Environnement Canada Environment Canada

GROUPE DE RECHERCHE SUR L'ADAPTATION ET LES RÉPERCUSSIONS (GRAR)
Environnement Canada

PRÉVISIONS CLIMATIQUES DE LA BIODIVERSITÉ DES FORÊTS À L'AIDE DU RÉSEAU MONDIAL D'OBSERVATION DE LA TERRE DE LA SMITHSONIAN INSTITUTION

Auteur :

M.B. Karsh, D.C. MacIver, A. Fenech, et H. Auld

PUBLICATION HORS SÉRIE No 8

2007

PRÉVISIONS CLIMATIQUES DE LA BIODIVERSITÉ DES FORÊTS À L'AIDE DU RÉSEAU MONDIAL D'OBSERVATION DE LA TERRE DE LA SMITHSONIAN INSTITUTION

M.B. Karsh, D.C. MacIver*, A. Fenech et H. Auld
Environnement Canada

**Adresse de l'auteur-ressource :* Don C. MacIver, Division de la recherche sur l'adaptation et les répercussions, Environnement Canada, 4905, rue Dufferin, Toronto (Ontario) M3H 5T4; courriel : don.maciver@ec.gc.ca

1. RÉSUMÉ

La relation conceptuelle entre la température et la diversité de la famille des essences mise au point par Rochefort et Woodward (1992), et est un concept utile pour dégager, examiner et étalonner la relation entre le climat et la biodiversité. Le modèle conceptuel suppose que les principaux mécanismes qui déterminent la diversité comprennent la capacité de survivre à la température minimale absolue d'un site, et la capacité de traverser le cycle de vie dans une durée et une chaleur données d'une saison de croissance. Cette étude présente les données réelles, d'après des sites d'observation de la Terre, comme un outil de diagnostic efficace pour déterminer les zones où la biodiversité est ou n'est pas en équilibre avec le climat actuel, de même pour établir la base des prévisions dans le cadre de changements climatiques. Ce réseau d'observation est basé sur les données provenant des parcelles de surveillance établies au Canada et dans le monde à l'aide des protocoles du programme de mesure et d'évaluation de la biodiversité de la Smithsonian Institution (SI/MAB), de même que sur les données sur les degrés-jours dérivées des sites d'observation du climat.

2. INTRODUCTION

L'expansion de la population humaine, les changements dans l'utilisation des terres et les changements atmosphériques ont eu une incidence drastique sur les écosystèmes et sur les espèces à travers le monde. La protection de la diversité biologique ne repose pas sur la gestion d'une seule espèce et reconnaît plutôt la capacité fonctionnelle ou la diminution de la capacité des écosystèmes à subvenir aux besoins de nombre d'espèces variées. Dans ce contexte, les habitats forestiers subviennent aux besoins de nombreuses espèces migratoires et résidentes et servent également de sites d'étalonnage et de vérification de l'observation de la Terre par télédétection.

Ce rapport a été produit à l'origine dans le cadre des travaux de la 17e Conférence de biométéorologie et d'aérobiologie qui a eu lieu à San Diego du 22 au 25 mai 2006.

En 1992, la Smithsonian Institution (Dallmeier, 1992) a lancé un programme mondial d'observation de la biodiversité sous les auspices de l'UNESCO. Ce programme était unique et grâce à l'utilisation de tailles de parcelles normalisées et de protocoles de mesure pour les taxons multiples, les sites d'observation de la Terre en matière de biodiversité se sont multipliés et sont à présent plus de 500 dans le monde. Le Canada, par exemple, compte plus de 100 sites qui sont situés en grande partie dans les écosystèmes du Sud et surveillés par les groupes communautaires, en commençant par les habitats forestiers et leur diversité respective.

Dépendance aux échelles

La biodiversité dépend des échelles. La relation entre les échelles spatiales, les tailles de parcelles et la biodiversité doit être examinée dès le début du projet, étant donné qu'il existe des différences importantes dans les relations espèces-superficie de différents habitats. Dans bien des cas, la relation est une relation « en forme de bosse », où la diversité des forêts atteint son sommet dans des superficies d'un hectare. Par exemple, la figure 1 illustre la dépendance de la biodiversité forestière aux échelles. Les sites de Backus Woods et du Centre des recherches atmosphériques en Ontario (Canada) ont été comparés aux données recueillies en Angleterre, d'après les travaux de Crawley et Harral (2001), qui ont démontré qu'une diversité maximale pour une superficie minimale est observée sur une unité d'un hectare (Environnement Canada, 2003). En ce qui concerne la diversité des essences par continuum de superficie, les forêts mixtes caroliniennes de Backus Woods, situées dans l'une des zones les plus riches au Canada du point de vue biologique, sont très proches du pic de la courbe indiquant qu'une taille d'échantillonnage d'un hectare est nécessaire pour échantillonner le maximum d'espèces forestières dans une superficie minimale. L'analyse préliminaire démontre que l'échantillonnage d'une zone dont la superficie est inférieure à un hectare à Backus Woods aboutit à un nombre beaucoup moins important d'essences et d'espèces (Environnement Canada, 2003).

Le site du Centre des recherches atmosphériques, comptant un nombre moins important d'essences, forme un pic à la même échelle, mais sa valeur maximale est inférieure à celle du site plus diversifié de Backus Woods. Ces résultats laissent supposer qu'il existerait une famille de courbes connexes illustrant la relation entre la diversité des essences et les superficies, avec une diversité plus importante dans les zones plus importantes échantillonnées mesurant jusqu'à un hectare. Ces sites constituent le point de repère pour comparer les sites de plus en plus variés à travers les Amériques et sont également très utiles pour détecter les écarts par rapport aux réponses attendues dus aux effets de la gestion ou d'autres perturbations naturelles. Dans les forêts abritant une seule espèce, la dépendance à la superficie échantillonnée est beaucoup moins importante en comparaison avec les forêts plus diversifiées du sud du Canada. Un exemple de forêt composée d'une seule espèce est le site de Charlevoix, qui est exclusivement une monoculture d'épinettes noires, *Picea mariana.* Par conséquent, des tailles d'échantillon plus petites produiront le même résultat dans une parcelle de 20 m sur 20 m à la croissance et au rendement traditionnels que dans la zone d'un hectare.

Étant donné que la relation productivité-diversité dépend également de l'échelle, comme Chase et Leibold (2002) l'ont observé, la différence dans la composition des espèces au sein des localités doit augmenter avec la productivité. Chase et Leibold (2002) préviennent qu'à moins de les protéger, les espèces adaptées pour vivre dans des habitats à faible productivité pourraient disparaître complètement de l'écosystème. Comprendre la dépendance de la surveillance de la biodiversité des forêts aux échelles sera essentiel afin de prévoir et d'améliorer les effets humains et naturels sur les écosystèmes de la planète.

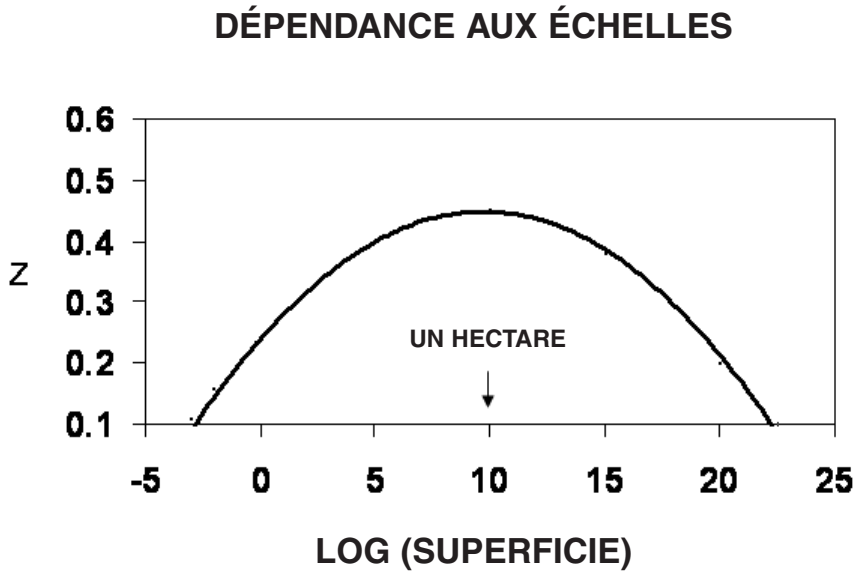

FIGURE 1. Dépendance aux échelles de la relation espèces-superficie. La pente de la courbe log espèces-log superficie, z, représentée en fonction du log (superficie).

Réseau de sites de la biodiversité forestière

Le réseau d'observation de la biodiversité forestière est composé de plus de 500 sites individuels d'observation qui permettent aux études sur les transects de relier les renseignements relatifs au climat et à la biodiversité pour l'ensemble des forêts des Amériques (figure 2). Ce réseau pourrait fournir un système d'alerte rapide des perturbations découlant des changements à l'échelle du globe. Ce réseau relie plus de 20 pays des Amériques avec leurs parcelles respectives de surveillance de la biodiversité de la Smithsonian Institution et il crée des transects qui s'étendent des sites monospécifiques de pins de la communauté crie d'Oujé-Bougoumou au Québec (Canada) aux sites monospécifiques de pins du Chili en traversant l'Amérique du Nord, l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud (Fenech et al., 2005).

Un transect à travers les gradients physiques, chimiques et écologiques permet de se prêter à des études uniques des effets cumulatifs des changements à l'échelle du globe sur la biodiversité des forêts, ce qui améliorera notre compréhension des effets des changements climatiques et contribuera à réduire davantage le déficit d'adaptation des Amériques (Fenech et al., 2005). Ce réseau, utilisant les mêmes protocoles de mesure, permet de mener des études comparatives de la biodiversité des forêts.

Le Canada dispose actuellement d'importantes connaissances et d'un nombre considérable de renseignements et de bases de données. Par exemple, environ 104 sites du programme de mesure et d'évaluation de la

biodiversité de la Smithsonian Institution (SI/MAB) au Canada utilisent à ce jour des protocoles mondiaux pour la surveillance de la biodiversité des forêts. Ces sites, situés à travers les gradients physiques, chimiques et écologiques, avec plus de 25 sites situés dans le sud de l'Ontario, permettent d'effectuer une analyse bioclimatique plus détaillée (MacIver, 1998; Environnement Canada, 2003).

Les sites de la biodiversité de Smithsonian à l'échelle internationale dans les gradients climatiques, chimiques et écologiques forment un réseau de savoir intégré et un réseautage de scientifiques, d'éducateurs et de bénévoles du public et fournissent un cadre réaliste pour établir des mesures d'adaptation (MacIver et Dallmeier, 2000). Lorsque le réseau des sites de la Smithsonian Institution connaît une expansion pour inclure les aires protégées (Union internationale pour la conservation de la nature) et les réserves mondiales de la biosphère (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture), ces sites fournissent une plateforme efficace axée sur les collectivités pour surveiller les changements des espèces forestières, des écosystèmes et de la biodiversité dans le contexte des changements climatiques (MacIver et Wheaton, 2005).

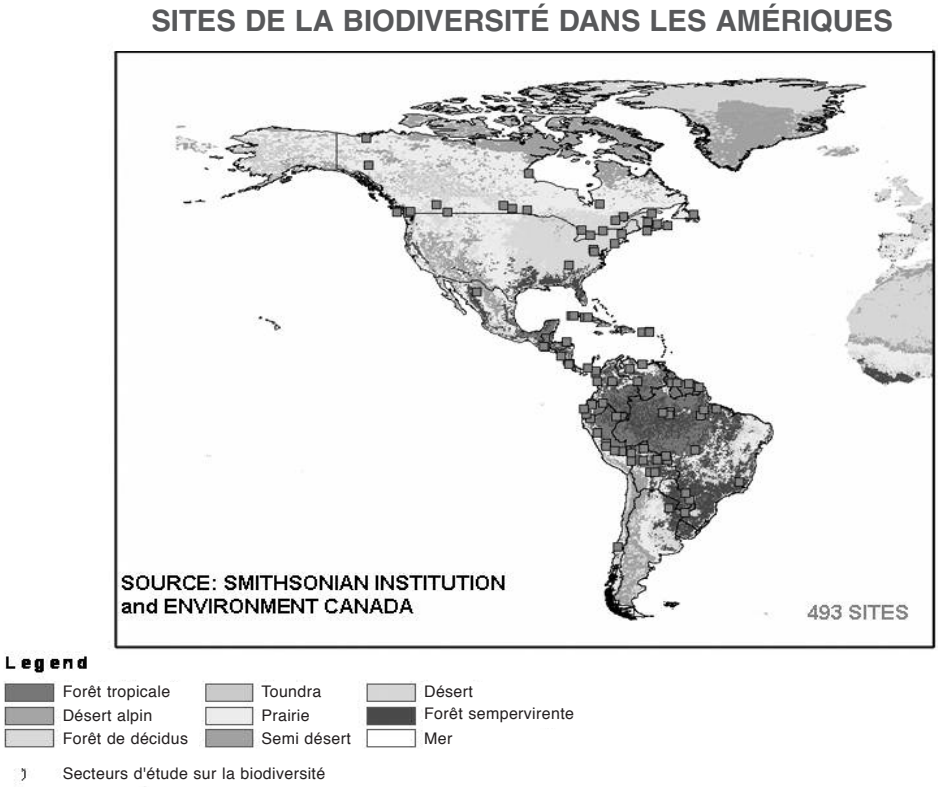

FIGURE 2. Sites de la biodiversité du SI/MAB à l'échelle internationale dans les Amériques

Grâce aux 400 réserves et plus de la biosphère dans le monde, et chacune ayant une fonction de conservation, une protection est assurée pour certains des écosystèmes les plus importants de la planète. Quelques sites du programme de mesure et d'évaluation de la biodiversité de la Smithsonian Institution (SI/MAB) se situent dans ces réserves de la biosphère et d'autres se situent dans les paysages fragmentés assujettis à de nombreux effets naturels et changements dans l'utilisation des terres. Dans la perspective de l'adaptation, les aires protégées, les réserves de la biosphère et les sites de Smithsonian sont bien situés pour devenir le réseau mondial de surveillance qui reliera les dimensions humaines du développement et de la conservation naturelle au sein d'un cadre socioéconomique, biotique et abiotique intégré (MacIver et Wheaton, 2005).

3. MÉTHODES

Sites de la biodiversité

Un sous-échantillon de tous les sites a été choisi pour l'analyse et représente les conditions mixtes non gérées qui pourraient être comparées aux sites partout dans les Amériques. Les sites de la biodiversité situés à proximité des milieux marins ou qui ont été plantés ou traités par l'entremise d'un ou plusieurs scénarios forestiers, comme le brûlage contrôlé ou les sites exposés à des effets d'origine naturelle ou humaine, ne font pas partie de l'analyse. De plus, les sites avec des monocultures pures (>90 %) d'épinette noire *(Picea mariana)*, de sapin baumier *(Abies balsamea)* ou d'érable à sucre *(Acer saccharum)* ne font pas partie non plus de l'analyse.

Climate Stations

Vingt stations climatiques du Canada ont été utilisées dans l'analyse. Les normales climatiques sur 30 ans à long terme (entre 1970 et 2000) sont disponibles en ligne par l'entremise d'Environnement Canada à l'adresse suivante :

http://www.climate.weatheroffice.gc.ca/climateData/canada_f.html?&

Les estimations des degrés-jours de croissance pour l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud ont été récupérées à partir de cartes de la biosphère produites par New et al. (1999) et des données climatiques pour les sites de la Virginie, aux États-Unis, étaient disponibles à partir du National Climatic Data Center (NCDC).

RÉSULTATS

La relation conceptuelle entre la diversité des essences et les degrés jours conçue par Rochefort et Woodward (1992) a été un point de départ utile pour examiner et étalonner la relation actuelle entre le climat et la biodiversité. Les bases de données bioclimatiques à long terme au Canada et les sites de biodiversité du programme de mesure et d'évaluation de la biodiversité de la Smithsonian Institution (SI/MAB) ont été utilisés afin d'illustrer le renforcement de cette relation. Dans le présent document, nous avons choisi de continuer le travail de MacIver (1998) afin de créer et d'étalonner la ligne de base entre le climat et la biodiversité. Le modèle de Rochefort et Woodward suppose que les principaux mécanismes qui déterminent la diversité comprennent

la capacité de survivre à la température minimale absolue d'un site, et la capacité de traverser le cycle de vie dans une durée et une chaleur données d'une saison de croissance. L'élaboration d'un indice de diversité des essences mesuré par rapport aux degrés jours est un modèle stratégique scientifique utile pour comprendre les effets anticipés des changements climatiques mondiaux sur la biodiversité (MacIver, 1998).

Dans de nombreux endroits au Canada, la diversité des essences devrait être en équilibre avec le climat actuel. Par exemple, selon les degrés jours au parc national de Kejimkujik, huit essences ont été observées dans les forêts mixtes non gérées d'un hectare du programme de mesure et d'évaluation de la biodiversité de la Smithsonian Institution (SI/MAB). En comparaison, dans le Sud de l'Ontario, une région qui a connu des changements importants atmosphériques et d'origine humaine, les trois essences se trouvent généralement au niveau de diversité des essences 12 ou 13 ou à un niveau inférieur.

Les figures 3 et 4 illustrent la biodiversité actuelle des forêts à l'aide des résultats individuels du programme de mesure et d'évaluation de la biodiversité de la Smithsonian Institution (SI/MAB) parmi la ligne de base de la diversité entre le climat et l'essence par rapport aux degrés jours, définis comme les degrés-jours de croissance supérieurs à 50 °C. Cette ligne de base pourrait être utilisée comme un outil de diagnostic efficace pour déterminer les zones où la biodiversité est en équilibre avec le climat actuel (MacIver, 1998) et comme un outil de prévision dans le contexte des changements climatiques.

Des preuves indiquent que la biodiversité n'est pas toujours en équilibre avec le climat actuel. Citons à titre d'exemples les peuplements forestiers gérés ou les peuplements qui ont été exposés à des effets humains et naturels. Par exemple, les techniques de gestion ou de brûlage contrôlé à Long Point, en Ontario, ont réduit la biodiversité des essences à 4 ou 5 essences, ce qui représente une baisse de près de 70 %. Permettre les effets importants d'origine humaine dans la forêt d'un site du zoo de Toronto a réduit la biodiversité à 7 essences; seulement 4 de ces essences ont 5 plants ou plus, ce qui représente une baisse d'au moins 50 %.

Les sites gérés et touchés démontrent de larges écarts d'après la ligne de base entre le climat et la biodiversité. Évidemment, de nombreuses raisons expliquent ces déséquilibres. Le Sud de l'Ontario est une région où le décroissement historique de la forêt carolinienne s'est traduit par de petites terres à bois hautement fragmentées et entourées d'une agriculture intensive ou d'un développement urbain intensif. Il s'agit aussi d'une région où tous les facteurs de stress atmosphériques ont une incidence sur la biodiversité (MacIver, 1998). De même, les sites occupés principalement par une seule espèce ou les sites dans les régions marines démontrent aussi de larges écarts d'après la ligne de base entre le climat et la biodiversité. Cette recherche préliminaire laisse entendre qu'avec suffisamment de données, un ensemble distinct de courbes pourrait être produit pour les sites monospécifiques, les sites gérés ou touchés et les sites directement influencés par des plans d'eau importants.

L'accumulation continue des résultats du site d'observation dans le cadre du programme de mesure et d'évaluation de la biodiversité de la Smithsonian Institution (SI/MAB) à l'échelle mondiale, ainsi que les observations climatiques sur place, fournit une importante occasion de surveillance pour créer, évaluer et étalonner la ligne de base des changements atmosphériques et de la biodiversité. Par exemple, lorsque les résultats provenant des sites de Smithsonian en Virginie sont tracés (figure 3), les observations préliminaires peuvent suggérer qu'il est possible que l'axe de la diversité des essences ne soit pas linéaire, mais qu'il soit logarithmique ou exponentiel en s'approchant des régions équatoriales (MacIver, 1998). Les recherches préliminaires semblent également indiquer cette relation en raison de certains échantillons supplémentaires en Amérique centrale et en Amérique du Sud qui ont été tracés (figures 3 et 4).

Les calculs de prévision ont été mis à l'essai par rapport aux sites d'observation indépendants de la biodiversité et ont été exécutés avec exactitude au Canada. Plus important encore, dans le contexte des changements climatiques de la deuxième génération du modèle couplé climatique global (MCCG2), la biodiversité des essences a la possibilité d'augmenter de 60 % d'ici 2050 dans la région de Toronto, au Canada, ce qui est semblable à la hausse que connaît actuellement la région de Washington, D.C.

Des études ont montré que le climat urbain de la ville de Toronto s'est déjà réchauffé et a atteint les prévisions climatiques énoncées pour 2050. Il y a plus de cinq ans, un site expérimental des changements climatiques d'un hectare a été établi dans l'arboretum de Humber, à Toronto, afin d'évaluer le rendement de la biodiversité de la forêt indigène, de la forêt de type « Washington » et d'arbustes en utilisant la conception du secteur d'étude; ce rendement est toujours mesuré annuellement.

Bien que des sites supplémentaires de la biodiversité, du climat polaire au climat équatorial, soient sectionnés transversalement, une surveillance normalisée et une modélisation mondiale seraient utiles pour étalonner davantage cette courbe. Il existe également une occasion importante en matière d'utilisation des sites d'observation de la Terre pour étalonner et vérifier l'imagerie de télédétection afin de combler les lacunes spatiales, et ce, à l'échelle mondiale.

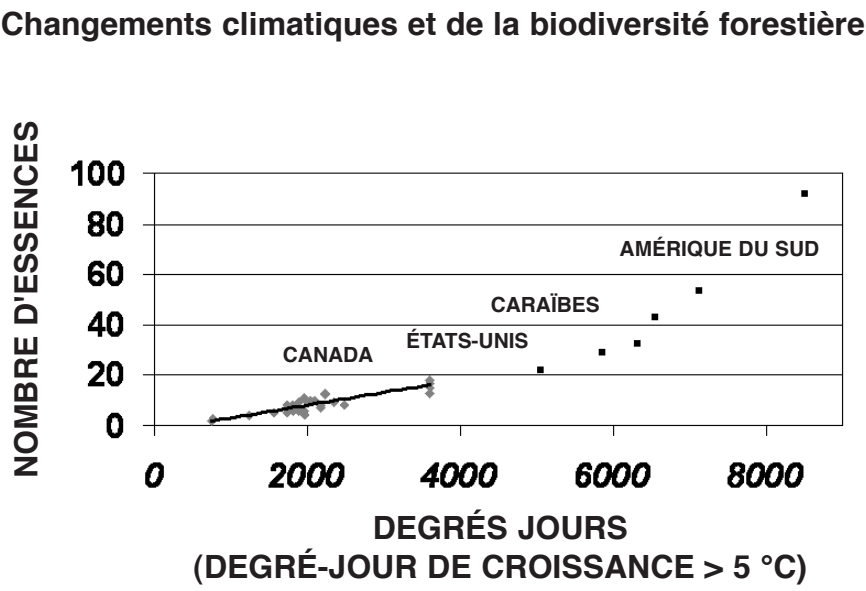

FIGURE 3. Nombre d'essences lié aux degrés jours au Canada comparativement aux sites de référence aux États-Unis, dans les Caraïbes et en Amérique du Sud

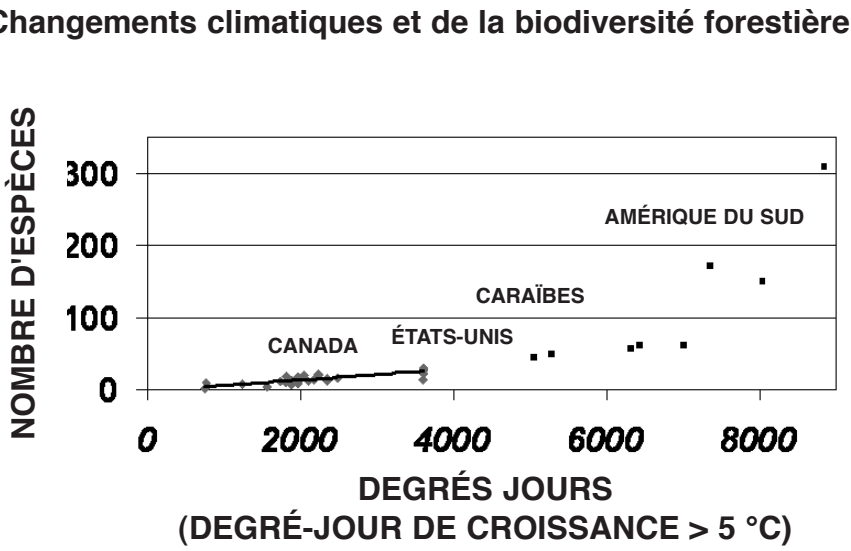

FIGURE 4. Nombre d'espèces lié aux degrés jours au Canada comparativement aux sites de référence aux États-Unis, dans les Caraïbes et en Amérique du Sud

CONCLUSIONS

La biodiversité de la forêt, à tous les niveaux de taxons, est devenue une question de plus en plus importante pour appuyer la modélisation détaillée des puits et des sources de carbone à l'échelle mondiale dans le contexte des changements climatiques (MacIver et Wheaton, 2005). La conservation de la biodiversité ne repose pas sur la gestion d'une seule espèce et reconnaît plutôt la capacité fonctionnelle ou la diminution de la capacité des écosystèmes à subvenir aux besoins de nombre d'espèces variées. Au Canada, les exemples comprennent une quasi-élimination de la forêt carolinienne dans le Sud de l'Ontario, une diminution des forêts anciennes en Colombie-Britannique et ailleurs, une diminution de la sauvagine dans les Prairies canadiennes, une baisse de la santé de la forêt dans l'est du Canada, une augmentation des gaz à effet de serre et d'autres polluants atmosphériques et des changements dans les stocks de poissons sur les trois côtes. Les écosystèmes canadiens sont limités et manquent une diversité d'espèces liées aux climats plus au sud. Le Canada peut difficilement se permettre de perdre une seule autre espèce ou un seul autre écosystème (MacIver, 1998).

La biodiversité est un important enjeu de portée générale qui relie de nombreux scientifiques et disciplines. Les réseaux de la biodiversité des forêts profiteraient grandement de ces liens en utilisant le Système d'information géographique (technologies de télédétection). Des sites de surveillance supplémentaires doivent traverser les limites biologiques et les gradients atmosphériques de l'équateur aux pôles afin de comprendre les changements relatifs, les possibilités d'adaptation et les orientations stratégiques internationales (MacIver, 1998). Les enjeux de la biodiversité et les programmes scientifiques connexes tireraient profit de plus

d'échanges et d'une plus grande collaboration à l'échelle internationale (MacIver, 1998). Le partage des données sur la biodiversité est essentiel à la durabilité de la biodiversité et à son taux de perte, globalement.

Les prévisions écologiques demandent l'intégration des prévisions de la variabilité météorologique et climatique, de la télédétection de la biosphère et des modèles écologiques pour prévoir les changements futurs dans les états écologiques. Soutenir les écosystèmes productifs et rétablir ceux qui sont perturbés, dépendent de notre capacité à comprendre et à prédire les effets des activités humaines et des processus naturels sur ces systèmes – autrement dit, notre capacité à prévoir les changements. Dans les écosystèmes terrestres, de nombreux changements en matière de biodiversité qui se produiront au cours des 100 prochaines années seront probablement dus aux changements dans l'utilisation des terres (Waldhardt et al., 2004) et aux changements climatiques. Nous devons anticiper la réaction des écosystèmes aux facteurs de stress d'origine naturelle et humaine.

Il est impossible de produire des prévisions écologiques sans la disponibilité de renseignements fiables sur les conditions actuelles et historiques des écosystèmes et le réseau de sites de surveillance de la biodiversité des forêts est essentiel à cette compréhension. De même, la réussite des décisions prises en réponse à des prévisions précises ne peut pas être évaluée sans une surveillance continue des changements. De nouveaux outils d'observation, de modélisation et de gestion des données sont nécessaires pour traiter la collecte, l'intégration et l'interprétation des données biologiques et chimiques complexes et les rendre disponibles (Clutter, 2005).

Une capacité d'établir des prévisions (figures 3 et 4) peut donner une certaine assurance aux décideurs et aux groupes de planification régionaux afin d'aller de l'avant, de mettre en œuvre ou de changer les instruments stratégiques actuels, de déterminer les seuils critiques de climat pour les biomes importants, d'élaborer et de tester les indicateurs clés de changement, et de mettre en évidence les espèces ou les communautés iconiques ou les communautés sous le coup d'une menace immédiate (Chilcott et al., 2003).

La biodiversité est dépendante d'une échelle, comprend des taxons multiples et change en réponse à l'utilisation des terres et aux changements climatiques. Les prévisions axées sur le climat formulées à l'aide du réseau mondial d'observation de Smithsonian ont fourni de précieuses connaissances sur le couplage fondamental atmosphère-biodiversité et renforceront les synergies entre les questions climatiques et de la biodiversité, à l'échelle nationale et mondiale.

ACKNOWLEDGEMENTS

Reconnaissance étendue à Francisco Dallmeier et à Alfonso Alonso (Smithsonian Institution); Robin Bing Rong, Joan Klaassen, Neil Comer et Brian Craig (Environnement Canada) et Alice Casselman (Association for Canadian Educational Resources – ACER).

RÉFÉRENCES

Chase, J. M. and M. A. Leibold., 2002: Spatial scale dictates the productivity-biodiversity relationship. *Nature*, **416**, 427-429.

Chilcott, C., D. Hilbert and M. Howden., 2003: Modelling Biodiversity and Climate Change. *Climate change impacts on Biodiversity in Austrailia*, Outcomes of a workshop sponsored by the Biological Diversity Advisory Committee, 1-2 October 2002, Department of the Environment and Heritage, August 2003.

Clutter, M., (chair) 2005: Ecological forecasting: agenda for the future. *Committee on Environment and Natural Resources*. Subcommittee on Ecological Systems. 8 pp.

Crawley, M.J., and J. E. Harral., 2001: Scale dependence in plant biodiversity. *Science*, **291**, 864-868.

Dallmeier, F., 1992: Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas. *MAB Digest,* UNESCO.

Environment Canada, 2003: EMAN: Monitoring biodiversity in Canadian forests. *Report prepared by EMAN Coordinating Office,* Burlington, Ontario, Canada. 89 pp.

Fenech, A., M. Murphy, D. MacIver, H. Auld and R. Bing Rong, 2005: The Americas: building the adaptive capacity to global environmental change. *Occasional Paper 5.* Adaptation and Impacts Research Group (AIRG), Meteorological Service of Canada, Environment Canada, No. 5, 20 pp.

Karsh, M.B., 2001: Research on biodiversity and plant hardiness zones across a Southern Ontario transect. *Leading Edge 2001.* Focus on the Biosphere Reserve Oct 17-19, 2001. Niagara Escarpment Commission.

MacIver, D., 1998: Atmospheric Change and Biodiversity. *Environ. Monit. Assess.*, **49**, 177-189.

MacIver, D., and F. Dallmeier., 2000: Adaptation to climate change and variability: adaptive management. *Environ. Monit. Assess.*, **61**,1-8.

MacIver, D., and E. Wheaton., 2005: Tomorrow's forests: adapting to a changing climate. *Climate Change*, **70**, 273-282.

New, M.G., M. Hulme and P.D. Jones., 1999: Representing 20th century space-time climate variability. I: Development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*, **12**, 829-856.

Rochefort, L., and F. I. Woodward., 1992: Effects of climate change and a doubling of CO_2 on vegetation diversity. *J. Exp. Bot.*, **43**, 1169-1180.

Waldhardt, R., D. Simmering and A. Otte., 2004: Estimation and prediction of plant species richness in a mosaic landscape. *Landscape Ecol*., **19**, 211-226.

Publication hors série 1 : *Novembre 2004, changements climatiques et déficit d'adaptation, Ian Burton*

Publication hors série 2 : *Janvier 2005, Intégration des connaissances scientifiques sur l'adaptation et les impacts pour le développement de solutions, Don C. MacIver*

Publication hors série 3 : *Janvier 2005, villes et collectivités : vulnérabilité des infrastructure face à l'évolution du climat, Heather Auld and Don MacIver*

Publication hors série 4 : *Janvier 2005, Changements Climatiques : Renforcer la Capacité d'adaptation, Adam Fenech, Don MacIver, Heather Auld, Robin Bing Rong et Yongyuan Yin*

Publication hors série 5 : *Mai 2005, Les Amériques : Renforcement des capacités d'adaptation aux changements environnementaux planétaires, Adam Fenech, Mary Murphy, Don MacIver Heather Auld et Robin Bing Rong*

Publication hors série 6 : *Août 2005, Biométéorologie et adaptation : Un aperçu, Don MacIver, Heather Auld, Natty Urquizo and Marianne Karsh*

Publication hors série 7 : *Influences atmosphériques sur l'industrie acéricole en Amérique du Nord, Don C. MacIver, Marianne Karsh, Neil Comer, Joan Klaassen, Heather Auld, et Adam Fenech*

POUR OBTENIR DES COPIES ADDITIONNELLES :

DIVISION DE RECHERCHE SUR L'ADAPTATION ET LES RÉPERCUSSIONS
Service météorologique du Canada
Environnement Canada
4905, rue Dufferin
Toronto (Ont.) M3H 5T4 Canada

Attention : Don MacIver
don.maciver@ec.gc.ca