des conditions futures lors de la sélection d'essences pour la régénération des peuplements);
- réduire au minimum les pertes du capital forestier actuel dues aux perturbations découlant des changements climatiques;
- modifier les pratiques d'aménagement de la génération actuelle d'arbres de manière à tenir compte des risques d'inadaptation de certaines essences;



- adopter les meilleures pratiques d'aménagement forestier durable appropriées aux changements climatiques et mettre en œuvre des options « sans regrets » (c.-à-d., des mesures dont les avantages sont acquis dans le présent et qui le resteront fort probablement indépendamment de l'évolution du climat).

Les options potentielles d'aménagement des essences sont notamment les suivantes :

- établir des systèmes de sélection de semences fondés sur le climat aux fins de reboisement;
- tenir compte de l'évolution future des conditions stationnelles dans les décisions d'aménagement (p. ex. prévoir les sites où l'humidité peut devenir un facteur limitatif);
- examiner les possibilités d'établir des « avant-postes » génétiques (petites plantations établies dans des régions éloignées à l'aide de provenances adaptées aux climats futurs anticipés) afin d'accélérer l'adaptation des forêts dans des régions non aménagées;
- mettre en oeuvre des essais sur le terrain de provenance multi-essences à long terme pour évaluer la tolérance des sources de semences aux variations du climat, afin d'optimiser les meilleures stratégies de migration assistée. Les chercheurs pourraient également inclure dans ces essais des sources de semences provenant du nord des États-Unis, parce qu'elles pourraient être les mieux adaptées aux conditions climatiques futures du Canada. Ces essais pourraient également considérer des sites d'étude situés dans des localités du nord des États-Unis où les conditions climatiques sont semblables à celles que devrait bientôt connaître le Canada.
- examiner les possibilités d'accroître la diversité génétique et celle des essences lors de l'établissement de forêts comme moyens pour accroître la marge de manoeuvre face aux incertitudes liées aux changements climatiques;
- profiter des perturbations à grande échelle pour établir des forêts moins vulnérables aux changements climatiques futurs;
- veiller à ce que toutes les forêts perturbées ou récoltées soient rapidement reboisées avec des essences et des provenances adaptées aux conditions climatiques futures prévues (migration assistée);
- réduire le recours à la régénération naturelle pour les forêts dont les essences seront essentiellement mal adaptées aux conditions climatiques futures;
- accroître le nombre de plantations expérimentales pour mettre à l'essai de nouvelles essences et étudier les plantations d'essences exotiques présentes dans toutes les provinces et les écozones;
- aménager les essences sur de plus courtes révolutions;
- adopter des mesures de sélection et de reproduction pour renforcer les caractéristiques présentant une meilleure capacité d'adaptation aux conditions changeantes du milieu;
- planter des essences résistantes à la sécheresse dans les régions susceptibles aux sécheresses accrues;
- réévaluer l'emplacement des vergers à graines en fonction des changements climatiques futurs potentiels;



- déterminer les peuplements et les structures forestières vulnérables aux perturbations à grande échelle et utiliser l'aménagement forestier pour favoriser des essences et des structures moins vulnérables.

Il importe de souligner que l'application de mesures particulières dans des régions spécifiques doit faire l'objet de prudence et d'attention. Ainsi, les mesures d'adaptation visant la régénération devront tenir compte du climat actuel aussi bien que futur. Dans certains cas, il faudra combler les lacunes dans les connaissances avant de pouvoir élaborer des codes et des normes sur la mise en œuvre à grande échelle de ces mesures d'adaptation. Entre temps, ces nouvelles méthodes pourraient faire l'objet d'expériences, d'essais et de suivi. Par ailleurs, les institutions devront peut-être faire preuve d'une plus grande souplesse pour permettre des adaptations locales. Une mesure efficace à un emplacement ne le sera pas nécessairement ailleurs. Des trains de mesures diversifiées, des codes et des normes flexibles ainsi que des approches de gestion adaptative locale renforceront la capacité des aménagistes à s'adapter aux changements climatiques.

PROCHAINES ÉTAPES : PASSER DES ARBRES À LA FORÊT ET AU SECTEUR FORESTIER

Le présent rapport est axé sur les changements climatiques et la vulnérabilité des essences forestières d'intérêt commercial du Canada. Bien qu'il constitue une première étape d'une importance vitale, le Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF) est conscient que ce rapport ne fournit qu'un portrait

partiel de la situation. Comme l'indique la présente étude et comme en témoigne le document du CCMF intitulé *Une vision pour les forêts du Canada : 2008 et au-delà*, les impacts des changements climatiques vont au-delà des essences. Les changements climatiques toucheront également les paysages forestiers, le secteur forestier, toute la gamme des objectifs d'aménagement qui font partie de l'aménagement forestier durable et un vaste éventail d'intervenants (industrie forestière, collectivités tributaires de la forêt, zones protégées, populations autochtones, faune, eau, santé publique et sécurité, approvisionnement en bois d'œuvre, etc.). Une démarche globale tenant compte des changements climatiques dans un contexte plus large est donc nécessaire. Le CCMF envisage de faire suivre cette étude par une évaluation à portée plus vaste, qui inclura notamment l'étude des incidences des changements climatiques sur une plus grande échelle et de leurs répercussions sur les actifs et les valeurs des forêts. Cette deuxième phase permettra de mieux comprendre les vulnérabilités de l'aménagement durable des forêts à l'échelle canadienne face aux changements climatiques. Elle permettra également d'identifier des approches d'adaptation qui pourraient réduire ces vulnérabilités. Cette prochaine étape vise par ailleurs à établir un cadre de travail et des documents d'orientation qui aideront les administrations et les intervenants du monde forestier à intégrer des aspects liés aux changements climatiques à l'aménagement durable des forêts au Canada. Les activités menées durant la prochaine étape se fonderont sur les évaluations écologiques et socio-économiques du Conseil canadien des ministres des forêts.

INTRODUCTION

Le Canada est un pays de forêts qui souscrit au principe de l'aménagement forestier durable. Cela veut dire qu'il est déterminé à maintenir ses forêts et leur processus écologiques afin que la disponibilité actuelle des avantages socioéconomiques et environnementaux découlant des forêts soit garantie dans le futur. Or, les aménagistes forestiers du Canada doivent faire face à un nouveau défi, qui est de répondre et de se préparer aux impacts des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers. Ces changements risquent d'avoir des répercussions profondes sur les essences et les forêts, surtout si aucune mesure de réduction des émissions de gaz à effet de serre n'est prise dans un avenir relativement proche.

Les forêts du Canada abritent plus d'une centaine d'essences, dont 93 sont jugées d'intérêt commercial par les membres du Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF) (annexe I). Les essences forestières du Canada sont vulnérables aux changements climatiques en raison de la sensibilité des arbres au climat, et il est maintenant hors de doute que des changements climatiques importants se poursuivront au cours du prochain siècle. En fait, les effets des changements climatiques sur les essences forestières se font déjà sentir. Ainsi, la sécheresse a provoqué une mortalité considérable chez le peuplier faux-tremble dans le sud de la forêt boréale, et des hivers plus chauds ont favorisé une épidémie du dendroctone du pin ponderosa qui devrait détruire plus des trois-quarts du volume de bois de pin

de la Colombie-Britannique d'ici 2015. Malgré l'effet global net négatif des changements climatiques sur les essences forestières d'intérêt commercial du Canada, il importe cependant de souligner qu'ils peuvent aussi stimuler la croissance de certaines essences dans certaines régions.


Des mesures d'adaptation aux changements climatiques sous forme de modifications des politiques et des pratiques d'aménagement forestier pourront sans doute réduire la vulnérabilité des essences à l'évolution du climat. Il faudra toutefois commencer par documenter la vulnérabilité des essences aux changements climatiques, puis déterminer les régions où les forêts et les arbres seront vulnérables, car ce sera là que les besoins d'adaptation se feront le plus sentir.

Le présent rapport a pour objet d'établir une analyse systématique nationale :

- de la vulnérabilité des essences aux changements climatiques;
- des répercussions sur l'aménagement et des options;
- des lacunes dans nos connaissances sur la vulnérabilité et l'adaptation des essences.

Le présent rapport s'adresse aux aménagistes et aux décideurs qui auront à prendre des décisions dans une période marquée par un environnement en évolution et une incertitude grandissante. Il ne s'agit pas d'un rapport technique détaillé mais plutôt d'une démarche visant à dégager les questions les plus importantes liées à la vulnérabilité des essences et à cerner les mesures d'aménagement potentielles qui aideront les décideurs à s'adapter aux impacts des changements climatiques.





RÉPARTITION ACTUELLE DES ESSENCES FORESTIÈRES DU CANADA¹

Le Canada abrite une grande variété d'essences. Les conditions climatiques du passé ont énormément contribué à déterminer la répartition actuelle des essences au Canada. Le reste de la présente section donne un aperçu des principales écozones forestières du Canada (figure 1), de leur climat respectif et des principales essences présentes dans chacune d'elles.

L'écozone de la **taïga des plaines** est l'écozone forestière la plus septentrionale du Canada. Les étés y sont courts et frais et les hivers longs et froids sous l'influence des masses d'air arctique qui se font sentir quasiment toute l'année. La taïga des plaines est une zone de transition entre la toundra arborée mixte et la forêt résineuse dense. Elle est dominée par l'épinette noire, une essence à croissance lente qui forme généralement des peuplements de faible densité. Dans les plaines alluviales fertiles qui bordent les grands cours d'eau, l'épinette blanche et le peuplier baumier atteignent des dimensions comparables aux arbres de la forêt boréale.

L'écozone de la **cordillère boréale**, qui couvre les secteurs du nord de la Colombie-Britannique et du sud du Yukon, bénéficie de l'influence du Pacifique qui adoucit les températures dans la majeure partie de son territoire. Le climat y est caractérisé par des hivers longs et froids et des étés courts et chauds. L'écozone est boisée à 51 %, avec une variété de densité du couvert. Les essences présentes sont

¹ Adapté du CCMF. 2006. Critères et indicateurs de l'aménagement forestier durable au Canada. Conseil canadien des ministres des forêts, Ottawa (Ontario). http://www.ccmf.org/francais/coreproducts-criteria_in.asp, consulté le 20 juillet 2009.

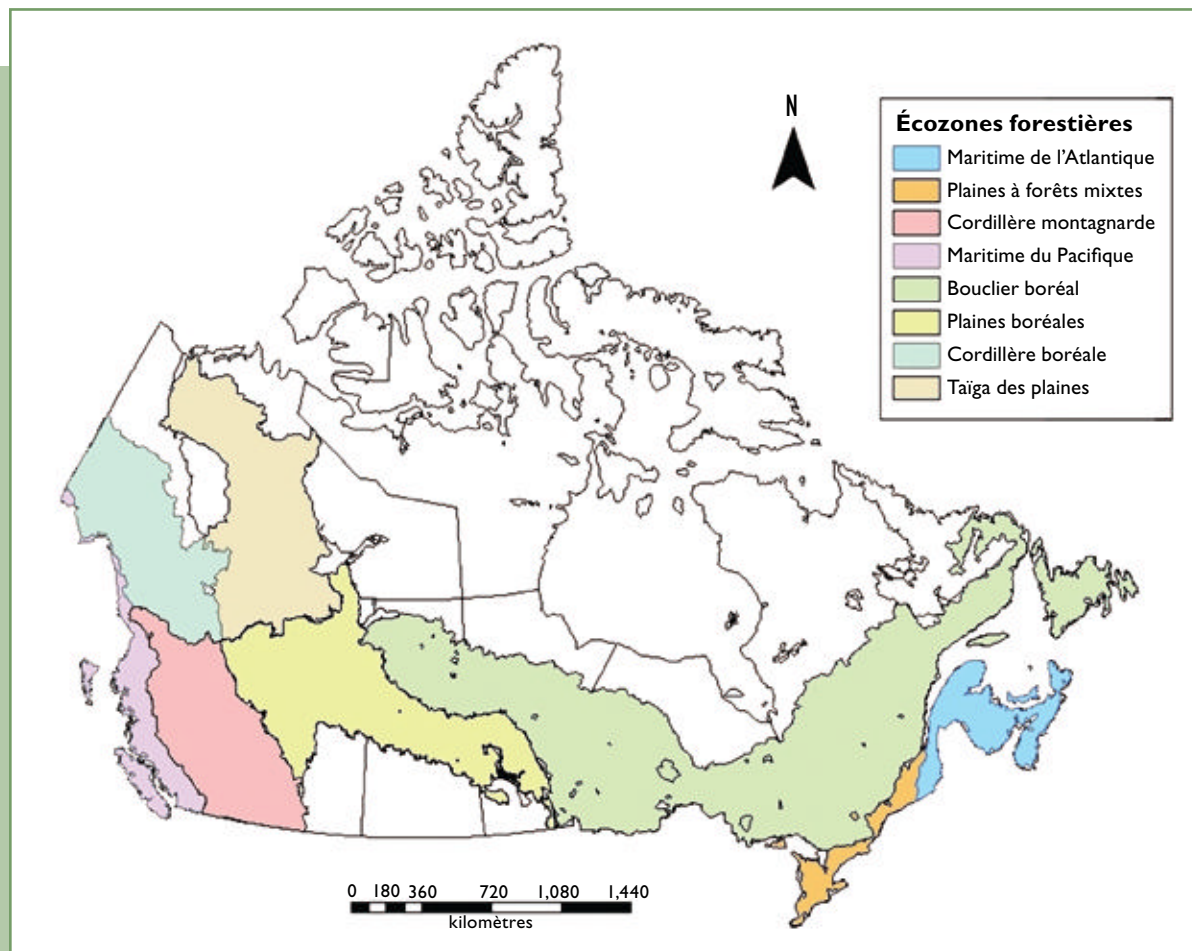
l'épinette blanche, l'épinette noire, le sapin subalpin, le pin tordu, le peuplier faux-tremble, le peuplier baumier et le bouleau à papier. Les communautés arbustives de bouleau et de saule sont communes dans la forêt subalpine et s'étendent jusque dans la toundra alpine, au-delà de la limite des arbres.

L'écozone des **plaines boréales** s'étend depuis la Colombie-Britannique, dans le nord-ouest, jusqu'au coin sud-est du Manitoba. Soumis à de fortes influences continentales, le climat se caractérise par des hivers froids et des étés modérément chauds. Le pin gris, le pin tordu, l'épinette blanche, l'épinette noire et le mélèze laricin sont les principales essences de conifères. Des peuplements mixtes de peupliers faux-trembles et d'épinettes blanches occupent les stations riches en éléments nutritifs.

L'écozone du **bouclier boréal** s'étend depuis l'extrémité est de Terre-Neuve jusqu'au coin nord-est de l'Alberta. Elle est la plus vaste écozone du Canada et comprend près de 20 % du territoire du

pays. L'écozone possède un climat fortement continental caractérisé par des hivers longs et froids et des étés courts et chauds, sauf dans les secteurs côtiers de l'Est où le climat est adouci par les conditions maritimes. La végétation résulte des températures froides, d'une courte saison de croissance, de fréquents feux de forêt et de sols acides. L'écozone est boisée à environ 75 % et laissée en grande partie à l'état sauvage. Elle se caractérise par des peuplements denses de conifères, surtout l'épinette blanche, l'épinette noire, le sapin baumier et le mélèze laricin. Vers le sud, certains feuillus sont plus fréquents, comme le bouleau à papier, le peuplier faux-tremble et le peuplier baumier, ainsi que d'autres conifères, y compris des épinettes, le pin blanc, le pin rouge, le pin gris et le sapin baumier. L'exploitation forestière et la lutte contre les incendies ont favorisé une plus grande proportion de sapin baumier dans les peuplements, généralement au détriment de l'épinette blanche. Dans l'est de l'écozone, le sapin baumier est souvent l'essence dominante. Dans les basses terres, l'épinette noire forme des peuplements presque purs.

FIGURE 1. Carte des écozones forestières du Canada.



L'écozone **maritime du Pacifique** forme une mince bande sur la côte du Pacifique, qui est boisée à environ 50 %. Cette écozone jouit de certaines des conditions climatiques les plus productives du Canada (hivers doux et humides et étés secs et relativement frais). Elle est caractérisée par plusieurs essences de conifères d'intérêt commercial qui ne se retrouvent nulle part ailleurs au Canada, dont le douglas, le thuya géant, la pruche de l'Ouest et l'épinette de Sitka. Les peuplements naturels peuvent y atteindre des âges vénérables et des volumes imposants en raison des longs intervalles entre les perturbations, comme les incendies ou les tempêtes de vent.

L'écozone de la **cordillère montagnarde**, nichée entre les écozones maritime du Pacifique, des plaines boréales et de la cordillère boréale, est la plus complexe de toutes les écozones et présente une diversité topographique et climatique exceptionnelle. Elle est traversée du nord au sud par plusieurs chaînes de montagnes et comprend également plusieurs plaines intérieures, sans compter le seul véritable désert du Canada. La végétation de l'écozone varie selon l'altitude et l'exposition. Elle va de la toundra alpine à une forêt coniférienne dense qui ressemble à la forêt côtière, en passant par une forêt subalpine d'altitude où domine le sapin subalpin et l'épinette d'Engelmann, sans oublier les arbustives sèches d'armoises et les prairies. Environ 73 % de sa superficie est couverte de forêts. L'écozone de la cordillère montagnarde est un écosystème dominé par le feu. Grâce à la lutte contre les incendies, les forêts appartenant à des classes d'âge supérieures sont nombreuses et sont de plus en plus exposées à de grands feux de forêt catastrophiques. En raison des longues périodes de lutte systématique contre les incendies, les insectes associés aux forêts mûres, comme les scolytes de l'écorce, sont également capables de causer d'énormes dégâts.

L'écozone **des plaines à forêts mixtes** couvre la vallée des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. Elle représente l'extrémité nord du biome de la forêt feuillue qui occupe la majeure partie de l'est des États-Unis. Le climat y est caractérisé par des étés chauds et humides et des hivers frais. Jadis couverte de forêts, l'écozone des plaines à forêts mixtes comportait alors une plus grande diversité d'arbres et de plantes que toute autre écozone du Canada. Son couvert forestier est aujourd'hui légèrement supérieur à 20 %, allant des peuplements mixtes (conifères et feuillus) dans sa partie nord aux peuplements feuillus très diversifiés de la forêt carolinienne du sud-ouest, près de Windsor (Ontario). On y trouve notamment le tulipier de Virginie, le marronnier glabre, le caryer cordiforme, le noyer noir, le platane occidental et le frêne anguleux. La majeure partie de la forêt feuillue a été éliminée pour faire place à des fermes, des vergers, des autoroutes et des villes.

L'écozone **maritime de l'Atlantique** couvre la totalité de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard, et une partie du Québec. L'océan Atlantique y crée un climat maritime humide et frais. L'écozone est couverte de nombreuses forêts composées de peuplements mixtes de conifères (notamment le sapin baumier) et de feuillus (comme l'érable et le bouleau). Elle contient des éléments des régions forestières acadienne, des Grands Lacs et du Saint-Laurent et boréale. Au nombre des essences présentes dans cette région figurent l'épinette rouge, l'épinette noire et l'épinette blanche, le sapin baumier, l'érable à sucre, le bouleau jaune et le hêtre. C'est dans cette écozone que se trouve le plus fort pourcentage de boisés privés au Canada ainsi que la plus longue histoire d'exploitation forestière et de défrichage des terres.





EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ESSENCES

Les essences et leurs géotypes sont généralement adaptés à leurs conditions climatiques d'origine. Comme l'indique la section précédente, les niches environnementales et climatiques des essences varient considérablement à l'échelle du paysage canadien, ce qui explique que le Canada abrite un éventail diversifié d'essences et d'associations d'espèces. Toutefois, les variations environnementales dans ces écozones, conjuguées à des mutations génétiques aléatoires, ont entraîné l'apparition au sein des espèces de milliers de géotypes largement dispersés.

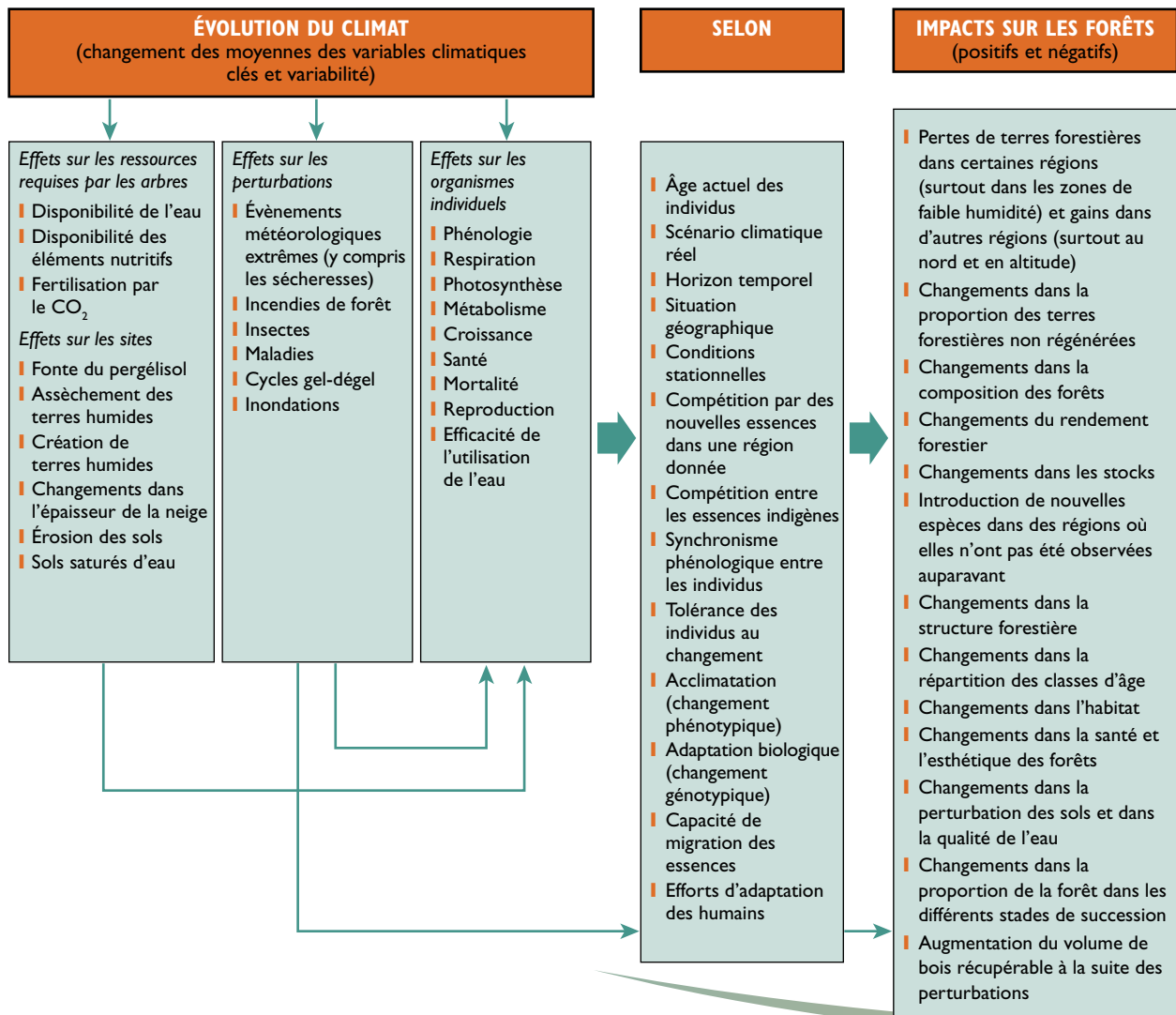
Les changements climatiques auront de nombreux effets très différents sur les arbres et sur la composition des écosystèmes forestiers (figure 2). Un grand nombre de ces effets surviendront en même temps et deviendront cumulatifs. Par exemple, des changements climatiques à un emplacement donné peuvent affecter simultanément les conditions stationnelles, l'exposition aux perturbations et les fonctions physiologiques des différents organismes. De plus, leurs effets sur les diverses essences peuvent découler des réactions à plusieurs agents stressants simultanés. Ainsi, les arbres souffrant de stress hydrique sont normalement plus vulnérables aux insectes qui sont plus actifs dans des conditions climatiques plus chaudes. Les nombreuses interactions et rétroactions associées aux

changements climatiques sont complexes et difficiles à prévoir. Il est toutefois possible de définir les facteurs de changement des arbres et des forêts, leurs interactions et certains des facteurs prépondérants qui, à terme, détermineront l'ampleur des impacts sur les essences. La figure 2 illustre un certain nombre de processus d'interaction par lesquels les changements climatiques peuvent affecter les essences et les écosystèmes forestiers. Certains éléments particuliers sont examinés ci-après. Il ne faut cependant pas oublier que les écosystèmes forestiers sont complexes et qu'il existe d'étroites interrelations entre les différents espèces ou organismes, leur environnement local (y compris les conditions stationnelles et le climat) et d'autres espèces végétales et animales. Il convient donc d'adopter une approche systémique qui

tient compte de tous les facteurs et de leurs interactions pour bien comprendre ce qui rend les arbres vulnérables aux changements climatiques.

Le reste de la présente section examine les impacts directs et indirects des changements climatiques sur les essences. Ces impacts peuvent être divisés en deux grandes catégories : l'inadaptation et les perturbations. Il y a inadaptation lorsque le milieu local auquel une essence est adaptée commence à changer à un rythme plus rapide que celui auquel l'essence peut s'adapter. Comme les arbres ont une grande longévité et que les individus sont incapables de migrer, la population actuelle d'arbres risque de devenir de plus en plus mal adaptée aux changements climatiques. Par contre, les générations ultérieures seront peut-être en mesure de

FIGURE 2. Impacts des changements climatiques sur les forêts. (Source : Williamson et coll., 2009 – reproduit avec leur permission)



migrer ou de s'adapter, soit naturellement, soit grâce à l'intervention de l'homme. Les sections ci-après examinent ces différentes possibilités. Les perturbations, qui constituent la deuxième catégorie d'impacts des changements climatiques, comprennent les facteurs abiotiques (p. ex., incendie, renversement par le vent) et biotiques (insectes, maladies, parasites). Il importe de bien comprendre que ces catégories sont distinctes mais interdépendantes. Ainsi, des arbres qui sont inadaptés en raison de l'augmentation du stress hydrique sont plus sensibles aux attaques d'insectes défoliateurs.

Inadaptation

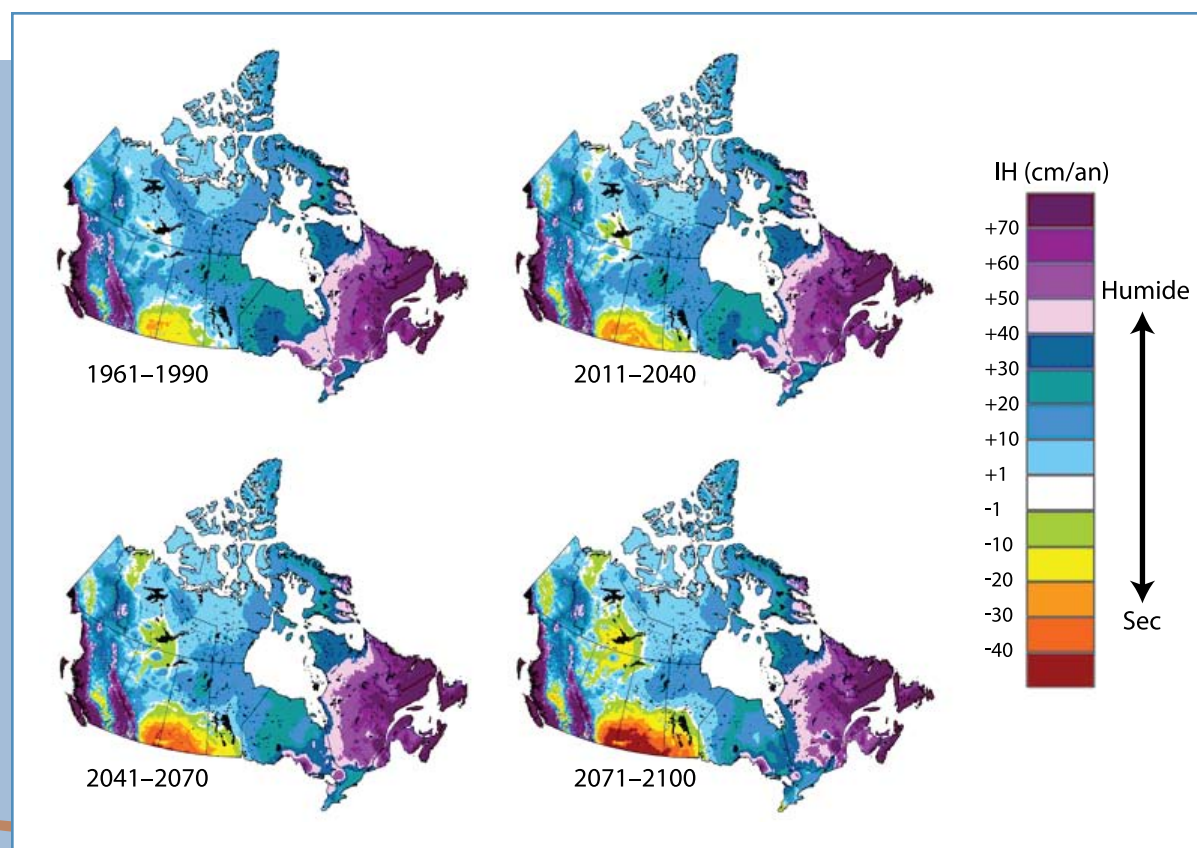
FACTEURS STATIONNELS

Les changements climatiques auront des effets directs sur le microclimat. En règle générale, un réchauffement signifie des saisons de croissance plus longues, des températures plus élevées durant la saison de croissance, des diminutions dans les variations de la

température diurne, des hivers plus chauds et des modifications de la quantité, de la fréquence et de la répartition des précipitations ainsi que de la proportion tombant sous forme de pluie ou de neige. Ces changements varieront d'un bout à l'autre du pays et s'intensifieront au fil du temps, à mesure que le climat continuera de se réchauffer.

La quantité d'eau du sol assimilable par les arbres augmentera dans certaines régions, diminuera dans d'autres (figure 3) et variera selon la saison. Les teneurs en éléments nutritifs du sol sont susceptibles de changer en raison de modifications des taux de décomposition et de minéralisation. Le dégel du pergélisol affectera de vastes étendues des forêts du Nord et pourrait avoir des impacts négatifs importants sur le couvert forestier dans un avenir proche (ce qui, à long terme, pourrait toutefois accroître la productivité). Certaines régions pourraient devenir plus humides et d'autres, plus sèches.

FIGURE 3. Changement prévu dans le temps de l'indice d'humidité (IH) climatique dans l'ensemble du Canada, dans le cadre d'un scénario de changement climatique. (reproduit avec la permission de Lemprière et coll., 2008)



La capacité de rétention d'eau (CRE) du sol est un facteur critique pour déterminer la disponibilité de l'eau qui pourra être assimilée par les plantes. Selon des résultats d'études effectuées en Saskatchewan, les différences de CRE engendrées par un climat futur plus chaud et plus sec pourraient avoir des effets marqués sur la production de biomasse forestière. La productivité des stations à faible CRE (réserve utile inférieure à 100 mm) diminuera vraisemblablement dans le contexte des scénarios climatiques futurs. Dans les stations à CRE modérée (réserve utile de 100–200 mm), la productivité devrait tout d'abord augmenter sous l'effet de températures plus chaudes, puis diminuer au cours des décennies suivantes. En revanche, dans les stations à CRE élevée (réserve utile supérieure à 200 mm), la productivité des forêts continuera d'augmenter durant le XXI^e siècle parce que les réserves en eau du sol seront suffisantes pour soutenir le rythme de croissance accru.

SYNCHRONISME PHÉNOLOGIQUE

Les changements climatiques auront de nombreux effets, subtils mais importants, sur les essences. La phénologie est l'étude de la chronologie des phénomènes biologiques qui se produisent durant l'année, notamment en relation avec le climat. Chez les arbres, le climat influe sur des aspects comme la période de floraison, l'apparition des bourgeons, le débourrement, la longueur de la saison de croissance, la période de dormance et la disponibilité des pollinisateurs, etc. Un certain nombre d'effets des changements climatiques récents sur la phénologie s'observent déjà. Par exemple, le débourrement de l'érable à sucre et la floraison du peuplier faux-tremble surviennent plus tôt durant la saison. Un examen des enregistrements climatologiques des 100 dernières années ou plus laisse voir que les saisons de croissance ont généralement beaucoup allongé d'un bout à l'autre du Canada. Selon les résultats d'études par télédétection de la forêt boréale, la saison de croissance est plus longue tant en Amérique du Nord que dans le nord de l'Eurasie.

Le synchronisme phénologique entre essences est important pour la dynamique de l'écosystème. Des températures plus chaudes risquent de provoquer une désynchronisation. Par exemple, l'émergence de la tordeuse des bourgeons de l'épinette survient à peu près en même temps que l'éclosion des bourgeons des arbres hôtes. Des gels printaniers tardifs peuvent faire mourir les nouveaux bourgeons et ainsi priver de nourriture les chenilles. D'un autre côté, un débournement plus précoce peut, dans certaines régions, favoriser des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Par conséquent, les changements climatiques risquent de modifier la phénologie des espèces et de perturber les interactions écologiques, ce qui peut rendre les écosystèmes plus instables et imprévisibles.

RÉACTIONS PHYSIOLOGIQUES DES ARBRES

La productivité primaire nette (PPN) est l'une des mesures clés de la croissance des végétaux; elle représente la quantité de biomasse accumulée par la plante grâce à la photosynthèse. Elle est exprimée en unités de biomasse (ou de carbone) produites par unité de superficie par unité de temps (p. ex. grammes par m² par année). Les réactions de la productivité à l'élévation des températures sont complexes et varient selon l'essence, l'âge de l'arbre, le type de feuillage (aiguilles versus feuilles) et les stress imposés par des carences en eau et en éléments nutritifs, des insectes, des maladies et des parasites. Or, chez les végétaux, la plupart des processus physiologiques, y compris la photosynthèse, ont une plage de température optimale au-delà de laquelle ils commencent à décliner. Par conséquent, l'allongement de la saison de croissance peut avoir des effets positifs ou négatifs sur la PPN au cours d'une année. Par exemple, si l'eau et les éléments nutritifs ne sont pas limitants et que les températures de la saison de croissance sont inférieures à la plage optimale, le réchauffement du climat aura des effets positifs sur la PPN annuelle. En revanche, si le réchauffement du climat fait en sorte que la respiration annuelle est plus élevée que la photosynthèse, l'allongement de la saison de croissance entraînera alors un déclin de la PPN.

Le potentiel de déficit hydrique constituera un important facteur pour déterminer les impacts des changements climatiques sur les essences. La majeure partie du centre et de l'ouest du Canada devrait connaître une augmentation considérable des températures mais peu de variations dans les précipitations. Des températures moyennes plus élevées se traduiront par une augmentation de l'évapotranspiration ainsi que de la fréquence des pénuries d'eau dans le sol (c.-à-d., des sécheresses). Ces conditions seront aggravées sur les sols à texture grossière et à CRE faible. En période de sécheresse, certaines essences sont capables d'enfoncer leurs racines plus profondément dans le sol à la recherche d'eau. À mesure que l'eau se raréfie, les arbres ont recours à deux stratégies pour faire face au stress hydrique. Lorsqu'ils emploient une stratégie d'évitement de la déshydratation, les arbres se dépouillent d'une partie, voire de la totalité de leur feuillage, ce qui réduit la transpiration et retarde la déshydratation. En situation de tolérance à la déshydratation, les arbres utilisent la déshydratation pour s'ajuster à la sécheresse — c.-à-d., les cellules se contractent, et des modifications chimiques réduisent la quantité d'eau assimilée par les cellules. La capacité de tolérance des déficits hydriques varie d'une essence à l'autre. Ainsi, l'épinette noire peut tolérer la déshydratation, tandis que le pin gris peut retarder. Si le déficit hydrique persiste plus longtemps que les conditions auxquelles les arbres sont habitués, toutes les essences peuvent finir par devenir sensibles aux impacts de la sécheresse.

Des concentrations atmosphériques plus élevées de CO_2 ont des effets sur un certain nombre de facteurs physiologiques. Les arbres assimilent le CO_2 par les stomates de leur feuillage mais perdent en même temps de l'eau par transpiration. Des concentrations atmosphériques élevées de CO_2 stimulent la photosynthèse : c'est ce qu'on appelle l'effet fertilisant du CO_2 . Cette fertilisation par le CO_2 peut stimuler la croissance des arbres, notamment si d'autres ressources (comme l'eau, les éléments nutritifs) ne sont pas limitantes. À l'heure actuelle, il est toutefois difficile de cerner les avantages nets de la fertilisation par le CO_2 pour les arbres et la productivité des forêts. Selon la plupart des études récentes, la stimulation de la croissance ne dure que quelques années et est très variable d'une essence à l'autre. De plus, l'augmentation du CO_2 atmosphérique s'accompagne d'une diminution de la transpiration par unité d'absorption de CO_2 (ce rapport est appelé efficacité d'utilisation de l'eau (EUE)). D'après les scénarios concernant les sécheresses futures, l'augmentation de l'EUE découlant de concentrations plus élevées de CO_2 pourrait se révéler un facteur particulièrement important dans les stations où l'eau est limitée et faire en sorte que la croissance des arbres puisse se poursuivre là où elle se trouverait normalement gravement limitée. Il est toutefois encore difficile de déterminer quel impact aura ce processus en présence d'effets cumulatifs d'autres facteurs environnementaux sur la survie et la croissance.



RÉGÉNÉRATION

Les changements climatiques agiront de plusieurs façons sur le succès de la régénération des essences d'intérêt commercial. C'est lors du stade de la régénération que les arbres sont généralement considérés les plus sensibles aux contraintes climatiques. L'évolution du climat aura des effets sur la floraison, la pollinisation, la formation des graines et leur germination ainsi que sur la survie des semis. Le succès de la régénération dépendra donc de la capacité future des arbres de produire des graines viables et de la faculté germinative de ces graines. Les semis qui s'établiront devront aussi être capables de survivre et de bien se développer dans des conditions climatiques susceptibles d'être très différentes de celles qu'ont connues leurs parents. Les changements climatiques modifieront les rapports compétitifs entre plantes indigènes dans des stations données et peuvent entraîner une augmentation de la vigueur des plantes et animaux indigènes qui sont en compétition (p. ex. graminées et arbustes) avec les semis ou qui s'en nourrissent (p. ex. lapins et cerfs). Les essences indigènes devront peut-être concurrencer de nouvelles essences exotiques qui sont mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques. Tous les facteurs susmentionnés peuvent avoir des incidences sur la planification, les pratiques et la politique en matière de régénération.

MIGRATION

Au fil de l'évolution du climat, les populations d'arbres deviendront progressivement moins bien adaptées à leur environnement. Si elles veulent survivre, elles devront s'adapter sur place ou migrer vers des localités ayant un environnement plus favorable. En règle générale, les arbres sont incapables d'envahir

rapidement de nouvelles régions car ils ont besoin de temps pour atteindre l'âge de la reproduction, puis produire des graines et les disséminer. De plus, la plupart des essences ne disséminent pas leurs graines sur de grandes distances, la moyenne n'étant que de quelques centaines de mètres par année. Pour soutenir le rythme prévu des changements climatiques, les graines devraient franchir plusieurs milliers de mètres par année. Parmi les autres contraintes à cette migration figurent l'absence de conditions édaphiques convenables, particulièrement au nord des limites actuelles des arbres, et la fragmentation du paysage dans les régions aménagées en raison du développement agricole et urbain. Des études de la migration postglaciaire des espèces ont révélé que ce sont les individus qui se déplacent sur le territoire et que les associations actuellement observées sont le fruit de la rencontre des individus de plusieurs espèces en un point donné dans le temps. À mesure que les essences migreront et se redistribueront, de nouvelles combinaisons d'essences, avec leur cortège d'insectes et de maladies, devraient faire leur apparition, ce qui pourrait rendre difficile la survie des arbres dans certains endroits. Enfin, les arbres devront faire compétition aux résidents actuels de l'habitat, ce qui rendra souvent difficile leur établissement.

Des travaux récents menés par le Service canadien des forêts ont permis l'élaboration d'une approche pour déterminer la vulnérabilité des essences aux changements climatiques à partir de certains aspects de la génétique des arbres². Les essences se caractérisent par leur capacité d'adaptation sur place, leur capacité de migration et leur plasticité phénotypique (la capacité d'individus existants de tolérer des changements dans l'environnement). Chacun de ces facteurs peut être classé et combiné pour calculer



² Personne-ressource : Judy Loo, Ph.D., Service canadien des forêts, Centre de foresterie de l'Atlantique, jloo@nrcan.gc.ca

l'indice de vulnérabilité d'une essence individuelle, qui varie de 0 (faible vulnérabilité) à 1 (vulnérabilité élevée). L'application récente de cet indice a révélé qu'une essence comme le peuplier faux-tremble a une faible vulnérabilité du point de vue génétique en raison de sa variabilité génétique élevée, de la capacité de son système racinaire de drageonner et de sa capacité

sont clairs et nets : même si le réchauffement prévu est conforme aux prévisions « prudentes » du modèle climatique mondial, les zones climatiques actuelles se déplaceront vers le nord de jusqu'à 5 000 mètres par année, alors que la majorité des essences a peu de chances de disséminer ses graines sur plus de 100 ou 200 mètres par année. La dissémination des



de disséminer ses graines sur de grandes distances. En revanche, l'épinette rouge a un indice de vulnérabilité très élevé en raison de sa faible variabilité génétique et de sa capacité relativement faible de disséminer ses graines. L'indice peut être calculé pour de nombreuses essences commerciales à l'aide des données existantes et il permettra aux aménagistes de commencer à mieux comprendre la vulnérabilité des essences.

MODÉLISATION DU DÉPLACEMENT DES AIRES DE RÉPARTITION DES ESSENCES

La modélisation des changements des aires de répartition des essences donne des résultats généraux étonnamment uniformes. Toutefois, ces résultats sont peut-être faussés par ce que, collectivement, nous pensons qu'ils devraient se produire. Certains aspects

graines sur de grandes distances est un phénomène possible, quoique rare. Elle ne peut cependant assurer une colonisation naturelle, à grande échelle et assez rapide, de nouvelles régions pour compenser, de façon notable, la perte prévue d'essences dans les forêts existantes.

Les tendances prévues du déplacement des aires de répartition des essences au Canada sous l'effet des changements climatiques, peuvent se résumer comme suit :

Limite forestière boréale nordique : D'après les résultats de simulations pour la zone boréale nordique de l'Alaska, des essences forestières pourraient, d'ici 150 à 250 ans, coloniser des endroits où les conditions du sol sont propices, à la lisière de la toundra, formant une zone de transition s'apparentant à celle

de l'actuelle tremblaie-parc dans la région des Prairies. D'après les études menées sur le terrain au Québec, dans les régions où les sols sont squelettiques ou inexistant, la colonisation du territoire au-delà de la limite arctique des arbres pourrait prendre beaucoup plus de temps.

Colombie-Britannique : La grande diversité des zones climatiques engendrée par la topographie montagneuse et les systèmes maritimes du Pacifique a permis une diversité génétique des essences beaucoup plus grande en Colombie-Britannique que dans d'autres régions du Canada. Des unités géographiques de planification semencière ont été délimitées, puis utilisées pour guider les efforts de régénération, ce qui a permis de mieux comprendre comment les zones semencières actuelles pourraient contribuer à l'adaptation naturelle et planifiée à un climat plus chaud. Les forêts dominées par l'épinette devraient décliner dans le centre et l'intérieur méridional de la Colombie-Britannique et selon les prévisions, de graves déclin devraient survenir après 2050 dans le sud et à de plus faibles altitudes, et certaines populations vont éventuellement disparaître. De même, les stations convenant au douglas bleu devraient disparaître dans le sud après 2080. En revanche, les zones climatiques favorables devraient s'étendre vers le nord et l'est.



Région boréale de l'Ouest : Selon les prévisions les plus récentes de modèles climatiques, cette région connaîtra le réchauffement climatique le plus important. L'augmentation des précipitations annuelles relativement faibles risque d'être insuffisante pour compenser l'évaporation estivale accrue qui s'ensuivra. Dans le nord, le réchauffement entraînera à court terme l'extension des zones propices aux essences de pins, mais dès 2050, les superficies totales convenant aux pins devraient être moindres qu'à l'heure actuelle. Dans la zone de transition entre la forêt et la prairie du sud, le réchauffement et la sécheresse devraient provoquer des dépérissements progressifs, et le feu et les insectes devraient y accélérer les pertes. Les premiers effets du réchauffement climatique devraient se faire sentir en Alberta et dans l'ouest de la Saskatchewan. Les épinettes, qui sont sensibles à la sécheresse, disparaîtront en premier, suivies des pins, puis des peupliers faux-trembles, et seront remplacés par une forme ou une autre de prairie.

Région boréale de l'Est : Dans la région à l'est du lac Winnipeg, les précipitations annuelles sont plus élevées que dans la région boréale de l'Ouest, sous l'effet des systèmes de tempêtes des Grands Lacs et de l'Atlantique; par conséquent, il est peu probable que de graves sécheresses sévissent à grande échelle dans les régions forestières, même sous un climat plus chaud. On devrait donc y observer une augmentation de la productivité dans la zone boréale de l'Est et relativement peu de disparitions d'essences, même si les épinettes et le bouleau peuvent y être supplantés par le pin et le peuplier faux-tremble dans les stations plus sèches. Toutefois, selon les prévisions d'une étude, la superficie propice à l'épinette noire et au pin gris dans le centre de l'Ontario pourrait diminuer considérablement et être repeuplée à plus long terme par des essences feuillues du sud.

Sud de l'Ontario, Québec et Maritimes : La diversité spécifique est élevée dans cette région, et les modèles prévoient, d'ici 2100, des déplacements vers le nord de 250 à 600 km dans les zones climatiques propices à nombre d'essences feuillues. À l'heure actuelle, certaines de ces essences ne sont naturellement présentes qu'au sud de la frontière canado-américaine. Une étude semble indiquer que les peuplements existants d'érables à sucre sont gravement menacés de déclin, tandis qu'une autre révèle que la partie principale de l'aire de répartition de cette essence demeurerait inchangée dans la plupart des scénarios de changements climatiques. La zone climatique propice au bouleau jaune qui couvre actuellement le sud du Québec et le Nouveau-Brunswick devrait se déplacer vers le nord-est jusque dans le centre du Québec. Le sapin baumier devrait disparaître de la Nouvelle-Écosse et de la majeure partie du Nouveau-Brunswick et migrer vers le nord jusque dans le nord-est du Québec et au Labrador.

ADAPTATION DES ESSENCES

La capacité d'adaptation de toute essence dépend principalement de la disponibilité d'une population génétiquement diversifiée. Comme la plupart des essences canadiennes sont abondantes, il ne fait aucun doute que la diversité génétique est considérable, mais elle est en grande partie non quantifiée. Pour que l'adaptation soit rapide, il faut une grande variation génétique des caractères importants à cet égard ainsi que des populations suffisamment larges pour supporter de fortes pressions de sélection. L'adaptation d'un caractère particulier peut se produire rapidement chez une population à variation phénotypique élevée, à forte héritabilité, à effectifs très importants et sous forte pression de sélection.

Les essences très prolifiques qui disséminent leur pollen sur de grandes distances et ont un cycle évolutif court devraient mieux s'adapter à l'évolution du climat. Ces caractéristiques sont souvent associées à des essences pionnières. Étant donné que des niveaux de perturbation plus élevés devraient être associés à l'évolution du climat dans de nombreuses régions du Canada, les essences pionnières sont susceptibles de prospérer et d'accroître leur abondance relative grâce à leur capacité de s'établir rapidement dans des stations perturbées.

La plasticité phénotypique est la capacité d'un génotype de produire de multiples phénotypes en réaction aux conditions du milieu. Elle constitue une importante caractéristique des essences en raison de la longévité des arbres individuels. Les arbres survivent à des phénomènes climatiques extrêmes grâce à diverses stratégies dues à leur plasticité phénotypique. Le degré actuel de plasticité phénotypique détermine en grande partie la capacité de la population actuelle de survivre dans des conditions changeantes. La migration et l'adaptation prennent du temps; mais la plasticité phénotypique prolonge la période dont disposent les gènes d'une population pour s'acclimater par adaptation ou migration. La plasticité phénotypique varie considérablement d'une essence à l'autre, et les aménagistes auront la difficile tâche de comprendre comment ce facteur peut aider à repérer les populations et essences appropriées aux fins de reboisement futur.



Perturbations

PERTURBATIONS D'ORIGINE ABIOTIQUE

L'évolution du climat fera augmenter la fréquence, la durée et l'intensité des perturbations (comme les feux de forêt) et engendrera des conditions plus extrêmes lors de manifestations climatiques et météorologiques (p. ex. précipitations intenses, sécheresse, tempêtes de vent, tempêtes de verglas et foudre).

En règle générale, les arbres sont capables d'adapter à court terme leurs processus physiologiques pour faire face aux variations des conditions météorologiques. Ainsi, des essences comme le pin gris sont capables de supporter de faibles teneurs en eau du sol pendant des périodes relativement longues. Toutefois, si de tels phénomènes durent trop longtemps, deviennent trop fréquents ou s'intensifient, la capacité d'un arbre individuel à les supporter sera dépassée, et une mortalité s'ensuivra. De plus, certaines essences sont mieux adaptées que d'autres à des épisodes périodiques de perturbation. Une augmentation de la fréquence des manifestations extrêmes aura tendance à favoriser les essences de début de succession (p. ex. le pin tordu). Ces essences peuvent finir par être plus dominantes dans le paysage. Cependant, si de telles perturbations deviennent très fréquentes, même les essences bien adaptées ont peu de chances d'atteindre l'âge où elles seront en mesure de produire des graines et risquent alors de disparaître complètement du paysage.

Le feu est l'un des plus importants agents affectant la structure et la dynamique des forêts du Canada. Il touche en moyenne plus de deux millions d'hectares de forêt par année. La prochaine étape du projet du CCMF se penchera sur les effets à l'échelle du paysage des changements climatiques et du feu. Le présent document examine les effets à l'échelle des essences et comment les changements climatiques peuvent les affecter.

La capacité de survie à un incendie ou la capacité de se régénérer après feu permet de caractériser la réaction des arbres au feu et de classer les essences selon la stratégie adoptée : l'invasion, l'évasion, l'évitement, la résistance ou l'endurance. Ces classes facilitent l'examen des caractères adaptatifs présumés comme la dissémination de graines à distance, le stockage des graines dans la banque de semences du sol, la production de rejets par des tissus protégés et la résistance à l'action du feu. Les caractéristiques des essences appartenant à ces différentes classes sont les suivantes :

- les essences utilisant la stratégie d'invasion produisent des graines qui sont disséminées par le vent et envahissent rapidement les zones brûlées (p. ex. le peuplier faux-tremble, le bouleau à papier). Elles sont associées à des cycles de feu courts, intermédiaires ou longs;
- les essences utilisant la stratégie d'évasion stockent leurs graines dans le couvert (p. ex. le pin gris, le pin tordu et l'épinette noire) ou dans le sol (cerisier



de Pennsylvanie), échappant ainsi aux températures élevées régnant près du sol lors d'un incendie. Elles sont associées à des cycles de feu intermédiaires;

- Les essences utilisant la stratégie d'évitement sont très susceptibles d'être tuées par le feu et sont généralement présentes dans des forêts de fin de succession (p. ex. le sapin baumier, l'épinette blanche). Elles sont associées à de très longs cycles de feu;
- Les essences utilisant la stratégie de résistance deviennent plus tolérantes au feu en vieillissant. Elles sont dotées d'une écorce épaisse et d'une capacité d'élagage naturel rapide, ce qui réduit la quantité de combustibles étagés et par conséquent, le risque de feux de cimes (p. ex. le pin gris et le pin tordu). Ces essences sont associées à des cycles de feu intermédiaires;
- les essences utilisant la stratégie d'endurance produisent des rejets après un feu (p. ex. le peuplier faux-tremble, le bouleau à papier dans certains cas). Elles sont associées à de courts cycles de feu.

Cette méthode de classement peut être appliquée à toute essence d'intérêt pour prévoir (de manière générale) les effets des régimes des feux futurs sur la composition forestière. Ainsi, selon des prévisions de l'évolution du climat, l'Ouest du Canada connaîtra une augmentation (du double au triple) de la superficie brûlée et des feux plus fréquents et plus graves durant la seconde moitié du présent siècle. Dans le cadre de ce scénario, il est probable que le peuplier faux-tremble (qui utilise à la fois la stratégie d'endurance et d'invasion) sera plus abondant à l'échelle du paysage et que la présence de l'épinette blanche (utilisant la stratégie d'évitement) diminuera. En revanche, d'autres études semblent indiquer que les feux deviendront moins fréquents dans certaines parties de l'Est du Canada, favorisant ainsi des essences adaptées à de longs cycles de feu, comme le sapin baumier et l'épinette blanche (deux essences utilisant la stratégie d'évitement).

Les conditions météorologiques extrêmes sont les types de perturbations les plus graves dans les régions maritimes. Malgré la grande incertitude qui leur est rattachée et les débats auxquels elles donnent lieu, les données disponibles semblent indiquer que l'évolution future du climat entraînera une augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes tropicales, ce qui pourrait causer des tempêtes violentes et plus fréquentes dans les régions maritimes de l'Atlantique (comme l'ouragan Juan qui a causé des lourds dégâts en septembre 2003). Les essences à enracinement superficiel (comme les épinettes) pourraient être particulièrement sensibles au déracinement par le vent. Il est prévu que des pluies intenses seront plus fréquentes et que les impacts sur les zones riveraines seront plus grands. De fortes marées provoquées par les tempêtes et l'élévation des niveaux de la mer pourraient également avoir des effets sur les forêts côtières.

INSECTES ET PATHOGÈNES

De nombreux insectes et pathogènes attaquent les arbres, et nombre d'entre eux sont propres à une essence individuelle ou à des groupes d'essences. Le dendroctone du pin ponderosa, la livrée des forêts et la tordeuse des bourgeons de l'épinette figurent parmi les insectes ravageurs d'importance dans les forêts du Canada. De même, les maladies des arbres sont répandues et sont notamment causées par des champignons et des bactéries pathogènes, des nématodes et des plantes parasites. En règle générale, l'évolution



prévue du climat favorisera l'activité des insectes et des pathogènes en raison de l'élévation des températures et de la réduction de la mortalité hivernale. Il est toutefois difficile d'établir des prévisions précises en raison des interactions complexes entre les pathogènes, les hôtes et les conditions du milieu. Un climat plus chaud et plus sec peut favoriser certains pathogènes mais en dissuader d'autres.

Insectes

Les changements climatiques auront des effets directs et indirects sur les insectes ravageurs. La température a un effet direct sur la survie et le développement des insectes. Dans les forêts canadiennes, l'augmentation des températures estivales aura tendance à accélérer les taux de développement des insectes. Plutôt que de prendre deux ans pour compléter leur cycle vital (semivoltins), certains insectes pourraient plutôt ne prendre qu'une seule année (univoltins), ce qui contribue aux épidémies à grande échelle. Un climat plus chaud pourrait aussi déboucher sur un meilleur taux de survie durant l'hiver. Les épidémies pourraient également augmenter près de la limite nord de l'aire de répartition des essences hôtes sous l'effet du réchauffement des températures.

Les effets indirects de l'évolution du climat sur les insectes sont plus complexes et donc plus difficiles à prévoir. Comme les arbres devraient devenir de plus en plus mal adaptés à leur environnement, notamment lors des premières décennies des changements climatiques, ils sont plus susceptibles d'être attaqués par des insectes.

Les changements climatiques affecteront les stades de développement des insectes et de leurs prédateurs. Ainsi, les ennemis naturels des insectes défoliateurs dépendent de facteurs climatiques pour maintenir leurs processus vitaux et conserver leur synchronisme avec leurs insectes hôtes et l'habitat forestier dans lequel ils évoluent. Des espèces parasitoïdes et prédatrices clés peuvent provoquer une mortalité élevée chez le dernier stade larvaire des insectes défoliateurs et peuvent être un facteur de premier plan à l'origine de l'effondrement d'une épidémie. Il est toutefois difficile de prévoir les effets des changements climatiques sur ces types de relations en raison de la complexité et de la variabilité de celles-ci.

Les changements climatiques affecteront les stades phénologiques de développement des essences hôtes et des insectes, mais les résultats de ces changements sont difficiles à prévoir. D'après certains chercheurs, la tordeuse des bourgeons de l'épinette a une plage relativement étendue de dates d'émergence printanière de sorte qu'elle pourrait s'adapter dans une certaine mesure à un changement de la disponibilité du feuillage hôte; dans le cas d'autres insectes, la situation est toutefois moins claire.

L'interaction entre les épidémies et d'autres agents de perturbation changera également. Selon des observations effectuées dans la zone actuellement infestée par le dendroctone du pin ponderosa en Colombie-Britannique, un peuplement tué par le dendroctone devient beaucoup plus inflammable peu de temps après la mort des arbres en raison de



la persistance du feuillage mort durant les premières années. À mesure que les aiguilles tombent, la quantité de combustible léger diminue tout comme l'inflammabilité. Avec le vieillissement du peuplement et la chute et l'accumulation des tiges mortes sur le sol, l'inflammabilité augmente de nouveau. Les peuplements de sapins baumiers tués par la tordeuse des bourgeons de l'épinette en Ontario atteignent un maximum d'inflammabilité 5 à 8 ans plus tard sous l'effet de bris de cimes et du renversement par le vent. L'inflammabilité diminue par la suite sous l'effet de la décomposition des combustibles et du développement de la végétation du sous-étage qui a une teneur en eau plus élevée.

Un examen récent des impacts des changements climatiques sur les forêts résumait de la façon suivante la situation d'importants insectes ravageurs au Canada³:

Une recherche récente, basée sur un des scénarios de changements climatiques parmi les moins pessimistes, indique que les futures épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette pourraient durer six ans de plus qu'à l'heure actuelle et faire augmenter la défoliation de 15 %. De plus, l'augmentation de la sévérité des épidémies aurait lieu d'abord aux limites sud et nord de l'aire de répartition de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Ces résultats concordent avec ceux d'études antérieures selon lesquelles la fréquence des épidémies pourrait s'accroître aux limites sud de l'aire de répartition de l'espèce en raison du stress causé par la sécheresse aux arbres hôtes et l'aire infestée pourrait s'étendre vers le nord en raison de l'amélioration de la synchronisation printanière entre le début de l'alimentation des larves et le débourrement.

Le dendroctone du pin ponderosa s'est propagé dans le centre de l'Alberta en 2006. Selon la plupart des scénarios climatiques futurs, le climat des pinèdes boréales deviendra de plus en plus favorable au dendroctone du pin ponderosa dans un proche avenir. Par conséquent, la propagation du dendroctone du pin ponderosa dans les pinèdes boréales à l'est de l'Alberta semble probable, mais les effets de l'extension de cette aire de répartition devraient être moins graves que ceux observés récemment en Colombie-Britannique, en raison de la configuration spatiale différente des pinèdes à l'est de l'Alberta. De plus, certaines études semblent indiquer que les hivers futurs pourraient toujours être encore assez froids pour limiter les épidémies à grande échelle.

La livrée des forêts et la tordeuse du pin gris causent des dégâts considérables dans les forêts du Canada. Une augmentation des épidémies de ces insectes ravageurs devrait s'observer le long de la limite sud de leur aire de répartition en raison de la sécheresse causée par les changements climatiques. Il est également probable que les épidémies se propageront vers le nord en raison de la probabilité moindre de perte catastrophique du feuillage causée par des gelées tardives moins fréquentes au printemps.

La spongieuse, une espèce exotique envahissante, s'est disséminée dans la majeure partie de la forêt feuillue tempérée du nord-est de l'Amérique du Nord depuis son introduction à la fin des années 1800. Selon des estimations récentes, une élévation de 1,5 °C de la température moyenne quotidienne pourrait entraîner une augmentation de 95 millions d'hectares (16 %) de l'aire de répartition de la spongieuse au Canada.

³ Lemprière, T.C., P.Y. Bernier, A.L. Carroll, M.D. Flannigan, R.P. Gilson, D.W. McKenney, E.H. Hogg, J.H. Pedlar et D. Blain. 2008. *L'importance d'adapter le secteur forestier aux changements climatiques*. Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ont), rapport d'information NOR-X-416F.

TABLE I. Ampleur de l'impact régional et national des changements climatiques sur les perturbations d'origine biotique, basée sur la gravité, la fréquence et la superficie touchée. PC = pas de changement. ? = incertain. Ampleur du changement dans la zone touchée par une perturbation d'origine biotique: + faible, ++ modérée, +++ élevée.⁴ (Source, voir note de bas de page n° 3)

| PÉRIODE | ATLANTIQUE – FORÊT MIXTE | RÉGION BORÉALE DE L'EST | RÉGION BORÉALE DE L'OUEST | RÉGION MONTAGNARDE | PACIFIQUE | CANADA |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------|--------|
| Actuelle | PC | PC | ++ | +++ | + | + |
| Court terme (2011–2040) | + | + | +++ | ++ | ++ | ++ |
| Moyen terme (2041–2070) | ++ | ++ | +++ | ? | ++ | +++ |
| Long terme (2071–2100) | ? | ? | ? | ? | ? | ? |

Le dendroctone de l'épinette a décimé périodiquement de vastes étendues de pessières mûres dans l'ensemble du Canada. D'après les données disponibles, les épidémies sans précédent survenues récemment en Alaska et au Yukon ont été aggravées par les changements climatiques, qui ont ramené à un an le cycle biologique bisannuel de l'insecte et ont provoqué chez les arbres hôtes un stress de sécheresse due à la température. Il est fort probable que sous l'effet des changements climatiques, les incidences du dendroctone de l'épinette augmenteront dans l'ensemble de l'aire de répartition de ses arbres hôtes pour les mêmes raisons.

Le tableau I résume les incidences régionales probables des agents biotiques de perturbation dans les forêts du Canada.

Pathogènes

Les maladies des arbres forestiers sont causées par un large éventail d'organismes (champignons, bactéries, nématodes et plantes parasites), qui évoluent et infectent les arbres dans des conditions biologiques très variées. Ces organismes pathogènes sont fortement influencés par les mêmes conditions environnementales que celles qui affectent leurs arbres hôtes.

La température et l'humidité sont habituellement les deux plus importants facteurs du milieu qui influencent l'apparition de maladies chez les arbres forestiers. Cependant, il est très difficile de prévoir les impacts des changements climatiques sur les pathogènes et leurs hôtes, car les besoins en matière de température et d'humidité de ceux-ci sont variables. Les températures devraient davantage augmenter en hiver qu'en été, ce qui devrait se traduire par un nombre plus élevé de jours sans gel. Une maladie apparaît souvent lorsque les températures estivales causent un plus grand stress à l'arbre qu'au pathogène. Les besoins en matière d'humidité des pathogènes sont complexes. Les arbres forestiers subissant un stress hydrique sont plus sensibles à la maladie. De plus, les

⁴ Nota : Le déclin prévu dans la zone touchée et la transition rapide à la catégorie « incertain » dans la région montagnarde à court et à moyen terme respectivement est le résultat de l'impact sans précédent de l'actuelle épidémie du dendroctone du pin ponderosa et de l'effondrement imminent des populations du ravageur.

pathogènes et les hôtes sont tous deux affectés par les fluctuations des cycles et des conditions extrêmes du climat. Ces contraintes climatiques sur les arbres forestiers seront avantageuses pour les pathogènes.

Les changements climatiques peuvent avoir des effets directs sur le pathogène ou des effets indirects sur l'hôte et sur les interactions entre le pathogène et l'hôte. Au nombre des effets directs sur les pathogènes devraient figurer une augmentation de la croissance, de la reproduction et de la propagation ainsi que des changements de la survie estivale ou hivernale. Les effets indirects pourraient notamment entraîner chez l'hôte des changements provoqués par des facteurs comme un stress nutritif ou hydrique. Les vecteurs associés aux pathogènes pourraient notamment en subir les effets indirects, notamment des changements de la répartition ou des cycles biologiques des insectes associés aux pathogènes ou des changements chez les différentes populations de végétaux et d'arbres forestiers, ce qui pourrait causer un stress aux communautés végétales établies ou les rendre sensibles à la maladie.

Les changements climatiques sont également susceptibles de provoquer des changements évolutifs chez les populations d'arbres et de pathogènes. Comme les pathogènes ont des cycles évolutifs complets beaucoup plus courts que ceux des essences hôtes, ils peuvent s'adapter plus rapidement que les arbres à des conditions changeantes. Il s'ensuivra probablement des taux plus élevés d'infection et de virulence, notamment dans les régions où les arbres hôtes sont stressés.

Comme la capacité d'adaptation des arbres est beaucoup plus lente que les rythmes auxquels varieront les conditions du milieu associées à l'évolution du climat, les arbres forestiers seront stressés, et tous les types forestiers seront sensibles aux pathogènes.





ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DES ESSENCES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La section précédente a présenté un aperçu général des impacts biophysiques des changements climatiques sur les essences et des façons dont celles-ci y réagiront. La présente section présente une évaluation des facteurs qui devraient menacer les essences au Canada en raison de l'évolution du climat.

TENDANCES ET PRÉVISIONS DU CLIMAT

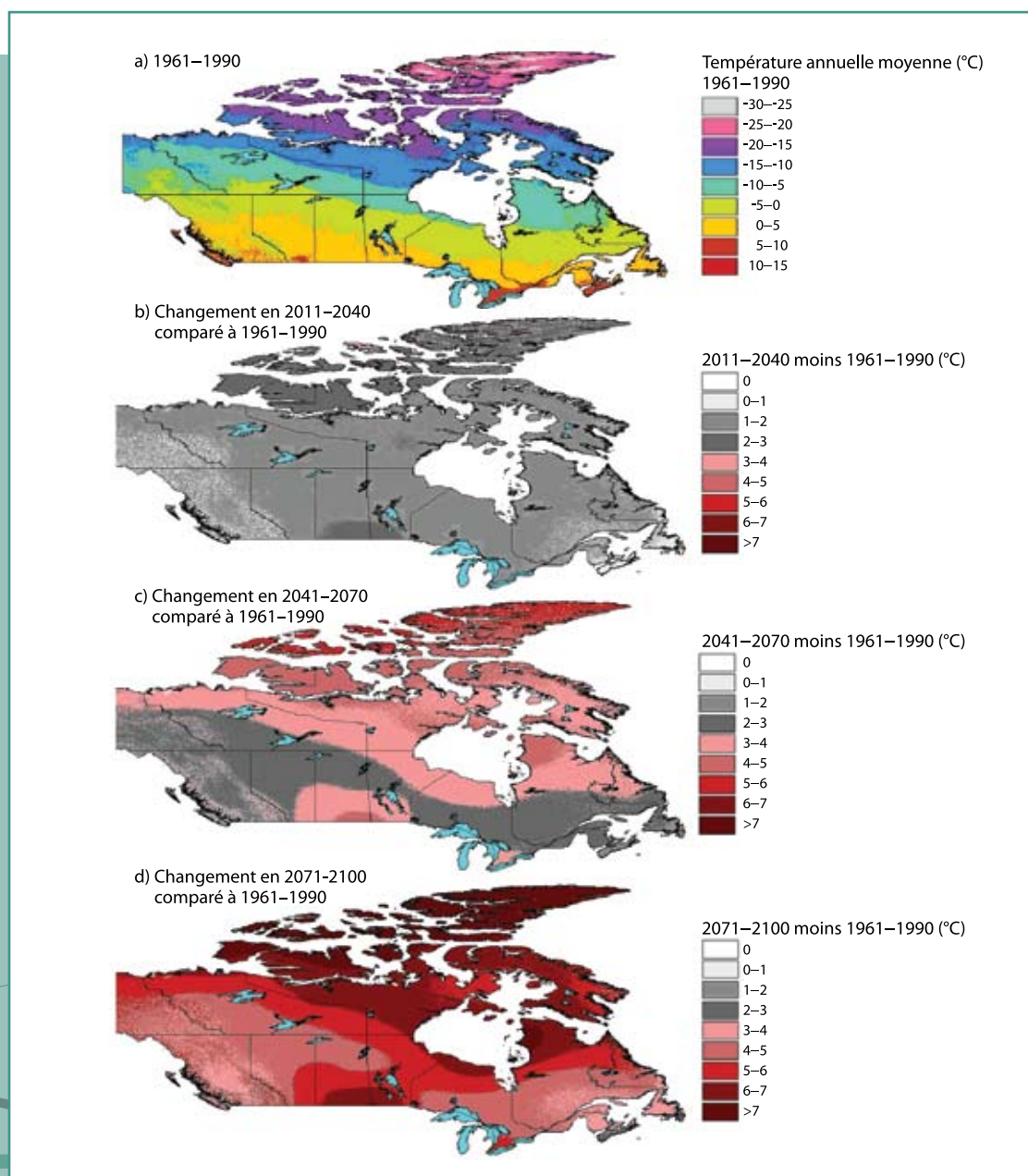
Selon les prévisions, l'ensemble du Canada, sauf peut-être la zone au large de la côte de l'Atlantique, devrait se réchauffer au cours des 80 prochaines années. L'ampleur du réchauffement est inconnue mais ne sera pas uniforme à l'échelle du pays (figure 4). C'est dans l'Extrême-Arctique que les hausses de températures seront les plus importantes et elles seront plus grandes dans les régions du centre du pays que sur les côtes est et ouest. Il est clair qu'il faut examiner les changements climatiques sous un angle régional afin de bien comprendre la vulnérabilité des essences.

Sur une base saisonnière, le réchauffement devrait être plus marqué pendant l'hiver. D'ici les années 2050, on s'attend à ce que le réchauffement en hiver soit plus prononcé dans les régions de la baie d'Hudson et de l'Extrême-Arctique, et moins marqué dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique et dans le sud de la région de l'Atlantique. Une baisse de l'amplitude thermique quotidienne en hiver dans tout le pays indique que le réchauffement sera sans doute plus important la nuit que le jour. Le réchauffement sera plus faible pendant l'été et l'automne, et l'élévation de la température au cours de l'été sera plus uniforme à l'échelle du pays.

Il est plus difficile de prévoir les précipitations futures, les changements à cet égard étant moins statistiquement significatifs que pour les températures. C'est pourquoi la plage des résultats des modèles est plus grande pour les prévisions des précipitations. Les précipitations totales annuelles devraient augmenter dans toutes les régions du pays au cours du présent siècle. D'ici les années 2080, les augmentations projetées des précipitations varient de 0 à 10 % dans l'extrême sud et vont jusqu'à 40 à 50 % dans l'Extrême-Arctique

(ce dernier pourcentage d'augmentation pourrait toutefois ne pas se traduire par une augmentation absolue importante puisque les précipitations annuelles courantes dans le Grand Nord sont souvent inférieures à 200 mm par année). Cependant, du fait de l'évaporation accrue induite par des températures plus élevées, de nombreuses régions, notamment l'Ouest du Canada, connaîtront un déficit hydrique estival en dépit de l'accroissement des précipitations annuelles (figure 3).

FIGURE 4. Un scénario possible des changements de la température moyenne au Canada (Nota : il s'agit d'un des nombreux scénarios possibles des changements climatiques qui pourraient survenir au Canada). (reproduit avec la permission de Lemprière et coll., 2008)



ÉVALUATION DES MENACES

Les essences du Canada sont vulnérables aux changements climatiques pour une variété de raisons interdépendantes et complexes. Par exemple, les essences et les géotypes pourraient devenir de plus en plus inadaptés, les enveloppes climatiques changeront plus rapidement que la capacité d'adaptation ou de migration des arbres, les conditions stationnelles évolueront, et la fréquence, l'ampleur et la gravité des perturbations augmenteront. De plus, une augmentation de la mortalité des arbres et une détérioration de la santé des forêts sont prévues, notamment chez les essences sensibles occupant des stations pauvres. Des essences d'importance commerciale pourraient perdre leur compétitivité et leur capacité de se régénérer dans certaines stations. Des gains de productivité sont possibles dans des endroits où l'humidité ne constituera pas un facteur limitant (en raison d'une plus longue saison de croissance, de températures plus chaudes durant la saison de croissance et de la fertilisation par le CO₂), mais la productivité diminuera dans les régions qui deviendront plus sèches. La mise en œuvre rapide de mesures d'adaptation par le biais de modifications des politiques et des pratiques d'aménagement forestier pourrait permettre de réduire au minimum les impacts négatifs et de tirer parti des possibilités offertes par les changements climatiques (p. ex. les politiques et les mesures réglementant l'aménagement pourraient être modifiées pour profiter de tout gain de productivité).

Les mesures d'adaptation peuvent accroître les possibilités que la prochaine génération d'arbres soit mieux adaptée aux enveloppes climatiques dans lesquelles elle évoluera. Elles peuvent notamment consister à réduire la vulnérabilité des forêts grâce à la migration assistée, à gérer le fonds génétique et à tenir compte des conditions futures lors de la sélection d'essences

en vue d'établir des forêts ou à recourir à d'autres activités d'aménagement forestier qui incluent la sélection d'essences. Il faut également tenir compte de la possibilité que des essences exotiques deviennent envahissantes.

Toutes les régions et tous les types forestiers sont menacés par les changements climatiques, mais certains sont plus vulnérables que d'autres. Le réchauffement le plus important se produira dans le centre et le nord du Canada, des régions dominées par la forêt boréale. La forêt boréale de conifères du Nord est fort bien adaptée à un climat froid et connaîtra un réchauffement relativement plus important que d'autres endroits. L'activité accrue du feu, le dégel du pergélisol et l'inadaptation des arbres constituent d'importantes menaces pour les espèces nordiques comme l'épinette blanche et l'épinette noire. Les forêts du Nord sont également peu densément peuplées et les essences qui les composent ont une valeur commerciale relativement faible. Par conséquent, les investissements dans des mesures d'aménagement forestier et d'adaptation seront vraisemblablement peu élevés. Les principaux facteurs menaçant la forêt boréale du Sud sont l'aridité (y compris des sécheresses intenses périodiques) et une fréquence accrue des incendies de forêts. On a craint que le dendroctone du pin ponderosa ne réussisse à se propager dans les forêts de pins gris, puis à gagner la forêt boréale de l'Est du Canada. Cependant, les experts doutent que ce scénario se concrétise parce que les peuplements de pins gris n'ont peut-être pas une densité suffisante pour permettre aux populations du dendroctone du pin ponderosa d'augmenter au point de causer une épidémie à grande échelle, même si le climat se réchauffait suffisamment pour permettre au dendroctone de survivre à l'hiver. Les forêts boréales du Nord et du Sud-ouest sont très vulnérables au



réchauffement. Les forêts du centre et de l'est de la région forestière boréale connaîtront probablement un moins grand nombre d'épisodes de sécheresse mais seront de plus en plus vulnérables aux organismes nuisibles indigènes et exotiques. Il faut tenir compte des changements climatiques lors de la prise de décisions sur la régénération dans la forêt boréale en raison de la possibilité d'inadaptation.

La région de la cordillère montagnarde du centre de la Colombie-Britannique pourrait voir disparaître des écosystèmes alpins à mesure que l'altitude de la limite des arbres augmentera. Le couvert forestier risque de diminuer dans les secteurs secs de l'intérieur méridional de cette région. Les perturbations (causées par le feu, les insectes, la sécheresse, des phénomènes météorologiques extrêmes) augmenteront dans l'ensemble de la région montagnarde, mais des gains de productivité sont susceptibles de se produire — du moins jusqu'en 2050 — dans les portions septentrionales de la région parce que l'humidité ne devrait pas y être un facteur limitant. Somme toute, la forêt montagnarde méridionale est extrêmement vulnérable aux changements climatiques, tandis que la forêt montagnarde septentrionale l'est modérément.

Les régions maritime du Pacifique, de la plaine à forêts mixtes et maritime de l'Atlantique risquent d'être davantage menacées par des phénomènes météorologiques extrêmes (fréquence et intensité accrues des tempêtes violentes), mais la vulnérabilité générale des forêts de ces régions pourrait être relativement plus faible que dans d'autres régions — du moins jusqu'en 2050. Toutefois, des organismes nuisibles (comme le puceron lanigère du sapin) continueront probablement de constituer des menaces importantes pour les forêts.

Des secteurs de grande vulnérabilité s'observeront au sein des populations locales d'arbres dans toutes les régions susmentionnées. Par exemple, les zones de transition entre ces régions (et entre les écosystèmes de ces régions) seront très vulnérables aux changements climatiques parce que les conditions du milieu dans ces zones sont proches des limites de tolérance des essences.

L'incertitude peut faire obstacle à l'adaptation. Des changements de la composition, de la structure et de l'âge des forêts se produiront assurément, mais l'ampleur, l'endroit et le rythme de ces changements à l'échelle locale demeurent inconnus. L'incertitude liée à ces effets est due en partie à une variété de scénarios différents sur le climat futur. Par ailleurs, il existe de nombreuses autres sources d'incertitude. Les écosystèmes sont complexes. De nombreux facteurs interdépendants peuvent se conjuguer pour causer une réaction donnée aux futurs changements climatiques, mais l'on ignore quels facteurs seront dominants à un endroit précis. Par exemple, on ne peut dire si les effets directs des changements climatiques sur les processus physiologiques seront le facteur dominant agissant sur les réactions à ces changements dans une région donnée ou si des effets indirects, comme des modifications des régimes de perturbation, domineront. En fait, les effets nets de tous les facteurs mentionnés précédemment sont encore incertains,



mais qui plus est, leurs effets cumulatifs sont inconnus. De plus, l'ampleur des mesures d'adaptation humaine et leur efficacité soulèvent aussi de l'incertitude. Des niveaux très élevés d'incertitude créeront des défis additionnels à l'aménagement forestier et à la planification à long terme efficaces. Des situations imprévues et nouvelles risquent de survenir. En outre, le passé n'est plus garant de l'avenir, un aspect particulièrement important lorsque les politiques sont basées sur des mesures qui avaient autrefois donné de bons résultats. Les stratégies d'aménagement pourraient notamment comporter l'adoption explicite de méthodes de gestion du risque et de gestion adaptative et l'intensification des efforts de surveillance afin de permettre la détection rapide des changements. Et surtout, il faut tenir compte des changements climatiques et de l'incertitude qui leur est associée lors de la planification, de l'élaboration de politiques et de la prise de décisions liées à l'aménagement forestier.

LES ARGUMENTS EN FAVEUR DE L'ADAPTATION HUMAINE

La vulnérabilité relative des essences canadiennes aux changements climatiques dépend, en partie, de la volonté de la société d'appuyer l'adaptation, de la capacité d'adaptation des organismes d'aménagement forestier et de l'efficacité relative des investissements dans l'adaptation. Le présent examen a montré qu'en absence de mesures d'adaptation, de nombreuses essences canadiennes sont très vulnérables. Cependant, une grande capacité d'adaptation humaine et la mise en œuvre efficace de mesures d'adaptation pourraient réduire la vulnérabilité des essences dans les paysages forestiers aménagés. La section suivante décrit certaines des principales implications pour l'aménagement. Pour des recommandations détaillées, prière de consulter les publications suivantes, indiquées dans l'annexe 2 : Spittlehouse and Stewart, 2003; Johnston et coll., 2006; Ogden and Innes, 2007; Lemmen et coll., 2008; Seppala et coll., 2009.





OPTIONS D'AMÉNAGEMENT

Des mesures d'adaptation précises doivent être mises en œuvre avec soin et prudence. Ainsi, les mesures d'adaptation visant la régénération devront tenir compte du climat actuel et futur. Dans certains cas, il faudra combler les lacunes dans les connaissances avant de pouvoir élaborer des codes et des normes sur la mise en œuvre, à grande échelle, de ces mesures d'adaptation. En attendant, des essais, des expériences et des activités de surveillance des nouvelles approches s'avèrent nécessaires, car une mesure efficace à un emplacement ne le sera pas nécessairement ailleurs. Des ensembles de prescriptions diversifiées, des codes et des normes flexibles ainsi que des approches de gestion adaptative locale peuvent aussi s'avérer nécessaires.

Au cours des prochaines décennies, les conditions climatiques des forêts canadiennes se déplaceront vers le nord à un rythme probablement plus rapide que la capacité de migration des essences individuelles. La plupart des essences peuvent migrer naturellement de quelques centaines de mètres par année grâce à la dissémination de leurs graines, mais les conditions climatiques propices à la croissance de chacune peuvent se déplacer chaque année de plusieurs milliers de mètres vers le nord.⁵ Cette situation exercera des pressions sur l'extrémité sud de l'aire de répartition de chaque essence, mais elle pourrait également permettre

⁵ Le rythme des changements devrait être beaucoup plus rapide dans le nord et les régions continentales que sur la côte.

à des essences de s'établir à la limite nord de leur aire. De plus, l'évolution du climat aura des effets sur les insectes et les maladies qui attaquent les arbres et elle entraînera des modifications des processus physiologiques des arbres, de la survie des semis, de la croissance et de la productivité des forêts.

Dans tout le pays, les aménagistes doivent commencer à envisager les moyens de réduire la vulnérabilité des essences commerciales du Canada aux changements climatiques. Le choix des options d'adaptation à utiliser dépend des conditions et des vulnérabilités locales, ainsi que des objectifs d'aménagement. Il n'est donc pas possible de formuler des recommandations générales sur les options d'aménagement. Il sera plus utile d'envisager toutes les options possibles dans la préparation d'un plan d'aménagement forestier et d'en comparer le rendement prévu en fonction des objectifs d'aménagement poursuivis avant de prendre une décision. Comme il n'existe pas de mesure universelle applicable pour s'adapter aux changements climatiques, les aménagistes doivent disposer d'une flexibilité suffisante pour déployer les mesures d'adaptation qui conviennent le mieux à leur situation locale. Compte tenu de la grande incertitude à l'égard des effets de l'évolution du climat, les aménagistes devront suivre de près l'efficacité des mesures mises en œuvre et être capables de les modifier rapidement à mesure que de nouvelles données deviennent disponibles. Les pages qui suivent présentent un éventail d'options d'aménagement pour atténuer la vulnérabilité des essences dans les forêts aménagées. Les options sont présentées selon le contexte dans lequel des décisions sont prises à l'échelle des essences (p. ex. reboisement, conservation génétique, productivité de la forêt et santé de la forêt).



Les options d'aménagement susceptibles de réduire la vulnérabilité des essences commerciales du Canada aux changements climatiques dans les forêts aménagées sont résumées ci-dessous en fonction de cinq objectifs d'aménagement :

- reboisement des forêts aménagées;
- conservation de la diversité génétique;
- maintien de la productivité des essences;
- maintien de la santé des forêts;
- amélioration de la capacité d'adaptation.

REBOISEMENT

La régénération est le stade du cycle biologique pendant lequel l'arbre est le plus vulnérable aux impacts environnementaux, y compris la variabilité et les changements du climat. Les arbres adultes bien établis sont souvent capables de supporter des sécheresses et d'autres types de perturbation, alors que les semis y sont très vulnérables. En outre, le stade de régénération est celui où l'aménagement peut influencer la sélection des essences ainsi que l'établissement et la croissance des arbres. Au moment de choisir les méthodes de régénération et les terrains à régénérer, les aménagistes disposent d'un certain nombre d'options spécifiques.

Comme il est indiqué précédemment, la plupart des essences seront probablement incapables de migrer assez rapidement pour soutenir le rythme des changements provoqués par l'évolution du climat, parce que leurs taux de migration naturelle sont beaucoup trop lents. Par conséquent, la migration assistée peut offrir aux aménagistes plusieurs options pour introduire, par

le reboisement, des plants mieux adaptés au nouveau climat. Trois aspects de la migration assistée d'intérêt pour l'aménagement forestier ont été recensés⁶ :

- expansion assistée de la population : mouvement de populations dans les limites de l'aire de répartition d'une essence afin d'améliorer la productivité et la santé sous de nouveaux climats;
- expansion assistée de l'aire de répartition : expansion régionale des limites nordiques, intérieures ou altitudinales supérieures d'une essence pour que le reboisement puisse suivre les niches climatiques appropriées;
- translocation d'essences exotiques : mouvement interrégional, transcontinental ou intercontinental d'essences.

RISQUE PLUS FAIBLE

RISQUE PLUS ÉLEVÉ

L'expansion assistée de la population nécessiterait le mouvement de populations dans les limites de l'aire de répartition actuelle de l'essence — p. ex. de l'extrémité sud de l'aire jusqu'à la portion nord. L'analyse des données de tests de provenance de plusieurs essences a fourni des indications sur la distance sur laquelle il faudrait déplacer les populations au sein de leur aire actuelle de répartition pour leur permettre de croître dans des conditions climatiques appropriées. De telles analyses ont été effectuées pour le pin tordu en Colombie-Britannique, pour l'épinette blanche, l'épinette noire, le pin tordu, le pin gris et le mélèze laricin en Alberta, pour le pin gris en Ontario et pour l'épinette noire et l'épinette blanche au Québec. On comprend généralement bien comment les diverses populations de ces essences pourraient se comporter face aux conditions climatiques futures. Les aménagistes doivent toutefois se rappeler que la plupart des données des tests de provenance du passé ne tiennent pas compte des effets des augmentations futures du

CO₂ atmosphérique et n'incluent pas l'ampleur totale des extrêmes climatiques ou de l'aire de répartition d'une essence. Ils doivent également reconnaître le compromis inhérent à tout type de migration assistée : la distance climatique sur laquelle on fera migrer les populations ou les essences devra être assez réduite pour assurer une bonne survie lors de l'établissement, mais assez grande pour garantir une bonne adaptation vers la fin de la révolution, au moment où l'accroissement moyen annuel est à son maximum. Les données permettant de répondre adéquatement à la question du compromis à faire font actuellement défaut.

L'expansion assistée de l'aire de répartition est une option légèrement plus risquée que l'expansion assistée de la population. Elle consiste à déplacer les populations au-delà de leur aire historique de répartition en prévision des conditions climatiques futures, mais dans une zone contiguë à l'aire de répartition initiale de l'essence. Les données des tests de provenance sont alors moins utiles car elles n'englobent généralement pas de plantations établies à l'extérieur de l'aire de répartition historique de l'essence. Dans ce cas, d'autres essences seront déjà établies dans la nouvelle localité et feront une certaine compétition aux populations introduites. Cette option exige également d'avoir des connaissances très approfondies sur les changements que subiront les enveloppes climatiques des essences, des connaissances qui sont actuellement très élémentaires pour la plupart des essences.

La translocation d'essences exotiques est l'option de migration assistée la plus risquée. Elle entraîne l'introduction d'une essence dans une localité où celle-ci était autrefois absente. Même si l'essence peut être adaptée aux conditions prévues dans l'avenir dans la nouvelle localité, les connaissances sur les changements que subiront les conditions climatiques sont très incertaines, notamment à l'échelle des peuplements individuels où les décisions de reboisement

⁶ Sally Aitken, Ph.D., département de sciences forestières, Université de la Colombie-Britannique, comm. pers.

seront mises en œuvre. De plus, les essences exotiques peuvent devenir envahissantes et risquent d'être accompagnées d'un cortège d'insectes et de pathogènes qui peuvent réagir différemment dans la nouvelle localité (c.-à-d., avoir une plus grande virulence ou pulluler). De nombreux biologistes de la conservation s'opposent énergiquement à cette option, sauf lorsque les connaissances sur le caractère envahissant de l'espèce exotique et les organismes nuisibles sont suffisantes, ce qui n'est généralement pas le cas pour la plupart des essences.

Les activités de reboisement pourraient aussi comporter les éléments suivants : privilégier des essences ou des populations génétiquement capables de tolérer un large éventail de conditions du milieu; immédiatement après la récolte, replanter les essences et génotypes les plus appropriés dans les endroits où la régénération naturelle présente une faible diversité; et accroître la diversité spécifique et génétique des plantations afin de réduire le risque et d'augmenter les chances de survie. Après des perturbations majeures (comme des feux de forêt), le reboisement pourrait permettre de repeupler de vastes superficies à l'aide de génotypes mieux adaptés.

Enfin, on pourrait analyser les données des tests de provenance existants pour déterminer s'ils peuvent aider à comprendre la variabilité génétique des essences et des populations, et on pourrait entreprendre de nouveaux tests sur la plupart des essences commerciales du Canada. De tels tests ne donnent des résultats qu'après quelques décennies, mais plus tôt ils seront établis plus tôt des avantages pourront en être tirés. Afin de tirer pleinement parti des données, il faudrait évaluer la faisabilité d'établir une base de données centrale nationale des tests de provenance.

CONSERVATION DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE

Plusieurs options d'aménagement peuvent servir à conserver la diversité génétique, notamment les suivantes :

- recours à des régimes sylvicoles qui conservent la diversité génétique et celles des espèces;
- création et maintien de couloirs facilitant la migration des essences et génotypes (ainsi que d'autres espèces végétales et animales);
- création de réserves artificielles;
- utilisation de collections *ex situ* pour préserver des populations rares.



MAINTIEN DE LA PRODUCTIVITÉ DES ESSENCES

L'établissement de peuplements productifs et en santé est un moyen évident de contribuer à s'assurer que les arbres sont robustes face aux changements climatiques. À cette fin, les aménagistes peuvent s'employer à :

- conserver une diversité de classes d'âge et d'essences dans les stations où elle ne fera pas augmenter la sensibilité aux insectes, aux maladies ou au feu;
- éclaircir les peuplements établis dans des stations sensibles à la sécheresse afin de réduire l'utilisation de l'eau sans y faire augmenter la sensibilité au déracinement par le vent ou aux maladies;
- maîtriser la végétation indésirable qui risque de devenir plus compétitive sous un climat modifié;
- faire converger les efforts d'aménagement sur les stations actuellement productives et sur celles susceptibles de demeurer plus productives dans les conditions climatiques futures et à réduire les efforts dans les stations pauvres;
- privilégier les essences tolérantes à la sécheresse dans les régions sensibles à la sécheresse;
- mettre en œuvre des mesures pour raccourcir l'âge d'exploitabilité, puis à reboiser avec des génotypes plus robustes.

Lorsque les conditions économiques le permettent, le recours à des plantations intensivement aménagées et réservées à l'approvisionnement en bois ferait converger les efforts vers un domaine forestier plus productif mais plus petit qui pourrait être aménagé de manière à atténuer les impacts des changements climatiques.

MAINTIEN DE LA SANTÉ DES FORÊTS

En cette ère de changement rapide de l'environnement, il est capital d'établir et de maintenir des réseaux de surveillance de la santé des forêts qui donneront des signaux d'alerte rapide des impacts imminents des changements climatiques. Ces réseaux doivent recueillir des données sur les poussées de population des pathogènes et sur les changements de la phénologie des hôtes et des pathogènes. Un excellent exemple d'un tel réseau est celui portant sur les impacts des changements climatiques sur la productivité et la santé des peupliers faux-trembles. Ce réseau de placettes est entretenu par le Service canadien des forêts et s'étend dans l'ensemble de l'aire de répartition du peuplier faux-tremble, depuis les Territoires du Nord-Ouest jusqu'au nord-ouest de l'Ontario, en passant par les Prairies. De plus, les mesures suivantes peuvent permettre de maintenir ou d'améliorer la santé des forêts :

- faire converger les activités de récolte sur les peuplements qui sont les plus sensibles aux organismes nuisibles ou exécuter des coupes d'assainissement dans les peuplements qui sont déjà affectés;
- mettre au point des génotypes tolérants à la sécheresse et résistants aux insectes et aux maladies;



- utiliser le brûlage dirigé pour réduire les risques d'incendie et la vulnérabilité des forêts aux infestations d'insectes;
- s'employer davantage à intégrer des modèles de changements climatiques à des modèles biologiques de la phénologie.

AMÉLIORATION DE LA CAPACITÉ D'ADAPTATION

La capacité d'adaptation des essences comprend une composante biologique (p. ex. migration et adaptation) et une composante humaine (c.-à-d., l'aménagement). Malgré les progrès réalisés dans les connaissances sur la vulnérabilité aux changements climatiques et les options d'adaptation possibles, la capacité d'adaptation des aménagistes et des institutions d'aménagement forestier reste à développer. Voici des moyens d'améliorer la capacité d'adaptation :

- partager les meilleures pratiques d'adaptation entre administrations;
- intégrer les connaissances sur la vulnérabilité des essences au processus de prise de décisions en matière de reboisement et de sylviculture;
- stimuler des changements sur le plan des attentes de la société à l'égard des valeurs et des avantages des forêts futures de manière à ce qu'elles incluent la vulnérabilité des essences aux changements climatiques;
- mettre au point des techniques permettant d'utiliser différentes qualités de bois et différentes espèces forestières;
- moins se fier aux observations historiques et aux mesures prises dans des placettes pour prévoir ce qui nous réserve l'avenir;
- développer des modèles de processus fiables pour les essences et les peuplements à des fins de prévision de la croissance et du rendement futurs.





LACUNES DANS LES CONNAISSANCES

La vulnérabilité des essences commerciales du Canada aux changements climatiques incite à mettre sur pied un programme plus détaillé de surveillance et de recherche à l'appui de l'aménagement durable des ressources forestières du Canada. Les besoins suivants en matière de recherche abordent des incertitudes clés liées à la prise de décisions concernant l'adaptation :

- Il faut élaborer des méthodes pour s'assurer que les provenances et les essences les mieux adaptées à toute la gamme des conditions durant la révolution soient sélectionnées à des fins de reboisement.
- Il faut établir des tests de provenance multi-essences à long terme pour évaluer la tolérance aux variations du climat de chaque provenance afin de déterminer les meilleures stratégies possibles de migration assistée. Des provenances et des stations de l'ensemble de l'aire de répartition de l'essence et des provenances du nord des États-Unis devraient faire partie des essais.
- Des modèles de la croissance et du rendement sensibles au climat sont nécessaires pour permettre d'établir de meilleures prévisions sur l'accroissement en volume pour une gamme de conditions climatiques futures.

- Grâce à de meilleures données sur les réactions physiologiques des essences commerciales du Canada aux changements climatiques, les aménagistes seront mieux en mesure d'adapter les caractéristiques de l'essence aux conditions stationnelles.
- Il faut mieux comprendre les phénomènes extrêmes (perturbations d'un type nouveau ou combinaison de perturbations) qui accéléreront le renouvellement des essences et l'évolution du paysage.
- Il faut améliorer les scénarios et les modèles climatiques de manière à permettre une évaluation des stratégies d'adaptation des essences dans le cadre d'un large éventail de conditions futures plausibles. Il est important d'être conscient des incertitudes inhérentes aux modèles du climat et des écosystèmes. Il faut se doter d'outils d'aide à la décision qui abordent explicitement ces incertitudes.
- Il faut évaluer les avantages et les risques de planter des mélanges d'essences à densités plus élevées en prévision d'une augmentation de la mortalité.
- Une recherche est requise sur les aires de répartition potentielles futures des essences. À cette fin, il faudra aussi se doter de meilleurs outils de modélisation. Ces données permettront d'améliorer la planification à long terme de la composition de la forêt et pourraient guider l'établissement de plantations expérimentales de nouvelles populations ou essences en prévision du climat futur.
- Il faut analyser un plus grand nombre de données des tests de provenance, ce qui permettra de mieux en tirer parti pour élaborer des méthodes de migration assistée.
- Il faut mettre au point des systèmes de transfert des semences fondés sur le climat.
- Il faut déterminer les facteurs limitants et les impacts du climat sur les semis et les semences au stade de la germination.
- Il faut étudier la relation entre la phénologie et l'évolution du climat ainsi que sa variabilité.
- Il faut déterminer les seuils environnementaux clés des essences, ceux qui seront dépassés et si possible, le moment où ils le seront.
- Il faut améliorer les données sur la physiologie des insectes et sur l'influence de celle-ci sur leur comportement dans le cadre des conditions climatiques futures.
- Des modèles combinant des données sur la physiologie et le climat peuvent permettre d'établir des prévisions générales sur les aires de répartition futures des essences.
- Il est également important de disposer de meilleures données sur les interactions entre la phénologie des insectes et des arbres hôtes, sur leurs effets sur les pollinisateurs et sur les changements qui surviendront avec les conditions climatiques futures.



CONCLUSIONS

PRINCIPALES CONSTATATIONS ET LEURS INCIDENCES SUR L'AMÉNAGEMENT

Les essences qui sont dominantes dans la forêt boréale du Nord (épinette blanche et épinette noire), la forêt boréale du Sud (peuplier faux-tremble dans la tremblaie-parc et conifères dans les portions sud des plaines boréales) et dans la forêt de la Cordillère montagnarde méridionale du sud de la Colombie-Britannique seront les plus vulnérables aux changements climatiques dans un avenir prévisible. Cependant, des populations locales d'essences seront vulnérables dans les zones de transition entre toutes les régions forestières et d'un écosystème à l'autre au sein des régions forestières. Par conséquent, toutes les essences présentes au Canada seront probablement touchées.

Les niches climatiques actuelles des essences dans l'ensemble du Canada se modifieront dans de nombreux cas à un rythme probablement plus rapide que la capacité de migration ou d'adaptation de la plupart des essences. Dans la plupart des cas, ces changements se feront à l'intérieur des limites de tolérance physiologique des arbres sur pied, pendant au moins les prochaines décennies. Or, comme les arbres prennent beaucoup de temps à atteindre la maturité, l'évolution future du climat pourrait avoir d'importantes répercussions sur les arbres qui s'établissent aujourd'hui et formeront la génération de demain; il est donc particulièrement important que les pratiques, politiques et méthodes actuelles de reboisement tiennent compte des

changements climatiques. Au cours des décennies à venir, les changements des régimes de perturbation provoqués par l'évolution du climat (c.-à-d., feu, sécheresse, infestations d'insectes) continueront d'être les forces dominantes agissant sur la forêt existante.

Le risque accru et l'incertitude associés aux changements climatiques constituent un défi de taille pour l'aménagement des forêts. Les coûts d'aménagement pourraient augmenter, ainsi que les cas de non-conformité à la réglementation. De plus, les connaissances historiques risquent de ne plus être utiles pour prévoir l'avenir. L'aménagement forestier est particulièrement vulnérable lorsqu'il s'appuie sur des modèles statiques ou des indicateurs, car ceux-ci ne rendent pas compte de la nature dynamique des écosystèmes forestiers. Cela ne devrait toutefois pas constituer un prétexte à l'inaction.

Les mesures susceptibles de faciliter l'adaptation sont notamment les suivantes :

- intégrer les changements climatiques à l'aménagement forestier au moyen d'une approche systémique (c.-à-d., prendre en considération les changements climatiques lors de la planification, du reboisement, des traitements sylvicoles et des coupes);
- faciliter la migration assistée des essences et des provenances lorsque les données le justifient;
- améliorer l'adaptation des essences en établissant, en partageant et en adoptant les meilleures pratiques d'aménagement qui tiennent compte des changements climatiques;
- réduire le risque des pertes liées aux perturbations catastrophiques grâce à des pratiques de récolte et d'aménagement qui tiennent compte des changements climatiques;
- accroître la surveillance pour assurer une détection précoce des impacts des changements climatiques et l'efficacité des mesures d'adaptation;
- intégrer les analyses de vulnérabilité, les analyses du risque et la gestion adaptative aux pratiques d'aménagement;
- être toujours à l'affût des principales lacunes dans les connaissances, des mesures institutionnelles et des politiques qui freinent l'adaptation, et prendre rapidement des mesures pour y remédier;
- cibler, lors des opérations de récolte, les peuplements les plus sensibles afin de réduire les risques d'épidémies importantes.

BESOINS EN MATIÈRE DE RECHERCHE SUR LES ESSENCES

Des scientifiques ont affirmé que des efforts de recherche additionnels sont nécessaires dans plusieurs domaines afin d'enrichir nos connaissances sur les impacts des changements climatiques sur les essences. Ces domaines sont énumérés ci-après.

Il faut poursuivre la recherche sur les aires de répartition futures possibles des essences. À cette fin, il faudra disposer de meilleurs outils de modélisation, notamment de modèles dynamiques de la végétation. De telles données permettront d'améliorer la planification à long terme de la composition future de la forêt et pourraient guider l'établissement de plantations expérimentales de nouvelles populations ou essences en prévision du climat futur.



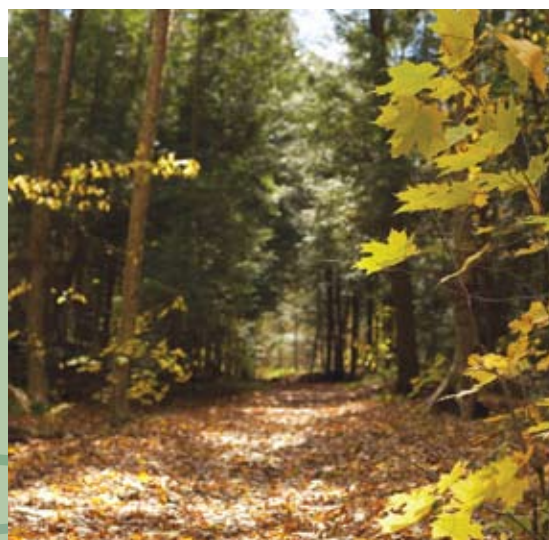
Il faut améliorer les données sur la physiologie des insectes et sur l'influence de celle-ci sur leur comportement dans le cadre des conditions climatiques futures. Des modèles combinant des données sur la physiologie et le climat peuvent permettre d'établir des prévisions générales sur les aires de répartition futures des insectes. Il est également important de disposer de meilleures données sur les interactions entre la phénologie des insectes et des arbres hôtes et sur les changements qui surviendront avec les conditions climatiques futures.

De meilleures données sur la physiologie des arbres peuvent aider les aménagistes à choisir des essences dont les caractéristiques (comme la tolérance à la sécheresse ou au gel) sont mieux adaptées aux conditions stationnelles. Des modèles de la croissance et du rendement qui tiennent compte du climat sont nécessaires afin d'être en mesure d'établir de meilleures prévisions sur l'accroissement en volume dans le cadre d'une gamme de conditions climatiques futures. Ces nouvelles informations pourraient permettre aux aménagistes forestiers de commencer à envisager, d'ores et déjà, une nouvelle répartition des efforts d'aménagement. Une surveillance continue de la croissance des arbres, du succès de leur établissement et de leur mortalité fournira des indications sur la nature des impacts climatiques dès qu'ils commenceront à se manifester.

L'analyse de données additionnelles des tests de provenance aidera à élaborer des méthodes de migration assistée. Si ces données font défaut, il faudra entreprendre de nouveaux tests qui sont représentatifs de l'ensemble de l'aire de répartition de l'essence et de ses caractéristiques climatiques. On pourrait déterminer des zones de transfert des semences fondées sur

le climat. On pourrait établir des plantations expérimentales de populations nouvelles à condition d'avoir évalué le risque d'envahissement et d'introduction de nouveaux organismes nuisibles. Parmi les autres besoins précis en matière de recherche figurent les suivants :

- améliorer les connaissances sur le rôle de la variabilité génétique dans les tolérances climatiques des essences;
- déterminer le rôle des traitements sylvicoles dans l'atténuation de la vulnérabilité des peuplements au feu, aux insectes et à la sécheresse;
- déterminer les limitations et les impacts du climat sur les semis;
- améliorer les connaissances sur les effets de la fertilisation par le CO₂ sur diverses essences et ses effets sur l'atténuation des impacts du climat;
- établir les seuils clés des essences et des processus des écosystèmes et déterminer ceux qui seront dépassés et si possible, le moment où ils le seront;
- définir la relation entre la phénologie et l'évolution du climat ainsi que sa variabilité;
- baser la planification sur le fait que la nature forcera les communautés et les types de végétation à s'agencer de façon de plus en plus dynamique;
- améliorer les connaissances sur les phénomènes extrêmes (perturbations d'un type nouveau ou combinaison de perturbations) qui accéléreront le renouvellement des essences et l'évolution du paysage.



PROCHAINES ÉTAPES : PASSER DES ARBRES À LA FORÊT ET AU SECTEUR FORESTIER

Le présent rapport porte sur les changements climatiques et la vulnérabilité des essences forestières d'intérêt commercial du Canada. Il constitue une première étape importante; le Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF) reconnaît toutefois que l'amélioration des connaissances sur la vulnérabilité des essences ne fournit qu'un portrait partiel de la situation. Comme le laisse entendre le document du CCMF intitulé *Une vision pour les forêts du Canada : 2008 et au-delà*, les changements climatiques devraient affecter les paysages et le secteur forestier. Ils toucheront également toute la gamme des objectifs d'aménagement qui font partie de l'aménagement forestier durable et un éventail de valeurs et d'intervenants liés aux forêts (industrie forestière, collectivités tributaires de la forêt, zones protégées, populations autochtones, faune, eau, santé publique et sécurité, approvisionnement en bois, etc.). Une approche

globale qui examine les changements climatiques dans un contexte plus large sera donc nécessaire. Le CCMF envisage de faire suivre cette étude par une évaluation à portée plus vaste, qui inclura notamment l'étude des incidences des changements climatiques sur une plus grande échelle et de leurs répercussions sur les actifs et les valeurs des forêts. Cette deuxième phase permettra de mieux comprendre les vulnérabilités de l'aménagement durable des forêts à l'échelle canadienne face aux changements climatiques. Elle permettra également d'identifier des approches d'adaptation qui pourraient réduire ces vulnérabilités. Cette prochaine étape vise par ailleurs à établir un cadre de travail et des documents d'orientation qui aideront les administrations et les intervenants du monde forestier à intégrer des aspects liés aux changements climatiques à l'aménagement durable des forêts au Canada. Les activités menées durant la prochaine étape se fonderont sur les évaluations écologiques et socio-économiques du Conseil canadien des ministres des forêts.



ANNEXE I. ESSENCES FORESTIÈRES D'INTÉRÊT COMMERCIAL AU CANADA

Sapin : *Abies*

Sapin baumier : *A. balsamea*

Sapin grandissime : *A. grandis*

Sapin subalpin : *A. lasiocarpa*

Sapin gracieux : *A. amabilis*

Sapin noble : *A. procera*

Pin : *Pinus*

Pin blanc : *P. strobus*

Pin rouge : *P. resinosa*

Pin gris : *P. banksiana*

Pin tordu : *P. contorta*

Pin à écorce blanche : *P. albicaulis*

Pin argenté : *P. monticola*

Pin ponderosa : *P. ponderosa*

Pin flexible : *P. flexilis*

Pin rigide : *P. rigida*

Pin sylvestre : *P. sylvestris*

Pin noir d'Autriche : *P. nigra*

Bouleau : *Betula*

Bouleau à papier : *B. papyrifera*

Bouleau jaune : *B. alleghaniensis*

Bouleau gris : *B. populifolia*

Érable : *Acer*

Érable à sucre : *A. saccharum*

Érable noir : *A. saccharum*

spp. nigrum

Érable argenté : *A. saccharinum*

Érable rouge : *A. rubrum*

Érable à Giguère : *A. negundo*

Érable de Norvège : *A. plantanoides*

Thuya : *Thuja*

Thuya géant : *T. plicata*

Thuya occidental : *T. occidentalis*

Pruche : *Tsuga*

Pruche du Canada : *T. canadensis*

Pruche subalpine : *T. mertensiana*

Pruche de l'Ouest : *T. heterophylla*

Épinette : *Picea*

Épinette blanche : *P. glauca*

Épinette noire : *P. mariana*

Épinette de Norvège : *P. abies*

Épinette d'Englemann :

P. engelmannii

Épinette hybride

Épinette rouge : *P. rubens*

Épinette de Sitka : *P. sitchensis*

If : *Taxus*

If de l'Ouest : *T. brevifolia*

Noyer : *Juglans*

Noyer noir : *J. nigra*

Peuplier : *Populus*

Peuplier baumier : *P. balsamifera*

Peuplier d'Italie : *P. nigra*

Peuplier à grandes dents :

P. grandidentata

Peuplier faux-tremble : *P. tremuloides*

Peuplier deltoïde : *P. deltoides*

Cerisier : *Prunus*

Cerisier tardif : *P. serotina*

Cerisier de Pennsylvanie :

P. pensylvanica

Cyprès : *Chamaecyparis*

Cyprès jaune : *C. nootkatensis*

Douglas : *Pseudotsuga*

Douglas bleu : *P. menziesii* var. *glauca*

Douglas vert : *P. menziesii* var.

menziesii

Mélèze : *Larix*

Mélèze subalpin : *L. lyallii*

Mélèze laricin : *L. laricina*

Mélèze de l'Ouest : *L. occidentalis*

Mélèze du Japon : *L. kaempferi*

Mélèze d'Europe : *L. decidua*

Hêtre : *Fagus*

Hêtre à grandes feuilles :

F. grandifolia

Chêne : *Quercus*

Chêne blanc : *Q. alba*

Chêne pédonculé : *Q. robur*

Chêne à gros fruits : *Q. macrocarpa*

Chêne bicolore : *Q. bicolor*

Chêne jaune : *Q. muehlenbergii*

Chêne des teinturiers : *Q. velutina*

Chêne rouge : *Q. rubrus*

Chêne ellipsoïdal : *Q. ellipsoidalis*

Chêne de Garry : *Q. garryana*

Frêne : *Fraxinus*

Frêne blanc : *F. americana*

Frêne rouge : *F. pennsylvanica*

Frêne noir : *F. nigra*

Orme : *Ulmus*

Orme d'Amérique : *U. americana*

Divers

Tulipier de Virginie : *Liriodendron tulipifera*

Tilleul d'Amérique : *Tilia americana*

Caryer ovale : *Carya ovata*

Robinier faux-acacia : *Robinia pseudoacacia*

Micocoulier occidental : *Celtis occidentalis*

Saule : *Salix* spp.

Ostryer de Virginie : *Ostrya virginiana*

ANNEXE 2. AUTRES RESSOURCES

Pour de plus amples renseignements, les lecteurs peuvent consulter les documents ci-après, dont la liste n'est cependant pas exhaustive de la documentation disponible.

Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF). Groupe de travail sur l'innovation. 2008. *L'adaptation au changement climatique : Exploration d'un cadre d'action*. Rapport provisoire.

Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF). 2008. *Une vision pour les forêts du Canada : 2008 et au-delà*. <http://www.ccfm.org/francais/coreproducts-nextnscf.asp>

Cerezke, H.F. 2009. *Climate change and Alberta's forests: an information and discussion paper of predicted implications*. Alberta Sustainable Resource Development. http://srd.alberta.ca/forests/pdf/climate_change_and_forests.pdf

Colombo, S. 2008. *Ontario's forests and forestry in a changing climate*. Ontario Ministry of Natural Resources, Applied Research and Development Branch. Climate Change Res. Rep. CCRR-12. <http://www.mnr.gov.on.ca/258779.pdf>

Johnston, M., T. Williamson, D. Price, D. Spittlehouse, A. Wellstead, P. Gray, D. Scott, S. Askew, and S. Webber. 2006. *Adapting forest management to the impacts of climate change in Canada*. BIOCAP Canada, Research Integration Program, Kingston, Ont. Final Rep. http://www.biocap.ca/rif/report/Johnston_M.pdf

Lemmen, D.S., F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs). 2008. *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). http://adaptation.nrcan.gc.ca/assess/2007/index_f.php

Lemprière, T.C., P.Y. Bernier, A.L. Carroll, M.D. Flannigan, R.P. Gilson, D.W. McKenney, E.H. Hogg, J.H. Pedlar et D. Blain. 2008. *L'importance d'adapter le secteur forestier aux changements climatiques*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord, Edmonton (Alberta). Rapport d'information NOR-X-416F. http://bookstore.cfs.nrcan.gc.ca/home_f.php?test=1

Ogden, A. E. and J. Innes. 2007. *Incorporating climate change adaptation considerations into forest management planning in the boreal forest*. Int. Forestry Rev. 9: 713–733.

Seppala, R., A. Buck, and P. Katila (editors). 2009. *Adaptation of forests and people to climate change — a global assessment report*. International Union of Forest Research Organizations (IUFRO). IUFRO World Series Vol. 22, Vienna, Austria. <http://www.iufro.org/science/gfep/>

Spittlehouse, D. 2008. *Climate change, impacts, and adaptation scenarios: climate change and forest and range management in British Columbia*. B.C. Ministry of Forests and Range, Forest Science Program. Victoria, B.C. Tech. Rep. 045. <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Tr/Tr045.htm>

Spittlehouse, D. and R. B. Stewart. 2003. *Adapting to climate change in forest management*. J. Ecosystems Manag. 4: 7–17. http://www.forrex.org/publications/jem/ISS21/vol4_no1_art1.pdf

The Forestry Chronicle. 2005. *Special issue on climate change and forestry*. Vol. 81, No. 5.

Williamson, T. B., S. J. Colombo, P.N. Duinker, P. A. Gray, R.J. Hennessey, D. Houle, M. H. Johnston, A. E. Odgen et D. L. Spittlehouse. 2009. *Les changements climatiques et les forêts du Canada : des impacts à l'adaptation*. Réseau de gestion durable des forêts et Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord, Edmonton (Alberta). http://bookstore.cfs.nrcan.gc.ca/home_f.php?test=1

LÉGENDES ET SOURCES DES IMAGES

Page 4

Légende : Épidémie du dendroctone dans les forêts de pins et d'épinettes dans le sud-ouest du Yukon.

Source : Gouvernement du Yukon

Page 6

Légende : Les équipes étiquettent les semis en pépinière, les enlèvent des pots et les regroupent avant de les planter en C.-B., aux sites d'essai sur le terrain où a lieu un essai de migration et d'adaptation assistées.

Source : Michael Carlson

Page 9

Les changements climatiques auront des effets sur l'ensemble des écosystèmes, par l'exemple sur la tourbière à épinettes du centre de l'Ontario.

Source : Paul A. Gray

Page 12

Légende : Selon les paramètres climatiques prévus pour le reste du siècle pour l'Île-du-Prince-Édouard, l'épinette blanche (*Picea glauca*) se trouvera à l'extérieur de son enveloppe climatique.

Source : Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et des Forêts de l'Î.-P.-É.

Page 17

Légende : Essai de provenance d'un douglas dans le nord-ouest de la C.-B., dont les populations présentent des différences spectaculaires en matière de croissance et de survie. Comparez la population à l'avant-plan avec celle à l'arrière-plan.

Source : Barry Jaquish

Page 18

Légende : Semis d'épinette blanche d'un essai de provenance, près de Revelstoke (C.-B.).

Source : Barry Jaquish

Page 19

Légende : Essences visées par un essai de migration et d'adaptation assistées en C. B.

Source : Michael Carlson

Page 20

Légende : Pin gris et épinette noire à l'extrémité nord de leur aire de répartition dans les Territoires du Nord-Ouest.

Source : Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest

Page 21

Légende : Peuplier faux-tremble mort en bordure de la rivière South Saskatchewan, près de Batoche.

Source : Michael Michaelian

Page 23

Légende : Galeries de l'agrile du peuplier (*Agrilus liragus*).

Source : Michael Michaelian

Page 31

Légende : Différences entre les provenances dans le cadre d'un essai effectué sur des épinettes blanches (épinettes d'Engelmann) âgées de 5 ans.

Source : Lisa Vandervelde

Page 34

Légende : Des équipes plantent des épinettes blanches dans le cadre d'un essai de provenance près de Terrace (C.-B.).

Source : Barry Jaquish

Page 36

Légende : Un douglas de Vernon (C.-B.) replanté à Los Angeles (Californie). Le transfert sur de grandes distances, notamment vers des milieux beaucoup plus chauds que ceux dans lesquels l'essence a évolué, peut laisser présager les effets d'un réchauffement climatique extrême sur les forêts indigènes de la C.-B.

Source : Michael Carson

Page 37

Légende : Les changements climatiques devraient avoir des effets sur la répartition et la croissance de nombreux arbres au Canada.

Source : Paul A. Gray

Page 42

Légende : Essai de provenance sur le pin tordu latifolié ravagé par le dendroctone du pin ponderosa.

Source : Lorraine Maclauchlan

