Environnement Canada Environment Canada

DIVISION DE RECHERCHE SUR L'ADAPTATION ET LES RÉPERCUSSIONS (DRAR)
ENVIRONNEMENT CANADA

EFFETS DES PHÉNOMÈNES CLIMATIQUES EXTRÊMES SUR LA BIODIVERSITÉ DANS LES AMÉRIQUES

Par :
Marianne B. Karsh et Don C. MacIver

PAPIER OCCASIONNEL 15

2009

EFFETS DES PHÉNOMÈNES CLIMATIQUES EXTRÊMES SUR LA BIODIVERSITÉ DANS LES AMÉRIQUES

Marianne B. Karsh[1] et Don C. MacIver[1]

[1] Division de la recherche sur l'adaptation et les répercussions,
4905, rue Dufferin, Downsview (Ontario) M3H 5T4

RÉSUMÉ : Depuis 1970, les phénomènes climatiques extrêmes qui influent sur la biodiversité dans les Amériques sont beaucoup plus fréquents, plus longs et plus graves qu'auparavant. On constate des périodes de sécheresse plus longues, des incendies de forêt plus fréquents, des températures plus élevées ainsi que des tempêtes, des ouragans et des précipitations plus intenses. On remarque aussi une plus grande variabilité des épisodes d'oscillation australe d'El Niño, de même qu'une augmentation de la superficie totale touchée par les inondations, le recul des glaciers, la fonte du pergélisol, la désertification, les glissements de terrain et les avalanches. Les événements extrêmes concomitants - inondations et températures élevées, sécheresses et grands vents, sécheresses et inondations par exemple - deviennent de plus en plus courants. En plus d'être un facteur crucial dans les changements climatiques, les phénomènes extrêmes présentent une plus grande corrélation que les changements climatiques seuls avec les changements prévus de la biodiversité. Même si les écosystèmes montrent une forte résilience aux ouragans, aux tempêtes de verglas et aux autres événements extrêmes, il peut arriver que ces phénomènes aient d'importantes répercussions sur la biodiversité une fois qu'ils dépassent certains seuils de durée, d'intensité et de gravité. Les pertes de biodiversité qui en résultent peuvent réduire la résistance écologique et la capacité d'adaptation aux changements climatiques. Pour pallier les pertes éventuelles de biodiversité et proposer des mesures d'adaptation visant à renforcer la résilience des écosystèmes aux dangers liés au climat, les chercheurs et les décideurs ont besoin d'une base de données de référence aux fins de surveillance. La base de données actuelle, à savoir le réseau d'observation de la biodiversité forestière, comprend plus de 500 lieux d'observation distincts qui permettent d'effectuer des études le long de transects afin d'établir des liens entre les renseignements sur le climat et la biodiversité. Des études de cas exécutées au Canada montrent l'avantage d'utiliser les études le long de transects pour analyser les effets des dangers climatiques et les risques connexes qu'ils présentent pour la biodiversité. Pour renforcer la base de données existante sur les lieux d'observation de la biodiversité dans les Amériques, le document examine l'aménagement futur de sites dans des secteurs cruciaux pour la biodiversité en fonction de gradients climatiques, chimiques et écologiques. L'ouvrage présente des stratégies d'évaluation des risques et analyse les effets sur la biodiversité dans des sites exposés aux ouragans, aux tempêtes de verglas et aux dommages causés par le broutage.

Mots-clés : biodiversité, phénomènes climatiques extrêmes, dangers, réchauffement, ouragans, tempêtes de verglas, incendies de forêt, sécheresse, inondations, courbes de diversité, synergies, écosystèmes, conservation, résilience, adaptation, Smithsonian Institution, réseau mondial de surveillance.

Document initialement examiné par des pairs aux fins d'insertion dans *Climate Change and Biodiversity in the Americas* publié sous la direction de A. Fenech, D. MacIver et F. Dallmeier, Environnement Canada, Toronto (Ontario, Canada), 366 p.

1. Introduction

Le réchauffement du système climatique ne fait pas de doute, comme en témoignent les observations montrant l'augmentation de la température de l'air et des océans, la fonte accrue de la neige et de la glace (glace de glacier et pergélisol) et l'élévation du niveau moyen des mers dans le monde (GIEC, 2007). Dans cette nouvelle réalité des changements climatiques, l'intensification des phénomènes climatiques extrêmes est considérée comme l'un des facteurs les plus importants et les plus complexes qui influent profondément sur les espèces, les écosystèmes et sur l'ensemble de la biodiversité terrestre (GIEC, 2001; Jentsch *et al.*, 2007).

De petits changements climatiques peuvent amener des modifications disproportionnées de la fréquence et de l'ampleur des événements extrêmes (Leemans et van Vliet, 2005). Un changement de la distribution de la température provoque un effet beaucoup plus grand lorsqu'il touche un point extrême que lorsqu'il se situe près de la moyenne. Un changement d'un écart-type amène un événement survenant normalement tous les 40 ans à se produire tous les six ans, ce qui réduit les périodes d'attente entre les événements extrêmes (Kharin *et al.*, 2007). En conséquence, les effets sont plus rapides, plus divers et plus étendus que ceux qu'on avait prévus antérieurement (Leemans et van Vliet, 2005).

Les écosystèmes réagissent plus rapidement aux événements météorologiques extrêmes qu'aux conditions climatiques moyennes. Les réactions écologiques aux événements extrêmes se font sentir plus rapidement et la plupart des changements de la biodiversité observés sont attribués aux changements provoqués par des conditions extrêmes (Leemans et van Vliet, 2005). La durée des saisons et la variabilité climatique contribuent davantage à expliquer les gradients des espèces que les conditions climatiques annuelles, exception faite de l'évapotranspiration annuelle possible (Githaiga-Mwicigi *et al.*, 2002). Le rythme des changements climatiques ainsi que les répercussions et la forme des événements climatiques extrêmes sont cruciaux et varient à l'échelle nationale, régionale et même locale.

Les écosystèmes montrent d'étonnantes réactions de rétablissement face à la plupart des phénomènes climatiques extrêmes. Dans certains cas, on assiste à une augmentation de la biodiversité en raison de la diminution des espèces dominantes qui permet à un plus grand nombre d'espèces non dominantes d'occuper le site (Huston, 2007). Il arrive aussi qu'on constate une intensification de la biodiversité quand un plus grand nombre d'espèces envahissantes et d'espèces végétales exigeant de la chaleur occupent les lieux touchés par des événements climatiques extrêmes. Cependant, même si le réchauffement du climat peut dans certaines situations favoriser une augmentation de la biodiversité (nouvelles espèces), il peut aussi contribuer à la perte d'espèces indigènes.

De façon générale, lorsque la biodiversité est soumise à des événements climatiques extrêmes, elle régresse immédiatement ou à court terme, en particulier quand les périodes qui séparent ces événements deviennent plus courtes. Cela est particulièrement vrai pour les incendies intenses, les ouragans (catégorie 3 ou plus), les vagues de chaleur, les précipitations et les ondes de tempête extrêmes, les sécheresses prolongées et la désertification. On s'attend à ce que la biodiversité des espèces adaptées au froid et à l'humidité, des espèces vivant dans des zones de latitude élevée, des espèces ayant un faible taux de reproduction ou une mobilité limitée, des espèces endémiques et des espèces spécialistes possédant une longue durée de vie et des exigences pointues en matière d'habitat régresse devant l'augmentation des événements climatiques extrêmes (Archaux et Wolters, 2006; Leemans et van Vliet, 2005, annexe 1).

La menace que présentent les événements climatiques extrêmes pour la biodiversité est encore aggravée par le fait que les êtres humains ont modifié la structure d'un grand nombre d'écosystèmes mondiaux par le morcellement de l'habitat, la dégradation des terres, la pollution et d'autres perturbations qui les rendent moins résistants au changement. La situation est désastreuse; en effet, de nos jours, le rythme de régression de la

biodiversité est mille fois plus élevé que celui qu'avaient révélé les études de fossiles (Balvanera, 2006). Autrefois, une espèce de mammifère et deux espèces d'oiseaux disparaissaient tous les 400 ans, alors qu'aujourd'hui, 58 mammifères et 115 espèces d'oiseaux disparaissent pendant le même nombre d'années (Groombridge, 1992). Parmi les espèces d'oiseaux et de mammifères dont on a signalé l'extinction depuis 1970 figurent le lapin d'Omilteme, le wallaby de Grey, la chauve-souris frugivore à dos nu, la grèbe des Andes, le troglodyte des halliers et le monarque de Guam (http://www.unep-wcmc.org/latenews/extinct.html).

La biodiversité et le climat ont un rapport symbiotique complexe. Non seulement le climat influe sur la biodiversité, mais celle-ci atténue à son tour les événements climatiques extrêmes. La biodiversité est essentielle à la régulation du climat et elle constitue un élément important pour la stabilisation des écosystèmes et le soutien du développement durable (Stott, 2007). Les écosystèmes qui contiennent de nombreuses espèces végétales différentes constituent des puits de carbone plus efficaces, sont plus productifs et sont mieux à même de résister aux ravageurs, aux organismes nuisibles et aux événements climatiques extrêmes et de se remettre de leurs attaques. L'augmentation continue de l'intensité des événements extrêmes mine la capacité des écosystèmes naturels de servir de tampon aux changements climatiques, y compris aux événements climatiques extrêmes et cela a de graves effets sur les écosystèmes et les sociétés (GIEC, 2001; Jentsch *et al.*, 2007).

En ce qui concerne les changements climatiques et la conservation écologique, une des principales questions est donc de savoir comment les écosystèmes font face à l'augmentation des événements climatiques extrêmes (Reusch *et al.*, 2005). Le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) signale une croissance mesurable de l'activité cyclonique tropicale et des régions touchées par la sécheresse depuis 1970 (GIEC, 2007). Il constate la même tendance pour les incendies de forêt et les fortes inondations. La plupart des études récentes sur les changements climatiques indiquent que la fréquence, la durée, la gravité et l'intensité des événements climatiques extrêmes continueront de s'accroître et que la variabilité du climat augmentera (Conway, 2007; Markham, 1996; Jentsch *et al.*, 2007, annexe 1). Il est donc impératif de comprendre ces changements intenses qui influent sur les écosystèmes et de déceler les réactions aux événements climatiques extrêmes dans un éventail d'écosystèmes et de zones bioclimatiques des Amériques.

On a procédé à un examen détaillé de la documentation scientifique afin de déterminer les répercussions actuelles et prévues de six grandes catégories de phénomènes climatiques extrêmes sur la biodiversité dans les Amériques : réchauffement extrême, ouragans, sécheresses, tempêtes de verglas, incendies de forêt, précipitations et inondations. L'analyse des résultats de même que les données tirées de l'évaluation normalisée de la diversité dans des parcelles d'observation existantes d'un hectare montrent combien les événements climatiques extrêmes remodèlent de façon spectaculaire les écosystèmes et renforcent le besoin d'un organisme de surveillance mondial pour suivre les changements et recommander des mesures d'adaptation pertinentes.

2. Mesure des effets des événements climatiques extrêmes

L'évaluation des effets des événements climatiques extrêmes sur la biodiversité exige des outils de mesure quantitatifs fiables. Les courbes de diversité sont des outils d'évaluation rapides qui permettent aux scientifiques de prendre en compte toutes les espèces au lieu de se limiter aux espèces rares. Ces courbes peuvent servir à illustrer les effets liés au climat, l'axe y représentant l'abondance proportionnelle sur une échelle logarithmique et l'axe x représentant le nombre d'espèces ou de familles. Les familles sont classées selon leur abondance (plus grande à moins grande) et chaque famille compte au moins cinq sujets.

Les courbes de diversité fournissent une mesure relative de l'abondance proportionnelle des arbres dans les sites et déterminent les secteurs où l'abondance est élevée, moyenne et faible. Les gradients latitudinaux de

diversité vont d'élevés dans les régions tropicales à faibles dans l'Arctique. Le Pérou compte en moyenne 152 espèces végétales différentes d'au moins 10 cm de diamètre par hectare. Dans le nord de l'Europe, la moyenne est de 18 espèces par hectare, alors qu'elle atteint 29 espèces dans l'est des États-Unis. Dans les sites canadiens, le nombre moyen d'espèces d'arbres est de onze par hectare. Les courbes de diversité montrent également dans quelle mesure les événements climatiques extrêmes et d'autres menaces comme l'activité humaine et les brûlages dirigés peuvent réduire le nombre de familles (Environnement Canada, 2003).

La figure 1 montre les courbes de diversité des familles d'arbres, créées à partir des données sur la biodiversité concernant le secteur touché par un ouragan à Bisley (Puerto Rico) et elle les compare à des sites possédant une biodiversité comparable, à savoir Backus Woods dans la réserve de la biosphère de Long Point au Canada, le parc national de Soberania (Panama), la réserve extrêmement diversifiée d'Urubamba (Pérou), le parc national de Jiangfengling (Chine) modérément diversifié, le parc Dikola (Cameroun) et les forêts renfermant une seule espèce dans la réserve de la biosphère de Charlevoix (Canada). À Charlevoix, l'épinette noire constitue un exemple important de monoculture canadienne puisque la réserve ne renferme qu'une famille d'arbre par hectare comparativement à quelque 50 familles en Amérique du Sud. Backus Woods au Canada et le parc Bisley en Amérique centrale contiennent un nombre de familles semblable (<15), alors que Dikola au Cameroun compte environ trente familles par hectare (Figure 1). Les courbes de diversité laissent entendre que la conservation d'une espèce unique dans un écosystème nordique peut être plus essentielle au fonctionnement de l'écosystème que si elle se trouvait dans un écosystème tropical très diversifié regorgeant d'espèces diverses et présentant d'abondantes variations génétiques.

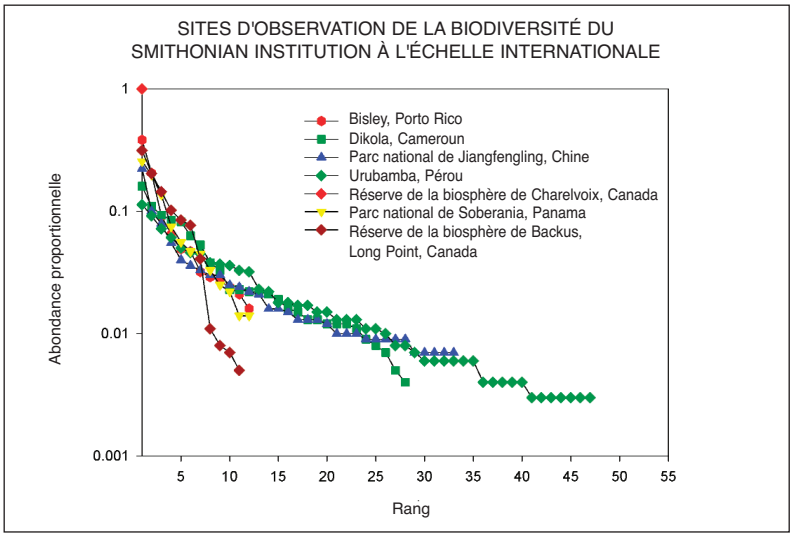


Figure 1 Diversité dans les divers lieux d'observation de la biodiversité forestière établis par la Smithsonian Institution en Asie, en Afrique, en Amérique du Sud et au Canada.

Les courbes de diversité constituent un point de repère pour déterminer la biodiversité existante dans les conditions climatiques actuelles. Pour cerner l'influence possible des événements climatiques extrêmes sur cette biodiversité, on a évalué les lieux pour lesquels on disposait de données afin d'établir s'ils avaient fait face à un événement extrême pendant la période de surveillance. On a ensuite comparé les courbes de diversité avant et après l'événement, de même que les sites similaires qui n'avaient pas subi d'événement climatique extrême. Comme on s'est servi du réseau existant de parcelles d'un hectare utilisées pour surveiller la biodiversité et implantées dans des réserves de la biodiversité, dans des parcs ou sur des terrains appartenant à des universités et non pas nécessairement à des endroits où on s'attend à des événements climatiques extrêmes, les données disponibles ne sont pas suffisantes pour établir des courbes de diversité pour la majorité des événements climatiques extrêmes examinés ici. Le manque de données qui en résulte fait ressortir l'importance de placer stratégiquement les sites de surveillance dans des écosystèmes exposés à des événements climatiques extrêmes.

3. Étude documentaire et analyse des effets des phénomènes climatiques extrêmes

3a. Réchauffement extrême

On s'attend à ce que, dans le monde, les températures de l'air augmentent de 1,4 à 5,8 °C d'ici à la fin du siècle, ce qui constituerait un taux de réchauffement pour ainsi dire sans précédent au cours des 10 000 dernières années (GIEC, 2001). On prévoit une augmentation de la fréquence de températures diurnes et nocturnes extrêmes. Selon les estimations, 3 % des espèces seront à l'aise dans les nouvelles conditions, 9 % ne connaîtront aucun changement, 15 % réussiront à s'adapter et 73 % n'y parviendront pas (Fischlin, 2007). Les systèmes dégradés et soumis à un stress dû à la chaleur seront remplacés par d'autres systèmes mieux adaptés, mais la dégradation sera rapide et le rétablissement, lent. En effet, ce dernier est affecté par le morcellement de l'habitat, la pollution et les autres changements de l'utilisation du sol. Toutes les régions des Amériques seront touchées, en particulier les tourbières hautes, les régions arctiques, alpines et montagneuses, la forêt boréale, de même que les écosystèmes arides et semi-arides.

Au cours des trente dernières années, on a constaté une augmentation de l'abondance des espèces végétales ayant besoin de chaleur, augmentation qui a coïncidé avec la hausse précipitée des températures. Il est probable que les espèces généralistes, mieux à même de rivaliser avec les autres espèces, et les espèces opportunistes ayant une vaste aire de répartition et capables de se disperser rapidement deviendront plus abondantes, alors que les espèces endémiques et les espèces spécialistes caractérisées par un habitat restreint et par une longue durée de vie risqueront de décliner. On assistera probablement à une augmentation des mauvaises herbes ou des espèces envahissantes en raison de leur capacité de se reproduire plus rapidement. Il se peut aussi que les températures élevées réduisent la résistance des plantes au froid et exercent un effet négatif sur les réactions des espèces à la variabilité des températures extrêmes. Des températures extrêmement élevées risquent de provoquer l'extinction d'espèces et le déclin ou la mort de forêts tempérées ou tropicales.

Les collectivités et les écosystèmes canadiens sont déjà confrontés au défi de s'adapter aux changements climatiques caractérisés par une élévation des températures moyennes deux à trois fois plus rapide dans le nord du Canada que dans le reste du monde. Dans le nord du Canada, les écosystèmes, les cultures indigènes et la santé de la population subissent les effets importants de l'évolution du climat et des autres changements atmosphériques connexes tels que l'augmentation des polluants atmosphériques persistants, des niveaux de rayonnement ultraviolet, de la fonte prévue de 50 % du pergélisol et de la diminution des chutes de neige (Gough

et Leung, 2002). La glace, maintenant plus mince, se brise plus tôt et se forme plus tard. Il se pourrait qu'on assiste en Ontario (Canada) à la disparition d'animaux tels que les ours blancs et certaines espèces d'oiseaux dont l'aire de répartition se déplace vers le nord (Varrin *et al.*, 2007).

On risque fort d'assister dans un proche avenir à la disparition d'oiseaux et à l'extinction d'espèces importantes dans les régions tropicales d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud qui présentaient la plus grande concentration de biodiversité. En effet, l'augmentation de 1 °C de la température de l'air dans le monde expose la moitié des grands primates et 9 % des espèces d'arbres à un risque d'extinction et modifie le fonctionnement et la composition des forêts (GIEC, 2001; AME, 2005). Elle réduit aussi de 25 % les forêts boréales et cause un dépérissement important de ces forêts entre autres (Markham, 1996). Le dépérissement de la forêt dans le bassin de l'Amazone entraîne une baisse du recyclage des pluies, une augmentation du CO2 dans l'atmosphère (Betts, 2007) et une augmentation concomitante massive de l'abondance des lianes qui réduisent l'efficacité des puits de carbone parce qu'elles offrent de moins grands réservoirs de carbone forestier que les arbres plus gros dotés d'une durée de vie plus longue (Betts, 2007).

Au Costa Rica, plusieurs biomes renfermant un nombre extrêmement élevé d'espèces endémiques qui supportent très mal les températures extrêmes pourraient connaître une réduction marquée de leur superficie ou disparaître (examiné par Malcolm *et al.*, 2006). On a établi que l'oscillation australe d'El Niño est la cause de la diminution des précipitations et de la hausse des températures au Costa Rica. La combinaison de ces extrêmes climatiques et de la déforestation entraînera probablement une élévation du capuchon nuageux qui causera la mort des fougères et des orchidées et l'extinction éventuelle des populations de grenouilles et de crapauds dans les forêts montagnardes humides (Markham, 1996; Killeen, 2007). Dans ces forêts, la perte d'arbres est irréversible. Si on coupe des arbres, la végétation n'est plus en mesure de recueillir l'humidité provenant des nuages et les conditions, devenues trop sèches, ne permettent plus à la forêt de se rétablir (Wilson et Agnew, 1992; Folke *et al.*, 2004). La conservation d'un couvert forestier suffisant dans le basin de l'Amazone pour maintenir le régime pluvial nécessite des efforts de conservation et une surveillance dans l'ensemble de l'écorégion (Olson *et al.*, 2001).

Les températures extrêmes exacerberont bon nombre des effets déjà observés sur la biodiversité. Les aires de répartition d'insectes volants, d'oiseaux, de ratons laveurs de même que de plantes arctiques et alpines se sont déplacées vers le nord et on a remarqué des changements génétiques chez les insectes, les oiseaux et les mammifères. Les dates de reproduction des grenouilles, des rainettes crucifères et des oiseaux ont changé. Parmi les autres effets aggravés par les températures extrêmes figurent le dépérissement et l'extinction accrus des arbres locaux, la formation plus précoce des bourgeons et des feuilles ainsi que le déplacement vers le pôle ou vers le nord de la limite qui sépare les arbres et la toundra (GIEC, 2001). Il se pourrait que le taux maximal de propagation de certaines espèces sédentaires et notamment d'espèces de gros arbres soit plus lent que prévu.

Des études ont montré que le climat urbain de la ville de Toronto (Ontario, Canada) s'est déjà réchauffé et a atteint les prévisions climatiques énoncées pour 2050. Pour illustrer l'effet des températures extrêmes sur la biodiversité, on a créé en 2002 à Toronto une parcelle expérimentale d'observation des changements climatiques d'un hectare à l'Arboretum de Humber où, en plus des espèces d'arbres et de buissons indigènes, on a planté des arbres indigènes de la région de Washington (D.C.) située à deux zones de croissance au sud de Toronto, c'est-à-dire à la distance de migration à laquelle les arbres pourraient être soumis en cas de changement des températures extrêmes. Dans ce site, la survie et la croissance des arbres ont été minées par les graves dommages dus au broutage par des populations de chevreuils et de souris devenues plus importantes en raison des hivers plus doux. L'installation de corsets de protection et d'autres mesures n'ont pu empêcher le broutage de plus de 70 % des arbres nouvellement plantés et une mortalité d'environ 30 % en cinq ans (Karsh *et al.*, 2008). Cette étude a permis de tirer plusieurs leçons, notamment que dans les forêts urbaines, il importe de contrebalancer les températures extrêmes par la plantation de peuplements beaucoup plus grands afin de réduire les effets du broutage causé par l'augmentation concomitante des populations animales.

3b. Ouragans

On s'attend à une augmentation et à une intensification des ouragans, des tempêtes et des épisodes catastrophiques de grands vents. On prévoit un plus grand nombre d'ouragans de catégories 4 et 5 associés aux événements météorologiques liés à El Niño et au réchauffement des océans. Comme les ouragans de catégorie 3 ou plus peuvent entraîner une restructuration de la forêt, les îles des Caraïbes, les forêts montagnardes tropicales, les récifs coralliens et les mangroves sont tous menacés (Krockenberger *et al.*, 2003).

La défoliation complète et la mortalité sont les effets les plus immédiats et les plus graves des ouragans. Comme la plupart des dommages résultent directement du vent ou de la chute de débris, la protection contre le vent est cruciale dans ces forêts. Les ouragans peuvent empêcher les espèces d'arbres pionnières de vivre assez longtemps pour atteindre le couvert forestier et les dommages touchent principalement les sujets assez gros des espèces de début de succession (Dallmeier et Comiskey, 1998), ce qui crée de la place pour les feuillus de fin de succession (Arevalo *et al.*, 2000). Les espèces qui croissent rapidement après l'ouragan sont celles qui survivent le mieux.

Les forêts des Caraïbes sujettes aux tempêtes montrent de façon caractéristique le type d'arbres qui poussent dans le sillage des ouragans, à savoir des arbres courts, buissonnants, à tiges multiples présentant un bois de cœur spongieux. L'augmentation de la production d'éthylène au collet des arbres entraîne la production accrue d'auxine et d'hormones, suivie d'une réaction de bourgeonnement (van Bloem *et al.*, 2006) qui maximise l'indice foliaire et réduit au minimum la distance nécessaire pour transporter l'eau à la tige. Ces forêts sont caractérisées par un nombre réduit de strates supérieures, par l'abondance de lianes, par l'absence d'arbres géants et par la prédominance d'une ou deux espèces (Dallmeier et Comiskey, 1998).

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes et des ouragans peut faire passer les écosystèmes à un stade moins souhaitable marqué par une capacité moindre de produire des services écosystémiques, par une perte de résilience et par un risque accru d'incendies de forêt (Folke *et al.*, 2004). Les forêts adaptées aux événements extrêmes se remettent rapidement, mais il faudra peut-être des décennies pour que le site retrouve les caractéristiques floristiques, physionomiques et avifauniques de la forêt mature (Dallmeier et Comiskey, 1998).

La figure 2 montre le site de Bisley (Porto Rico) avant et après le passage de l'ouragan Hugo en 1989. On a constaté que les familles d'arbres étaient passées de neuf à huit un an après l'ouragan. En 1999, le site contenait au moins 12 familles, soit un nombre comparable aux autres sites de la région. Il semble que l'ouragan ait au départ réduit la biodiversité, mais que la repousse se soit produite très rapidement.

3c. Sécheresse grave

Selon les prévisions, les régions touchées par la sécheresse devraient s'étendre et la fréquence, l'étendue et la durée des sécheresses estivales devraient augmenter avant la fin du siècle actuel (Archaux et Walters, 2006; Fischlin, 2007). Les forêts montagnardes tropicales devraient être particulièrement touchées. Or, ces forêts soutiennent des écosystèmes aux caractéristiques floristiques et structurelles particulières et contiennent un nombre disproportionné de plantes endémiques et menacées. Dans certaines régions des Amériques, la sécheresse pourrait être accompagnée d'une augmentation de l'aridité et de la désertification (Markham, 1996). En effet, le stress dû à la sécheresse s'accroît à mesure que l'humidité du sol diminue en été.

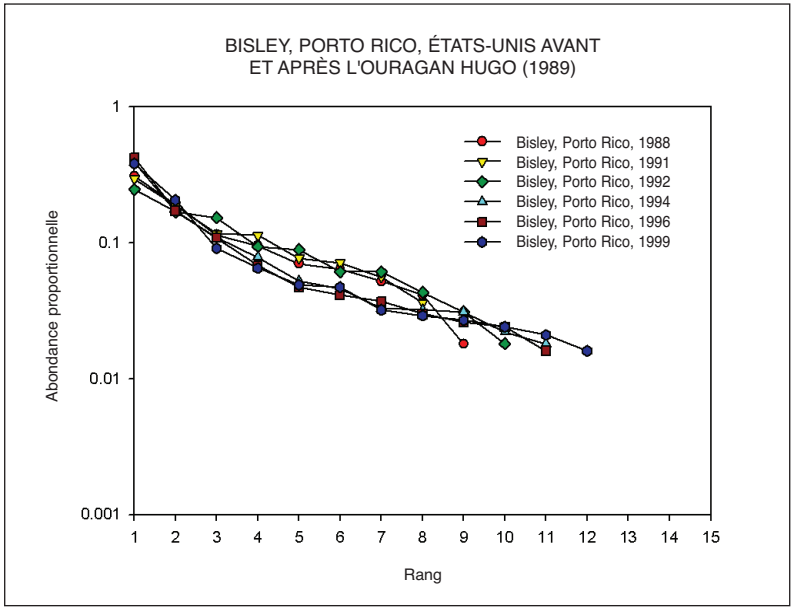


FIGURE 2 Diversité des espèces d'arbres à Bisley (Porto Rico) un an avant le passage de l'ouragan en 1988 et à des périodes de mesure subséquentes de 1991 à 1999. Remarque : Pour le moment, on dispose seulement de données sur les dix espèces principales, classées selon le degré d'abondance.

Selon les prévisions, les déficits hydriques les plus prononcés devraient survenir dans le nord-ouest de l'Argentine, le sud-ouest des États-Unis et le nord-ouest du Mexique. Il se pourrait que le centre de la Californie et l'Ouest intramontagneux connaissent d'important déficits hydriques. Les prévisions indiquent également que la sécheresse devrait toucher le nord du Chili, ainsi que le centre et le sud-est de l'Argentine et que la superficie touchée par les conditions très sèches pourrait doubler en raison des changements climatiques et des phénomènes climatiques extrêmes (Laurenroth *et al.*, 2004). Dans le bassin de l'Amazone, les arbres à feuillage persistant pourraient être transformés en écosystèmes de savane au cours du siècle prochain (Killeen, 2007). On prévoit la savanisation de l'Amazonie, la présence de biomes plus secs au nord-est du Brésil et la désertification qui les accompagne en raison de la combinaison synergique des changements climatiques, des événements climatologiques extrêmes et des modifications de l'utilisation du sol (Nobre, 2007).

Il se peut que la biodiversité forestière se montre particulièrement résistante à la sécheresse, même si la durée de cette dernière est le principal facteur à prendre en compte pour évaluer l'effet sur les écosystèmes. Le rapport entre le moment de la sécheresse, la floraison et les pollinisateurs est crucial. Un retard de la floraison dû à la sécheresse peut entraîner l'extinction des pollinisateurs (Harrison, 2000). La sécheresse prolongée peut aussi causer la désertification, permettre aux plantes ligneuses d'empiéter davantage sur les prairies de graminées vivaces et entraîner une dégradation connexe des sols dans les régions arides et semi-arides (Peters *et al.*, 2004). La désertification peut aussi causer la baisse de la productivité biologique et des incendies de forêt chroniques.

La sécheresse extrême se conjugue de façon synergique à d'autres menaces. L'infestation par les scolytes est étroitement liée au stress hydrique causé par la sécheresse (Allen et Breshears, 1998; Breshears *et al.*, 2005). L'augmentation des températures affaiblit les mécanismes de défense des hôtes et permet aux pathogènes et aux parasites de prospérer. Les phénomènes climatiques extrêmes peuvent conditionner les arbres de façon négative et augmenter leur sensibilité aux dommages secondaires dus aux organismes nuisibles, aux agents pathogènes et au chablis. La sécheresse combinée à de forts vents amène des tempêtes de poussière plus nombreuses, de même que la perte accrue de sol et de biodiversité (Krockenberger *et al.*, 2003).

3d. Tempêtes de verglas

La plupart des modèles climatiques prévoient une diminution de la fréquence et de l'ampleur des épisodes de froid extrême, mais montrent aussi certains signes de fort refroidissement ainsi qu'une hausse possible du nombre et de la gravité des tempêtes de verglas à certaines latitudes (Varrin *et al.*, 2007). Il peut arriver que les températures minimales causent des lésions soudaines et souvent mortelles; toutefois, le moment où se produisent les épisodes de gel extrême peut être plus important que la température proprement dite (Jentsch *et al.*, 2007).

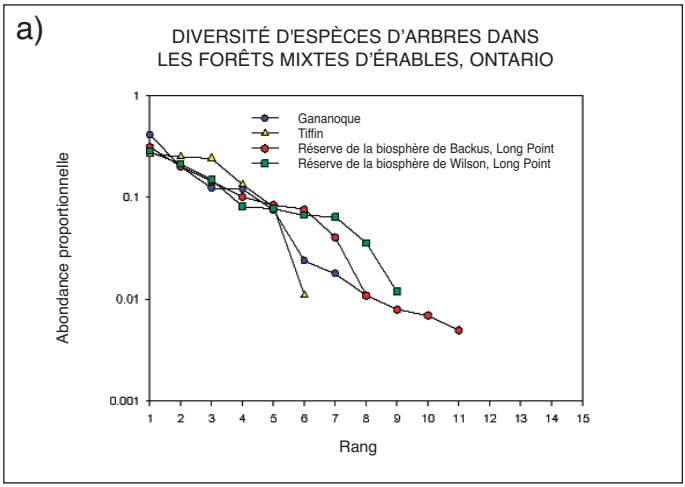
Après les tempêtes de verglas, les personnes œuvrant dans l'industrie de l'érable à sucre ont plus de difficulté à accéder aux boisés en raison des inondations, de la hauteur de la neige ou des arbres endommagés par le vent et la glace. Des dommages à 75 % du houppier peuvent entraîner la mort des arbres. Lorsque les dommages sont plus faibles, les arbres ont un taux élevé de guérison et les changements de composition et la perte de production de sirop ne persistent guère (McCready, 2004). De façon générale, les plantations forestières récemment éclaircies, les écosystèmes renfermant une seule espèce, les érables et les chênes ressentent le plus les effets de la glace; pourtant, la pousse de gourmands (guérison rapide du houppier) vient souvent contrebalancer les dommages subis par les espèces sensibles. Comme pour les autres phénomènes extrêmes, la plus grande diversification des peuplements est la meilleure forme de protection contre les effets néfastes (Neilson *et al.*, 2003).

En janvier 1998, un secteur allant de Kingston (Ontario, Canada) aux provinces Maritimes a été frappé par la pire tempête de verglas du siècle. L'impact de la tempête s'est concentré dans la vallée du Saint-Laurent et la zone située autour de Saint-Jean-sur-Richelieu, au sud-ouest de Montréal (Québec), a été la plus fortement touchée. Avant la tempête de verglas, on avait installé quatre sites permanents de surveillance de la biodiversité forestière dans la région touchée : deux sites dans la réserve de la biosphère du mont Saint-Hilaire (Québec); un site à Gananoque (Ontario) et un site à Saint-Hippolyte (Québec). Une évaluation quantitative des dommages subis par les quatre parcelles d'un hectare a été effectuée après la tempête. La réserve de la biosphère du mont Saint-Hilaire se trouvait dans la zone ayant subi les plus importants dégâts. Les dommages infligés au houppier des arbres allaient de 20 à 50 % (Environnement Canada, 2003).

Les figures 3a et 3b montrent les courbes de diversité dans les sites formés uniquement d'érables à sucre et endommagés par la tempête de verglas et les comparent à un site non touché renfermant des érables à sucre, ainsi qu'à des sites plus diversifiés sur le plan biologique. Les sites composés de forêt mixte renfermant aussi des érables et situés à Gananoque, à Tiffin et à Long Point (Ontario, Canada), présentent une abondance proportionnelle très semblable, puisque les deux sites caroliniens de Long Point renferment neuf à onze familles d'arbres, tandis que les sites de Tiffin et de Gananoque composés de forêt mixte et d'érables comptent respectivement six et huit familles d'arbres (Figure 3a).

Qu'ils aient été endommagés ou non par la tempête de verglas, les deux sites québécois peuplés d'érables à sucre renfermaient quatre familles d'arbres (Figure 3b). La forêt de Gananoque (Ontario) endommagée par la tempête de verglas et comprenant huit familles était plus jeune et sa composition différait de celle des deux autres sites touchés au mont Saint-Hilaire (Québec) qui comptaient pour ainsi dire moitié moins de familles. Le site du mont

Saint-Hilaire formé de forêt mixte et d'érables à sucre comptait cinq familles d'arbres comparativement à la parcelle mixte située dans le lieu historique de Grosse-Île (Québec) qui en comptait sept. On ne sait pas clairement si la réduction des familles peut être attribuée à la tempête de verglas, puisque moins de 70 % du houppier a été endommagé.



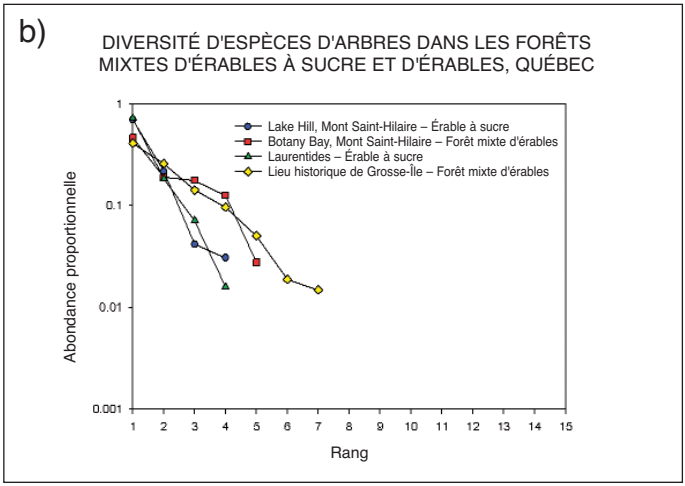


FIGURE 3 a) Diversité du peuplement d'érables à sucre au site de Gananoque (Ontario, Canada) endommagé par la tempête de verglas, comparativement aux sites caroliniens de Long Point (Ontario, Canada); 3b). Diversité des érables à sucre au site du mont Saint-Hilaire (Québec, Canada) frappé par la tempête de verglas, comparativement à des sites du Québec (Canada) composés de forêt mixte contenant des érables.

3e. Incendies de forêt

Les feux de forêt sont associés aux changements climatiques mondiaux et aux phénomènes climatiques extrêmes (Lavorel *et al.*, 2007). Comme le nombre maximal de jours consécutifs de sécheresse diminue dans les Caraïbes et ailleurs, on s'attend à ce que le nombre de secteurs présentant des incendies de forêt graves augmente dans les Amériques d'ici à la fin du siècle. Selon les prévisions, les saisons des incendies devraient augmenter de près de trente jours dans certaines régions en raison de la hausse des températures extrêmes hivernales et estivales et de la fonte plus précoce de la neige au printemps (Miller, 2006). La saison des incendies devrait commencer plus tôt et un nombre nettement plus grand de secteurs devraient subir des incendies graves à extrêmes.

On a déjà observé une tendance à l'augmentation de l'ampleur et de la durée des incendies (Odion *et al.*, 2004). La superficie des terres ravagées par des incendies de forêt au Canada a augmenté de façon spectaculaire depuis 1970 parallèlement à l'augmentation des températures estivales. Les secteurs ayant fait l'objet d'incendies aux États-Unis ont eux aussi augmenté depuis 1960 (Fishlin, 2007). On prévoit que les incendies de forêt étendus et graves deviendront plus fréquents et que les zones particulièrement menacées seront la forêt boréale, la taïga, les forêts tempérées, les peuplements aménagés et les forêts de plantation, les abords des cours d'eau et les lieux de pêche.

Les incendies de forêt extrêmes modifient la biodiversité et peuvent amener d'importants changements de la répartition des espèces végétales dominantes et des plantes plus jeunes (Stocks *et al.*, 1998.). Ils affectent aussi le sous-étage et dénudent le sol minéral (Lavorel *et al.*, 2007). À cet égard, leur impact dépasse celui des autres événements extrêmes (Eversham et Brokaw, 1996) et peut favoriser une transformation plus rapide de la végétation que les autres changements d'origine climatique. Ils peuvent amener des forêts sèches tempérées à devenir des prairies et des forêts tropicales humides à devenir des boisés secs. Les incendies extrêmes entravent l'établissement des semis, modifient l'habitat des plantes et des animaux et augmentent les menaces auxquels les espèces sont exposées.

Les incendies sont liés de façon synergique aux épisodes d'El Niño, aux ouragans, aux sécheresses, à la foudre, à la déforestation, au morcellement des forêts et aux changements de l'utilisation des sols. Les incendies de forêt extrêmes sont les plus graves pendant les épisodes El Niño au cours desquels la sécheresse prédomine (Killeen, 2007). Dans les régions tropicales, les incendies suivent souvent les ouragans. Comme ces forêts ne sont souvent pas adaptées aux incendies, ceux-ci peuvent détruire plus de 90 % des arbres les plus hauts et brûler complètement le sous-étage. Même dans ces cas, il peut arriver qu'en l'espace de cinq ans, la végétation regarnisse le site, mais avec des espèces différentes qui amènent la forêt à se trouver à un stade de succession plus précoce et donc à être moins apte à résister ultérieurement aux événements climatiques extrêmes. Comme les incendies sont plus fréquents dans les forêts dégradées, tout effet extrême ou causé par l'activité humaine réduisant la résistance de la forêt expose davantage celle-ci à des incendies extrêmes. Les gros incendies de forêt dégagent dans l'atmosphère des tonnes de dioxyde de carbone qui contribuent au déclenchement d'un nombre encore plus grand d'événements climatiques extrêmes et d'incendies.

3f. Précipitations intenses et inondations

La fréquence et la variabilité des précipitations extrêmes augmentent et imposent un stress démesuré aux écosystèmes qui sont mieux à même de s'adapter à la réduction des précipitations qu'à la variabilité accrue de ces dernières. Les régions sujettes à des précipitations extrêmes et variables sont les forêts de montagne tropicales, les tourbières et les régions arctiques, arides et semi-arides. Les averses intenses ont des répercussions particulièrement importantes à des endroits comme le Venezuela où le risque d'érosion peut être plus élevé sur les pentes abruptes et déboisées.

On s'attend à ce que le nombre de catastrophes dues aux inondations augmente, parfois en alternance avec des sécheresses. Les tempêtes et les inondations menacent les îles basses, la forêt boréale, les récifs coralliens, les mangroves, les marais côtiers, les lieux de pêche, l'habitat des animaux et les plages sablonneuses. La combinaison d'inondations et d'événements caractérisés par des températures élevées augmente elle aussi et touche en particulier les rivières et les terres humides. Le réchauffement et l'acidification des océans, en rapide croissance eux aussi, affectent les récifs coralliens, les populations de zooplancton et les organismes à coquilles, tandis que le recul des glaciers et la fonte du pergélisol progressent dans les régions polaires, montagneuses et alpines. Ce type de phénomènes extrêmes s'accompagne d'un risque accru de glissements de terrain, d'avalanches, d'inondations, de coulées de boue et de réduction de la disponibilité en eau. On assiste simultanément à une élévation du niveau des mers et à une augmentation des ondes de tempête qui influent sur les aquifères, les estuaires, les lieux de pêche, les terres agricoles et les réserves fauniques en raison de l'intrusion d'eau salée, de l'inondation des terres et de la destruction de l'habitat.

4. Synergies entre les événements climatiques extrêmes et les autres menaces à la biodiversité

Les effets des événements climatiques extrêmes dépendent d'autres processus importants tels que la perte et le morcellement de l'habitat. Parmi les grandes menaces à la biodiversité exacerbées par les phénomènes climatiques extrêmes figurent les changements climatiques planétaires, la destruction de l'habitat, la déforestation, les espèces envahissantes et la modification du régime des incendies (Ervin et Parrish, 2006, Killeen, 2007). Pour ce qui est de la végétation du « cerrado » au Brésil, il se pourrait que les réserves existantes soient les seules à survivre en raison du taux élevé de destruction de l'habitat en faveur des terres agricoles (Thomas *et al.*, 2004) et que le « cerrado » disparaisse complètement d'ici à 2030 car il se prête très bien à l'exploitation agricole mécanisée (Killeen, 2007).

Une analyse documentaire et une évaluation du Fonds mondial pour la nature (WWF) (2007) résumées aux annexes 2 et 3 montrent que la déforestation constitue la principale menace à la biodiversité au Brésil, dans les Caraïbes, au Chili, en Colombie, au Salvador, au Guyana, en Guyane française, au Mexique, au Panama, au Pérou et au Venezuela. Cela laisse entendre que tout effort international visant à introduire des mesures incitatives pour favoriser la prévention de la déforestation en Amérique centrale et du Sud pourrait présenter d'énormes avantages.

Comme les effets de l'activité humaine réduisent la résilience des écosystèmes et augmentent leur sensibilité aux dangers climatiques (Betts, 2007), il se pourrait que des événements ponctuels d'une ampleur et d'une fréquence nouvelles nuisent à la stabilité et à la résilience des écosystèmes (Jentsch *et al.*, 2007). La résilience pourrait être amoindrie au cours du siècle actuel en raison des changements climatiques, des événements climatiques extrêmes, des modifications de l'utilisation du sol, de la pollution et de la surexploitation des ressources (haut niveau de confiance GIEC4 – Fischlin, 2007). La rapidité des changements climatiques, les événements climatiques extrêmes et le morcellement du paysage pourraient réduire la capacité de nombreuses espèces de s'adapter ou de migrer vers des régions propices à leur survie (Killeen, 2007). La fréquence des principales variables climatiques pourrait augmenter à un point tel que les espèces deviennent incapables de reconstruire des populations normales ou viables (Markam, 1996). Toutes ces menaces constituent des incitations à l'atténuation et à l'adaptation et peuvent demander de réévaluer l'activité économique humaine. L'annexe 4 décrit certains des principaux effets et les raisons qui les rendent préoccupants, de même que les mesures d'adaptation recommandées.

5. Base de données de référence aux fins de surveillance

Les interactions synergiques entre les événements climatiques extrêmes et les autres dangers influent à un point tel sur les écosystèmes qu'il devient impératif de suivre ces changements et d'évaluer la résilience des écosystèmes à l'aide d'un réseau de surveillance mondial. Les chercheurs et les décideurs ont besoin d'une base de données de référence pour gérer la perte éventuelle de biodiversité et pour proposer des mesures d'adaptation en vue d'aider les écosystèmes à mieux résister aux dangers climatiques. Des organismes comme la Smithsonian Institution reconnaissent le besoin d'un tel réseau de surveillance et commencent à élaborer un cadre à cette fin.

En 1992, la Smithsonian Institution (Dallmeier, 1992) a lancé un programme mondial de surveillance de la biodiversité sous les auspices de l'UNESCO. Dans les Amériques, ce réseau d'observation de la biodiversité forestière compte près de 500 parcelles d'observation réparties dans vingt pays (Figure 4). La conception des sites reconnaît que la conservation de la diversité exige plus que la gestion d'une seule espèce et requiert la capacité de gérer simultanément des taxons multiples. Elle permet aussi de soutenir les quatre principaux types d'activités de surveillance de la biodiversité de l'habitat, à savoir la surveillance fondée sur les espèces en péril; la surveillance fondée sur les tendances des populations; la surveillance fondée sur l'état et les tendances de l'habitat

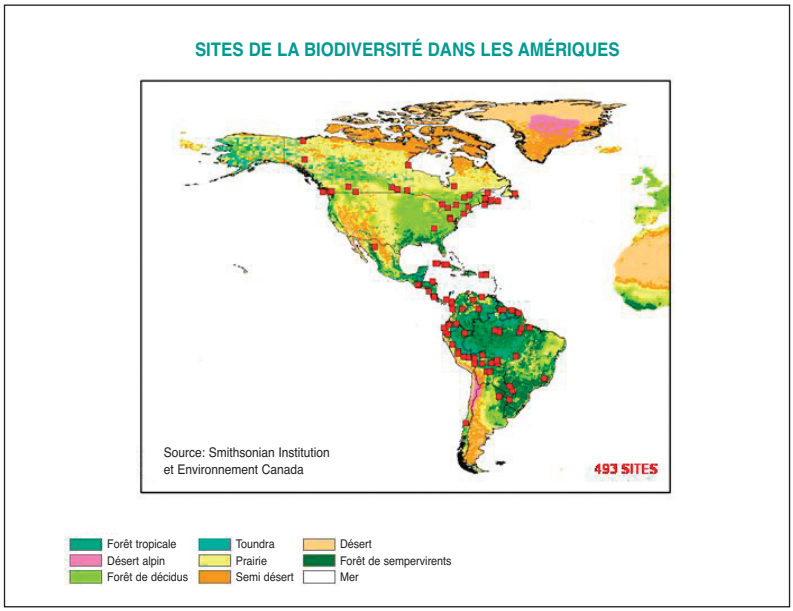


FIGURE 4. Sites d'observation de la biodiversité forestière créés sous l'égide de la Smithsonian Institution dans les Amériques. Source : Smithsonian Institution et Environnement Canada

et la surveillance fondée sur les menaces à la biodiversité. Le réseau d'observation de la biodiversité forestière comprend des parcelles normalisées d'un hectare, des protocoles de mesure de taxons multiples et des transects entre des gradients physiques, chimiques et écologiques qui facilitent l'étude très pointue des effets cumulatifs des phénomènes climatiques extrêmes sur la biodiversité forestière en vue d'améliorer la compréhension des changements climatiques et de réduire le déficit d'adaptation des Amériques (Fenech *et al.*, 2005).

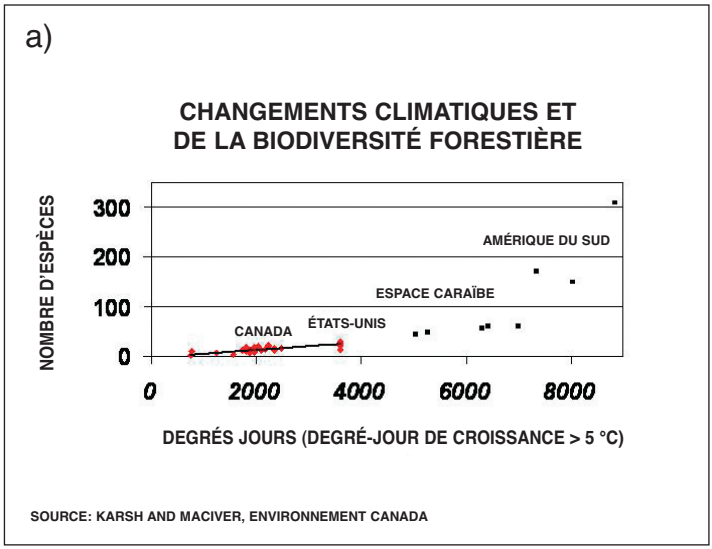
Parmi les importants résultats obtenus à l'aide de ces sites figurent des données de base sur la variabilité du climat et sur les événements extrêmes dans les écosystèmes. Le modèle de biodiversité forestière fondé sur les unités thermiques par famille et proposé par Rochefort et Woodward (1992) est un bon moyen d'obtenir ces données.

La chaleur est un puissant déclencheur d'événements climatiques extrêmes. Des changements de 1 ou 2 °C des températures annuelles moyennes dans le monde entraînent des effets, des adaptations et des vulnérabilités biologiques importants. On entend par « unité thermique » l'accumulation de chaleur au-dessus de la température de référence de 5 °C couramment nommée « degré-jour de croissance » (DJC). Cette indication de base peut constituer un outil diagnostique efficace pour mesurer la variabilité prévue et observée du climat et pour déterminer les sites où la biodiversité n'est pas en équilibre avec le changement du climat (MacIver, 1998). La représentation cartographique de la variabilité spatiale de la biodiversité liée au climat, puis sa liaison à une atmosphère de 2 x CO_2 à l'aide de scénarios de changements climatiques permettent d'étalonner et de représenter les changements prévus et futurs de la biodiversité (MacIver, 1998).

La figure 5 établit un rapport entre le nombre d'espèces et de familles et les unités thermiques au Canada, en Virginie (États-Unis) et dans huit sites installés au Panama, à l'Équateur, au Pérou, en Bolivie, au Paraguay, en Argentine, au Brésil et au Venezuela. Les sites d'Amérique du Sud aident à établir la limite supérieure de la biodiversité forestière au niveau des familles et des unités thermiques calculées pour les Amériques (Karsh *et al.*, 2007). Les recherches préliminaires fondées sur les sites implantés au Canada, aux États-Unis et en Amérique centrale et du Sud semblent indiquer que l'axe de la diversité des familles n'est peut-être pas linéaire, mais plutôt logarithmique ou exponentiel à l'approche des régions équatoriales (MacIver, 1998; Karsh *et al.*, 2007).

Au Canada, le modèle de la biodiversité fondé sur les unités thermiques par famille a non seulement permis de vérifier la ligne de base de la biodiversité par famille, mais aussi d'étalonner la biodiversité liée aux espèces situées dans les forêts mixtes du sud de l'Ontario. Il a en outre aidé à repérer les secteurs du sud de l'Ontario qui nécessiteront de meilleures pratiques de conservation pour renforcer l'adaptabilité des espèces indigènes, y compris les secteurs qui seront sensibles aux événements climatiques extrêmes et aux autres effets concomitants tels que l'arrivée d'espèces exotiques envahissantes.

La figure 6 dépeint l'analyse des gradients et la linéarité relative du rapport de base entre les unités thermiques par famille et la biodiversité dans les sites de forêt mixte allant de Long Point sur le lac Érié à Tiffin sur la baie Georgienne (Ontario, Canada) (MacIver, 1998).



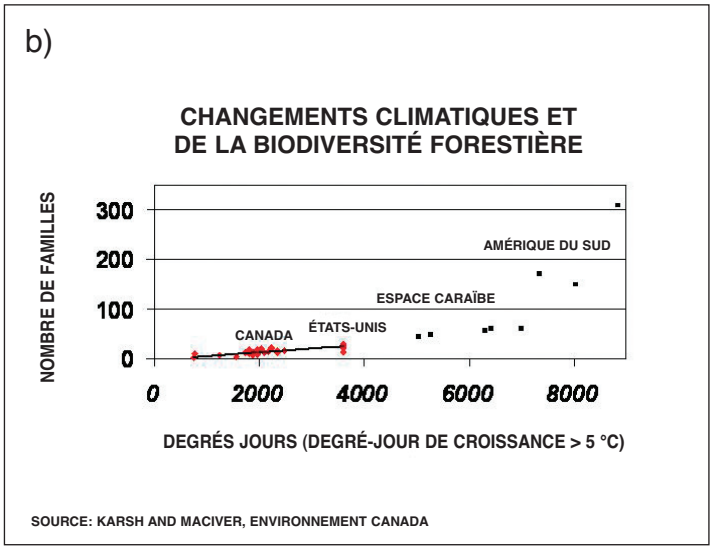
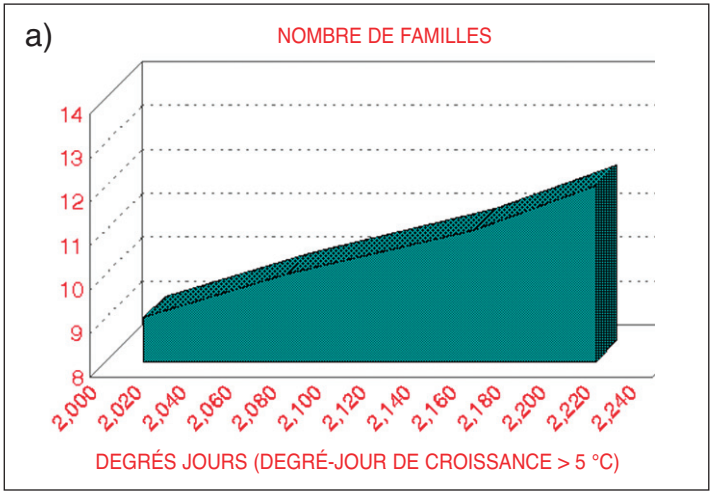
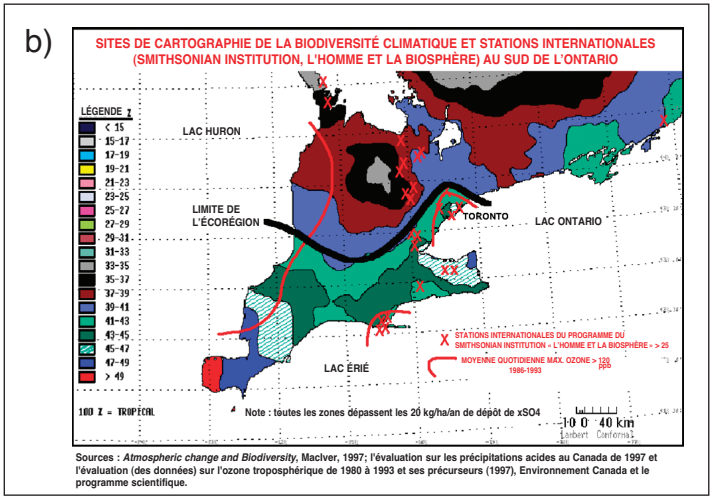


FIGURE 5. Nombre a) d'espèces et b) de familles en fonction des unités thermiques au Canada, comparativement aux sites d'observation de la biodiversité forestière de la Smithsonian Institution situés aux États-Unis, dans les Caraïbes et en Amérique du Sud.





Sources : *Atmospheric change and Biodiversity*, MacIver, 1997; l'évaluation sur les précipitations acides au Canada de 1997 et l'évaluation (des données) sur l'ozone troposphérique de 1980 à 1993 et ses précurseurs (1997), Environnement Canada et le programme scientifique.

FIGURE 6 a) Biodiversité calculée selon les unités thermiques par famille pour les forêts mixtes du sud de l'Ontario en se fondant sur les sites d'observation de la biodiversité forestière de la Smithsonian Institution et b) Effet cumulatif des atmosphères chimiques sur la biodiversité liée au climat dans les sites d'observation de la biodiversité forestière de la Smithsonian Institution.

6. Nouveaux sites possibles de surveillance de la biodiversité dans les Amériques

Parmi les écosystèmes les plus vulnérables aux phénomènes climatiques extrêmes figurent les habitats où les effets initiaux risquent de se produire, ainsi que les habitats qui peuvent être touchés par les effets nuisibles les plus graves ou qui possèdent la plus faible capacité d'adaptation, à savoir les écosystèmes arctiques, montagnards et insulaires. Des outils et une orientation concernant les prévisions scientifiques des états écologiques sont nécessaires pour mettre en évidence les écosystèmes prioritaires gravement menacés par les événements climatiques extrêmes et pour guider l'établissement de mesures d'adaptation aux changements climatiques.

Pour répondre à l'éventail complet des besoins de surveillance, il importe d'étendre le réseau de parcelles permanent existant dans les Amériques afin d'y inclure des sites exposés à une gamme plus vaste de phénomènes climatiques extrêmes, d'activités humaines et d'impacts. Les zones protégées (IUCN), les réserves mondiales de la biosphère (UNESCO) et les sites de référence de la Smithsonian Institution fondés sur des protocoles de surveillance normalisés et scientifiquement rigoureux sont essentiels pour fournir une plate-forme efficace et axée sur les collectivités permettant de surveiller les changements du fonctionnement et de la résilience des écosystèmes.

En Ontario (Canada), l'analyse a montré l'immense utilité d'employer des études fondées sur des transects pour évaluer les effets du climat sur la biodiversité. La présence de onze familles seulement à Long Point (Ontario) qui est le site le plus diversifié du réseau canadien a souligné que le Canada ne peut guère se permettre de perdre une seule espèce. En Ontario, au Québec et à Bisley (Porto Rico), l'analyse a de plus démontré le bien-fondé d'utiliser les sites établis par la Smithsonian Institution avant l'événement climatique extrême pour effectuer des comparaisons directes des effets de cet événement.

Dans les paysages fortement modifiés et les régions vulnérables des Amériques, nous recommandons la création d'un plus grand nombre de sites d'observation de la biodiversité forestière le long de gradients écologiques, chimiques et climatiques conformément au protocole de la Smithsonian Institution afin de déceler le changement et la réaction d'adaptation aux événements climatiques extrêmes. En s'appuyant sur les sites allant des régions équatoriales aux régions polaires, on pourrait utiliser des transects climato-biologiques pour préciser encore l'analyse grâce à une surveillance normalisée et à une modélisation globale. Les réseaux de surveillance de la biodiversité, établis dans le monde entier pour évaluer les événements climatiques extrêmes et les effets croissants de l'activité humaine, pourraient élargir leur champ d'observation en utilisant le SIG et la technologie de télédétection.

Le Fonds mondial de la nature (WWF) a classé les écorégions des Amériques selon des caractéristiques liées à la biodiversité : endémisme des espèces, rareté des taxons supérieurs, richesse des espèces, phénomènes écologiques et évolutifs inhabituels et rareté globale du type d'habitat (WWF, 2007). Cette classification est particulièrement utile pour déterminer les secteurs à surveiller. Il importe d'établir des sites de surveillance dans les régions qui ont un urgent besoin de protection, à savoir les basses terres et les forêts montagnardes de l'ouest de l'Amazonie (Thomas *et al.*, 2004), ainsi que les régions du Pantanal, du Gran Chaco et de la Caatinaga (Killeen, 2007). Comme les meilleurs refuges encore existants pour les espèces des forêts humides à basse altitude se trouvent à l'extrémité ouest de l'Amazonie, à proximité des hautes terres des Andes, il est vital de renforcer et d'étendre les zones protégées et les réseaux de surveillance situés dans cette région. On devrait conserver autant de forêt que possible en Amazonie puisque, selon les prévisions, les aires de répartition des espèces sont appelées à changer radicalement (Miles *et al.*, 2004).

Il conviendrait de prévoir la protection, la surveillance, la remise en état de certains secteurs et le rétablissement de certaines espèces en raison de leur importance et de leur contribution globales à la biodiversité. En effet, les tourbières séquestrent deux fois plus de CO_2 que toutes les forêts du monde entier, même si elles ne représentent que 3 % des surfaces émergées du globe; le saule absorbe huit tonnes de CO_2 au cours de sa première saison de croissance; 35 % des cultures mondiales dépendent de pollinisateurs tels que les abeilles et les forêts tropicales renferment la moitié des espèces animales et végétales de la planète, deux tiers des espèces terrestres connues et le plus grand nombre d'espèces en péril. Ces forêts abritent des vertébrés extrêmement dépendants de réserves de nourriture abondantes, des oiseaux et des mammifères affectés par les conditions climatiques inhabituelles, de même que des plantes alimentaires et des arbres dont la floraison et la survie sont très sensibles à la sécheresse. Il importe donc de surveiller étroitement tous ces écosystèmes qui ont un effet global important sur la résilience des écosystèmes.

7. Arguments en faveur de la création d'un organisme mondial de surveillance sous l'égide des Nations Unies

Les événements climatiques extrêmes auront de puissantes répercussions sur la biodiversité et sur les collectivités humaines qui en tirent parti. En raison des liens puissants entre la biodiversité et les phénomènes climatiques extrêmes, les actions conjointes intégrées axées sur les synergies entre les enjeux aux niveaux régional, national et international sont dans bien des cas plus efficaces que le traitement isolé de chaque question.

Compte tenu notamment des autres pressions environnementales telles que la perte et le morcellement de l'habitat, on prévoit que les réactions naturelles d'adaptation de la biodiversité à l'évolution du climat ne suffiront pas à compenser les pertes additionnelles de biodiversité provoquées par les changements climatiques. En conséquence, il est urgent de mettre en place dès maintenant des mesures d'adaptation planifiées ou dirigées, destinées à ralentir la rapidité croissante des pertes de biodiversité. La stratégie d'adaptation consistant à maintenir la biodiversité permet aux écosystèmes de fournir des biens et des services aux collectivités pendant que les sociétés apprennent à faire face aux changements climatiques. L'adaptation destinée à soutenir la conservation de la biodiversité est également essentielle si l'on veut atteindre les objectifs de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et les Objectifs du Millénaire pour le développement qui visent la réduction de la pauvreté, la production de nourriture et le développement durable.

Dans le contexte des phénomènes climatiques extrêmes, de la conservation de la biodiversité et du développement durable, l'intégration des mesures d'adaptation et d'atténuation exige une plus grande synergie dans la mise en œuvre de la Convention sur la diversité biologique (CDB) et des autres accords multilatéraux pertinents concernant l'environnement. Cette synergie sera facilitée par les mesures conjointes de protection et d'atténuation proposées, appuyées sur des mesures pilotes internationales destinées à réduire les émissions de gaz à effet de serre qui favorisent la déforestation, ainsi que par les mesures d'adaptation conçues pour faire face aux effets des changements climatiques.

Au nombre des mesures d'adaptation prévues figure le déploiement d'efforts pour restaurer la résilience des écosystèmes, puisque les écosystèmes résilients maintiennent la biodiversité, continuent à fournir les biens et les services écosystémiques et protègent les collectivités humaines, animales et végétales contre les dangers liés au climat tels que l'érosion, les inondations et la sécheresse. De nombreux pays comme le Canada, les États-Unis, le Mexique, la Colombie, Kiribati, le Soudan, le Népal, le Bangladesh, le Royaume-Uni et la Finlande (CDB, 2006) ont conçu ou planifié un vaste éventail d'activités d'adaptation, mais le nombre de mesures mises en œuvre est resté limité jusqu'ici. Les activités d'adaptation ont souvent été retardées parce que les pays devaient d'abord

renforcer les connaissances et les processus de partenariat nécessaires pour soutenir la mise en œuvre de ces activités. Les études laissent entendre que de nombreuses espèces additionnelles disparaîtront si les mesures d'adaptation et de renforcement de la résilience continuent d'être retardées, alors que les options de gestion, devenues plus limitées et plus coûteuses, auront moins de chances de réussir.

Puisque les phénomènes climatiques extrêmes et la dégradation des sols sont les principales causes de perte de la biodiversité et que la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité peuvent contribuer à la fois à l'atténuation des changements climatiques et à l'adaptation à ce changement, il est nécessaire de créer un organisme chargé de promouvoir la synergie aux niveaux local, national et international. En provoquant la perte de sol et de végétation, la désertification et la dégradation des terres influent sur les changements climatiques mondiaux, alors que, de son côté, la biodiversité favorise la séquestration du carbone et aide ainsi à réguler les changements climatiques. Comme les phénomènes climatiques extrêmes constituent l'une des principales menaces à la biodiversité, les activités qui favorisent l'adaptation aux changements climatiques peuvent contribuer à la conservation et à l'utilisation durable de la biodiversité, à l'utilisation durable des terres et à la gestion de l'eau.

On doit encourager tous les pays des Amériques à reconnaître l'importance d'élaborer des mesures synergiques concernant la biodiversité, l'adaptation et les changements climatiques afin de maximiser la conservation de la biodiversité tout en aidant à ralentir le rythme des pertes futures. Le maintien et l'amélioration de la biodiversité devraient faire partie de tous les plans, politiques et programmes nationaux liés à l'adaptation aux phénomènes climatiques extrêmes afin de permettre aux écosystèmes de continuer à produire les biens et les services nécessaires et de favoriser la prévention des catastrophes naturelles. Cette démarche augmenterait l'investissement dans les mesures d'adaptation destinées à renforcer la résilience des écosystèmes naturels, notamment dans l'initiative prometteuse consistant à offrir des incitatifs en vue de favoriser la conservation des forêts (prévention de la déforestation) et des tourbières. Ces mesures destinées à ralentir la déforestation ou la dégradation de la forêt pourraient présenter des avantages substantiels pour la biodiversité et contribuer à atteindre l'objectif global de réduire la perte de biodiversité d'ici à 2010. La création, sous l'égide des Nations Unies, d'un nouvel organisme responsable de renforcer et d'accroître le réseau mondial de surveillance de la biodiversité, de même que d'intégrer la recherche sur la biodiversité et le climat aiderait de façon inestimable à élaborer et à mettre en œuvre sans tarder les réponses panaméricaines aux changements climatiques et aux phénomènes climatiques extrêmes.

Le sinistre qui a frappé la Nouvelle-Orléans après le passage de l'ouragan Katrina en 2005 montre bien que les écosystèmes sains et résilients sont vraiment notre meilleur moyen de défense contre les effets des phénomènes climatiques extrêmes. L'ouragan Katrina a touché une région côtière des États-Unis soumise à des pressions environnementales depuis plus d'un siècle. Le réaménagement du Mississippi à l'aide d'un réseau de canaux et de digues a détourné les écoulements de sédiments, érodé de façon continue les terres humides côtières et détruit les îles-barrières et les récifs à huîtres. Pendant l'ouragan, l'onde de tempête a en conséquence pu remonter librement les canaux de navigation et passer par-dessus les digues qui entourent la Nouvelle-Orléans. Les dommages causés par la tempête auraient nécessairement été considérables, mais on a constaté que les brèches se sont produites plus souvent dans les secteurs où des terres humides avaient été détruites et où les digues étaient exposées à l'action des vagues. Un organisme mondial de surveillance est essentiel pour déterminer le moment et l'endroit où des catastrophes risquent de se produire et pour déceler si des écosystèmes sont déséquilibrés, de façon à permettre la prise de mesures avant que la limite critique ne soit atteinte.

Références

Allen, C.D., Breshears, D.D. 1998. Drought-induced shift of a forest-woodland ecotone: rapid landscape response to a climate variation. *PNAS* 95:14839 14842.

Archaux, F., Wolters, V. 2006. Impact of summer drought on forest biodiversity: what do we know? *Ann. For. Sci.* 63:645 652.

Arevalo, J.R., DeCoster, J.K., McAlister, S.D., Palmer, M.W. 2000. Changes in two Minnesota forests during 14 years following catastrophic windthrow. *J. Veg. Sci.* 11:833 840.

Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., He, J., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., Schmid, B. 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9:1146 1156.

Betts, R. 2007. Biodiversity: Ecosystem and climate functioning. Présentation lors de la Biodiversity-Climate Interactions, le 12 juin 2007 à la Royal Society de Londres.

Breshears, D.D., Cobb, N.S., Rich, P.M., Price, K.P., Allen, C.D., *et al*., 2005. Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *PNAS* 102(42):15144 15148.

CBD. 2006. Guidance for promoting synergy among activities addressing biological diversity, desertification, land degradation and climate change. Ad hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Adaptation to Climate Change, CBD Technical Series No. 25, 43 p.

Conway, G. 2007. IPCC 4 at the RGS. Presentation at Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Royal Geographical Society, Zurich, le 18 septembre 2007.

Dallmeier, F. 1992. Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas. Methods for establishment and inventory of permanent plots. MAB Digest 11. Paris (France) : UNESCO.

Dallmeier, F., Comiskey, J.A. (éditeurs). 1998. Forest biodiversity in North, Central and South America and the Caribbean: research and monitoring. Man and the Biosphere Series, Vol. 21. Carnforth (Royaume-Uni) : UNESCO et The Parthenon Publishing.

Environnement Canada. 2003. RESE : Surveiller la biodiversité dans les forêts canadiennes. Burlington (Ont.) : Bureau de la coordination du RESE. 89 p. Accès : http://www.eman-rese.ca/rese/reports/publications/Surveiller%20la%20biodiversitT.pdf

Ervin, J., Parrish, J. 2006. Toward a framework for conducting ecoregional threats assessments. USDA *Forest Service Proceedings* PMRS-P-42CD:105-112.

Eversham, E.M., Brokaw, N.V.L. 1996. Forest damage and recovery from catastrophic wind. *The Botanical Review* 62(2):113-185.

Fenech, A., Murphy, M., MacIver, D., Auld, H., Bing Rong, R. 2005. The Americas: Building the adaptive capacity to global environmental change. Document hors série 5, Groupe de recherche sur les impacts et l'adaptation (GRIA). Environnement Canada, 20 p.

Fischlin, A. 2007. Impacts on the global resource base: ecosystems. Presentation at Climate change: impacts, adaptation and vulnerability. 4e rapport d'évaluation du GIEC, Groupe de travail II, Royal Geographical Society, Zurich, le 18 septembre 2007.

Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S. 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35:557-81.

Githaiga-Mwicigi, J.M.W., Fairbanks, D.H.K., Midgley, G. 2002. Hierarchical process defines spatial pattern of avian assemblages restricted and endemic to the arid Karoo, South Africa. *J. Biogeogr.* 29(8):1067 1087.

Gough, W.A., Leung, A. 2002. Nature and fate of Hudson Bay permafrost. *Regional Environ. Change* 2:177 184.

Groombridge, B. (éditeur). 1992. Global biodiversity: status of the earth's living resources. Londres (Royaume-Uni) : Chapman and Hall.

Harrison, R.D. 2000. Repercussions of El Niño: drought causes extinctions and the breakdown of mutualism in Borneo. Proceedings of the Royal Society of London, Series B. *Biological Sciences* 267(1446):911-915.

Huston, M. 2007. Climate extremes and biodiversity. Communication personnelle.

GIEC. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. *In:* McCarthy, J., Canziani, O., Leary, N., Dokken, D., White, K. (éditeurs), Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the IPCC. Genève (Suisse).

GIEC. 2007. The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. Contribution du Groupe de travail 1 au Quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Genève (Suisse).

Jentsch, A., Kreyling, J., Beierkuhnlein, C. 2007. A new generation of climate-change experiments: events, not trends. *Front. Ecol. Environ.* 5(7):365-374.

Karsh, M.B., MacIver, D.C., Fenech, A., Auld, H. 2007. Climate-based predictions of forest biodiversity using Smithsonian's global earth observing network. Document hors série 8, Groupe de recherche sur les impacts et l'adaptation (GRIA). Environnement Canada, 10 p.

Kharin, V.V., Zwiers, F.W., Zhang, X., Hegerl, G.C. 2007. Changes in temperature and precipitation extremes in IPCC ensemble of global coupled model simulations. *J. Climate* 20(8):1419 1444.

Killeen, T.J. 2007. A perfect storm in the Amazon wilderness: development and conservation in the context of the initiative for the integration of the regional infrastructure of South America (IIRSA). *Advances in Applied Biodiversity Science* 7. 99 p.

Krockenberger, A.K., Kitching, R.L., Turton, S.M. (éditeurs). 2003. Environmental crisis: climate change and terrestrial biodiversity in Queensland. Cairns (Australie) : Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management. Rainforest CRC. 30 p.

Laurenroth, W.K., Epstein, H.E., Paruelo, J.M., Burke, I.C., Aguiar, M.R., Sala, O.E. 2004. Potential effects of climate change on the temperate zones of North and South America. *Rev. Chil. His. Nat.* 77:439 453.

Lavorel, S., Flannigan, M.D., Lambin, E.F., Scholes, M.C. 2007. Vulnerability of land systems to fire: interactions among humans, climate, the atmosphere, and ecosystems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12(1):33-53.

Leemans, R., van Vliet, A. 2005. Responses of species to changes in climate determine climate protection targets. Wageningen (Pays-Bas) : Environmental Systems Analysis Group. 5 p.

MacIver, D. 1998. Atmospheric change and biodiversity. *Environ. Monit. Assess.* 49:177

Malcolm, J.R., Liu, C., Neilson, R.P., Hansen, L., Hannah, L. 2006. Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conservation Biology* 20(2):538-548.

Markham, A. 1996. Potential impacts of climate change on ecosystems: a review of implications for policymakers and conservation biologists. *Clim. Res.* 6:179 191.

McCready, J. 2004. Ice storm 1998: lessons learned. Kelowna (C.-B.) : 6e Conférence canadienne sur la forêt urbaine. 15 p.

[MEA] Millenium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being. Biodiversity Synthesis. Washington (DC) : World Resources Institute. 100 p.

Miles, L., Grainger, A., Phillips, O. 2004. The impact of global climate change on tropical forest biodiversity in Amazonia. *Global Ecol. and Biogeogr.* 13:553 565.

Nobre, C.A. 2007. Climate change scenarios and impacts on the biomes of South America. Presentation at CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, Brésil.

Odion, D.C., Frost, E.J., Stritthold, J.R., Jiang, H., Dellasala, D.A., Moritz, M.A. 2004. Patterns of fire severity and forest conditions in the Western Klamath Mountains, California. *Conservation Biology* 18(4):927 936.

Olson, D.M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E.D., Burgess, N.D., Powell, G.V.N. et al. , 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth. *Bioscience* 51(11):933-938.

Peters, D.P.C., Pielke, R.A., Bestelmeyer, B.T., Allen, C.D., Munson-McGee, S., Havstad, K.M. 2004. Cross-scale interactions, nonlinearities, and forecasting catastophic events. *PNAS* 101(42):15130-15135.

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

Stott, A. 2007. Biodiversity-climate interactions: adaptation, mitigation and human livelihoods. A policy perspective. Présentation lors de la Biodiversity-Climate Interactions, le 12 juin 2007 à la Royal Society de Londres.

Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J. *et al*., 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145-148.

van Bloem, S.J., Lugo, A.E., Murphy, P.G. 2006. Structural response of Caribbean dry forests to hurricane winds: a case study from Guanica Forest, Puerto Rico. *J. Biogeogr.* 33(3):517-523.

Varrin, R., Bowman, J., Gray, P.A. 2007. The known and potential effects of climate change on biodiversity in Ontario's terrestrial ecosystems: case studies and recommendations for adaptation. Rapport de recherche sur les changements climatiques CCRR-09. 48 p.

[WWF] World Wildlife Fund. 2007. Accès : **http://www.worldwildlife.org/science/ecoregions/terrestrial.cfm159**

Annexe 1 : Effets des phénomènes climatiques extrêmes sur la biodiversité dans les Amériques

Phénomènes climatiques extrêmes	Prévisions	Zones d'impact	Effets sur la biodiversité	Source
Phénomènes météorologiques extrêmes	• Augmentation de la fréquence, de la durée et de la gravité • Plus fréquents au cours des 30 dernières années • Augmentent à mesure que le changement liée au réchauffement continu s'accélère • Changements diurnes et saisonniers plus faibles	• Amérique du Nord, du Sud et Amérique centrale • Biomes uniques en leur genre • Petits États insulaires, caractéristiques irremplaçables/ régions tropicales humides, secteurs côtiers (espace limité), terres émergées au-dessous de la base des nuages dans les Caraïbes	• Augmentation des risques pour la biodiversité • Corrélation étroite entre les changements de la biodiversité et la plupart des changements observés • Apparition plus rapide de la réaction écologique • Intensification des tendances existantes • Avantages initiaux suivis d'effets néfastes • Dans certains cas, incapacité des espèces de s'adapter ou de migrer si les seuils ou la tolérance climatiques sont dépassés • Incapacité de supporter de longues périodes d'activité humaine intense • Augmentation de la demande d'eau; stress hydrique dû à l'élévation des températures	Markam, 1996; Dallmeier et Comiskey, 1998; GIEC, 2001; Krockenberger *et al.*, 2003; Leemans et van Vliet, 2005; Killeen, 2007
Épisodes d'El Niño - oscillation australe	• Accroissement de la variabilité • Les modèles actuels ne prédisent pas d'augmentation, tandis que d'autres laissent supposer une ampleur et une fréquence accrues	• Midwest des États Unis, Amérique centrale et côte du Pacifique, Pérou, Équateur, Bolivie, Mexique, Caraïbes, Brésil, Colombie, nord de l'Amazonie	• Cause indirecte de glissements de terrain, d'inondations, de sécheresses, d'ouragans • Peut déclencher des tempêtes de verglas dans l'est du Canada • On leur attribue la plus grande variabilité du climat • Augmentation des conditions sèches dans certaines régions • Risque accru d'incendies de forêt • Peut causer la désertification dans les écosystèmes de terres sèches • Diminution des prairies en raison des précipitations variables	Breshears *et al.*, 2005
Températures élevées de l'air	• Augmentation des températures extrêmes diurnes et nocturnes • Augmentation de la fréquence des températures extrêmes • Augmentation des températures minimales et maximales • Augmentation du nombre de journées très chaudes • Moins grande amplitude des températures diurnes	• À l'échelle de l'Amérique du Nord, du Sud et de l'Amérique centrale : Alaska, île Banks, Alberta, Washington, Colorado, Californie, monts Olympic, Montana, sud-est de l'Arizona, Mexique, Amérique centrale, Pérou, îles Argentines, Équateur, Bolivie, nord du Chili, montagnes des Andes, Colombie	• Augmentation de la productivité primaire nette (PPN) dans les forêts septentrionales; diminution de la productivité primaire nette dans l'est des États Unis et les régions tropicales • Augmentation possible de la productivité en cas de faible hausse de la température mondiale moyenne; augmentations marquées suivies de baisses • Changement des types de zones de végétation • Déclin ou mort de forêts tropicales ou tempérées (températures élevées) • Extinction d'espèces (températures élevées) • Stress hydrique dû aux concentrations plus élevées de CO_2 • Avantage initial suivi d'effets néfastes • Réduction possible de la résistance des plantes ou des arbres au froid et influence négative possible sur la	Markam, 1996 GIEC, 2001; Krockenberger et al., 2003; Leemans et van Vliet, 2005; Malcolm et al., 2006; Fischlin, 2007 Jentsch et al., 2007; Killeen, 2007; Varrin et al., 2007

Annexe 1 : Effets des phénomènes climatiques extrêmes sur la biodiversité dans les Amériques (suite)

Phénomènes climatiques extrêmes	Prévisions	Zones d'impact	Effets sur la biodiversité	Source
Températures élevées de l'air (suite)		• Tourbières hautes, montagnes en zone alpine, régions arctiques, forêt boréale, régions arides et semi-arides	réaction des espèces aux températures élevées • Effets plus grands sur les limites écologiques méridionales que sur les limites septentrionales • Plus grande agressivité de la spongieuse et du thrips du poirier; augmentation de la malaria et de la dengue • Plus grande précocité du bourgeonnement, de la feuillaison, de la floraison, de la ponte, du frai, de la sortie de l'hibernation • Déplacement vers le pôle ou vers le nord de la limite de la zone arborée; modification de l'aire de répartition des animaux • Perturbation des migrations animales; modification de l'équilibre compétitif • Plus grande abondance d'espèces ayant besoin de chaleur au cours des 30 dernières années • Espèces endémiques remplacées par des espèces généralistes (meilleures compétitrices) • Les petits changements peuvent avoir des effets importants sur la biodiversité • Blanchiment des récifs coralliens (réchauffement de la température de l'eau) • Contractions et modifications des aires de répartition • Saison de croissance plus longue; accélération de la maturation • Effets sur la détermination du sexe chez de nombreuses espèces (températures d'incubation) • Présence de nouvelles espèces aux latitudes nordiques, dans les régions montagneuses situées en altitude • Nouveaux phénomènes météorologiques inhabituels dans les régions nordiques : tonnerre, foudre • Adaptation génétique des insectes	
Sécheresse	• Augmentation de l'étendue, de la gravité, de la fréquence et de la durée • Expansion de la zone totale touchée par la sécheresse • Augmentation de la sécheresse estivale • Augmentation de la désertification et de l'aridité	• Est et sud-ouest des États-Unis : New Jersey, Delaware, Maryland, Rhode Island, Virginie-occidentale; Floride, Texas, Louisiane • Amérique centrale et Caraïbes	• Assèchement du lit des rivières • Risque accru de certains insectes nuisibles, agents pathogènes, maladies (p. ex. : scolytes) • Mortalité (sécheresse extrême prolongée – plus de 15 mois) • Augmentation du stress thermique • Hausse du risque d'incendies de forêt et de pénuries d'eau; accélération de l'érosion du sol	Markham, 1996; Allen et Breashears, 1998; Harrison, 2000; GIEC, 2001; Krockenberger *et al.*, 2003; Peters *et al.*, 2004; Breshears *et al.*, 2005; Archaux et Wolters, 2006; Huston, 2007;

Annexe 1 : Effets des phénomènes climatiques extrêmes sur la biodiversité dans les Amériques (suite)

Phénomènes climatiques extrêmes	Prévisions	Zones d'impact	Effets sur la biodiversité	Source
Sécheresse (suite)		• Côte de l'Amérique du Sud • Nord-est de l'Amérique du Sud • Sud du Pérou • Sud-ouest de la Bolivie • Nord-est du Brésil • Chili, Argentine • Nord du Mexique • Forêts montagnardes tropicales	• Chute des feuilles, dépérissement, flétrissement des arbres, détérioration du couvert végétal prématurés • Augmentation de certains taxons; diminution des taxons moins adaptés • Bonne résistance à la sécheresse, mais incidence de la durée de la sécheresse • Augmentation possible de la biodiversité en raison de la moins grande dominance de la plupart des plantes abondantes • Risque accru de déforestation • Augmentation du risque d'utilisation accrue de produits chimiques • Modification de la phénologie; diminution de la floraison et du succès de la reproduction • Réduction de la biomasse au-dessous et au-dessus du niveau du sol • Réduction du couvert de plantes vivaces; colonisation rapide des plantes annuelles et bisannuelles • Augmentation du taux d'extinction des espèces • Risque accru de chablis • Diminution du rendement des cultures et de la sécurité alimentaire • Risque accru de tempêtes de sable en cas de combinaison à de forts vents • Incidence la plus forte sur les plantes très jeunes ou vieilles, sur les espèces adaptées aux conditions froides ou humides, et sur les espèces ayant un faible taux de reproduction ou une mobilité limitée	Jentsch *et al.*, 2007
Désertification	• Expansion des zones existantes	• Régions arides et semi-arides	• Réduction de la production biologique • Changement de la zone de végétation : empiètement des plantes ligneuses sur les prairies de graminées vivaces • Dégradation des sols	Peters *et al.*, 2004
Incendies	• Augmentation de la fréquence, de la gravité, de la durée et de l'ampleur • Augmentation des superficies brûlées	• Les États-Unis et le Canada ont tous deux constaté une augmentation des zones brûlées au cours des 35 dernières années	• Phénomène peut-être le plus nuisible pour la biodiversité : transformation plus rapide de la végétation que pour toute autre changement lié au climat • Obstacle à l'établissement des semis • Modification de l'habitat végétal et animal • Mortalité des espèces sensibles au feu (forêts pluviales, forêts de lianes)	Eversham et Brokaw, 1996; Markham, 1996; Dallmeier et Comiskey, 1998; Stocks *et al.*, 1998; Krockenberger *et al.*, 2003; Odion *et al.*, 2004; Lavorel *et al.*, 2007;

Annexe 1 : Effets des phénomènes climatiques extrêmes sur la biodiversité dans les Amériques (suite)

Phénomènes climatiques extrêmes	Prévisions	Zones d'impact	Effets sur la biodiversité	Source
Incendies (suite)	• Augmentation des secteurs faisant face à des incendies graves • Début plus précoce et plus grande durée de la saison des incendies • Plus petits intervalles entre la répétition des incendies au même endroit	• Forêt boréale et taïga dans le centre-ouest et le nord-ouest du Canada, région du Saint-Laurent • Ouest des États-Unis, Floride • Côte ouest de l'Amérique du Sud : Argentine • Mexique, Nicaragua (RB de Bosawas)	• Modification de la répartition des espèces végétales dominantes; incidence sur le sous-étage • Dénudation du sol minéral; possibilité de répartitions d'espèces plus jeunes et de stades de succession plus précoces • Transformation des forêts tempérées sèches en prairies et des forêts tempérées humides en zones boisées sèches; transformation de la végétation (productivité primaire nette plus faible) • Augmentation du risque d'espèces envahissantes et d'animaux féraux • Effets sur les abords des cours d'eau et les lieux de pêche; augmentation de la température des cours d'eau • Effet le plus marqué dans les forêts de plantation, les zones arbustives et de forêt claire, les forêts dégradées, les forêts tempérées, les forêts boréales, la taïga	Betts, 2007; Killeen, 2007
Vagues de chaleur	• Augmentation de la fréquence, de l'intensité, de la durée et de la gravité • Augmentation de l'indice de chaleur • Augmentation de la sécheresse	• États-Unis : Montagnes rocheuses, Dakota du Nord et du Sud, Illinois, New York, Maine, Arkansas, Texas	• Augmentation du stress thermique et de la mortalité (vagues de chaleur pouvant durer des mois) • Extinction accrue des espèces sensibles, mortalité lorsque les températures dépassent les seuils tolérables pendant de trop longues périodes • Incapacité de l'orignal de supporter les températures élevées	GIEC, 2001; Krockenberger *et al.*, 2003
Précipitations extrêmes	• Augmentation de la fréquence des averses extrêmement intenses • Augmentation de la variabilité et de l'intensité; augmentation du nombre de périodes humides • Diminution dans les régions subtropicales • Augmentation dans les régions septentrionales	• États-Unis : Nouvelle-Angleterre, Californie, Texas • Venezuela, Uruguay, Argentina, Brésil, Paraguay, Bolivie, Pérou, Haïti • Forêts montagnardes tropicales (couverture de nuages), tourbières hautes	• Plus grande difficulté des écosystèmes de faire face à la variabilité accrue des précipitations • Augmentation de la production de biomasse par les plantes dans les régions semi-arides des États-Unis. • Augmentation possible des populations de chevreuils et de souris, ainsi que du stress dû au broutage • Modification possible de la compétitivité des plantes • Lien possible avec la plus grande précocité de la saison des incendies	GIEC, 2001; Krockenberger *et al.*, 2003
Tempêtes	• Augmentation de la fréquence, de la durée et de l'intensité • Tempêtes plus répandues	• Amérique centrale, Caraïbes, côte du Pacifique : liées à un climat plus chaud, plus humide, à la diminution de la glace de mer (l'eau libre est une source d'humidité, de chaleur)	• Dommages causés aux récifs coralliens • Dommages causés à l'habitat • L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes ramène les écosystèmes à un stade moins souhaitable caractérisé par une capacité moindre de	Markam, 1996; GIEC, 2001; Folke *et al.*, 2004; Archaux et Wolters, 2006

Annexe 1 : Effets des phénomènes climatiques extrêmes sur la biodiversité dans les Amériques (suite)

Phénomènes climatiques extrêmes	Prévisions	Zones d'impact	Effets sur la biodiversité	Source
Tempêtes (suite)		• îles basses, forêts boréales, récifs coralliens, mangroves, marais	produire des services écosystémiques, puis par la perte de résilience des écosystèmes	
Inondations + températures élevées	• En hausse	• Rivières, zones humides	• Diminution de la diversité aquatique et riveraine. • Diminution de l'eau dans les rivières et les zones humides • Fréquence accrue des pénuries d'eau • Effet négatif sur les écosystèmes des rivières et des zones humides	Krockenberger *et al.*, 2003
Sécheresse + températures élevées	• Augmentation dans certaines régions	• Régions tropicales	• Dépérissement des forêts tropicales humides : les plantes absorbent moins de carbone par la photosynthèse que la respiration du sol n'en dégage, ce qui accélère le réchauffement • Souffrance du bétail et de la faune sensibles au stress thermique; souffrance des forêts pluviales	Krockenberger *et al.*, 2003
Sécheresse + grands vents	• En hausse	• Régions tropicales	• Augmentation des tempêtes de poussière; perte de sol et de sa biodiversité	Krockenberger *et al.*, 2003
Ouragans, vents catastrophiques, cyclones	• En hausse (plus de catégories 4 et 5) • Diminution possible • Augmentation de la fréquence, de l'intensité et de l'étendue • Déclenchés par des situations météorologiques liées à El Niño et par le réchauffement des océans • Augmentation de l'intensité des pointes de vent et des précipitations pendant les cyclones tropicaux	• Îles Caraïbes • Majeure partie de l'Amérique du Sud • Golfe du Mexique, Atlantique Nord • Forêts montagnardes tropicales, récifs coralliens et mangroves particulièrement sensibles aux cyclones tropicaux de plus en plus intenses	• L'une des plus importantes perturbations après les incendies : détruit les forêts, modifie les interactions compétitives entre les plantes, ainsi que les processus de succession • Réduction du diamètre, de la surface terrière, du nombre de tiges, de la biomasse • Forte réaction d'adaptation • Longue période pour parvenir à un rétablissement complet (centaines d'années) • Augmentation de la biodiversité : moins grande dominance des espèces abondantes • Formation importante de drageons; arbres à plusieurs tiges • Réduction de la biomasse aérienne; augmentation de la productivité primaire nette (les perturbations libèrent les éléments nutritifs); défoliation complète • Effet à long terme sur la structure et la fonction des forêts, forêts modelées par les tempêtes (moins souhaitables), effet plus marqué sur les forêts sèches à croissance lente • Réduction de la résistance au vent • Incapacité des espèces pionnières d'atteindre le couvert	Markam, 1996; Eversham et Brokaw, 1996; Dallmeier et Comiskey, 1998; Arevalo *et al.*, 2000; Krockenberger *et al.*, 2003; Huston, 2007; Jentsch *et al.*, 2007; GIEC, 2007

Annexe 1 : Effets des phénomènes climatiques extrêmes sur la biodiversité dans les Amériques (suite)

Phénomènes climatiques extrêmes	Prévisions	Zones d'impact	Effets sur la biodiversité	Source
Ouragans, vents catastrophiques, cyclones			(mort précoce des grosses tiges) en raison de la mortalité, des dommages dus au vent et de la chute de débris • Augmentation des incendies et des glissements de terrain • Maintien de la diversité (autre mécanisme favorisant le renouvellement de la forêt), mais diminution possible entre les événements • Augmentation des espaces dégarnis; augmentation de la lumière • Accélération de la succession; plus forts taux de survie chez les espèces à croissance rapide • Dommages plus grands dans les forêts équiennes • Ruissellement accru de l'eau douce • Perte d'habitat	
Inondations	• Augmentation de la gravité, de la fréquence, de l'intensité et de la durée • Augmentation de la variabilité du débit des rivières et de la disponibilité d'eau • Risque accru d'inondations côtières et hivernales • Augmentation du nombre de sinistres dus aux inondations; peuvent alterner avec les sécheresses	• Canada, États-Unis, Mexique • Caraïbes : Haïti, République dominicaine • Amérique centrale : Belize, El Salvador, Costa Rica • Amérique du Sud : nord du Pérou, sud-ouest de la Bolivie, est du Brésil, Chili, Argentine, Uruguay, Paraguay, Venezuela, Colombie, Guyana, Équateur • Habitats côtiers, plages, mangroves, zones déboisées sur des pentes abruptes	• Inondation des terres • Forte sédimentation • Stimulation possible de la végétation luxuriante • Détérioration du couvert végétal	GIEC, 2001; Krockenberger *et al.*, 2003
Tempêtes de verglas, fortes chutes de neige, gel, vagues de froid, épisodes de froid	• Diminution de la fréquence et de l'ampleur des épisodes de froid extrême • Hivers plus doux, augmentation de l'ampleur et de l'étendue • Refroidissement marqué; augmentation des gelées • Augmentation de la fréquence et de l'ampleur des tempêtes de verglas à mesure qu'une quantité plus grande de chaleur est emprisonnée dans la basse atmosphère	• Est du Canada et des États-Unis : Arctique canadien; Mount Baker, Washington; Black Hills, Dakota du Sud • Amérique du Sud : Argentine, Brésil	• Mortalité lorsque 75 % du houppier est endommagé • Forte capacité d'adaptation aux dommages, fort taux de repousse aux niveaux plus bas; formation de gourmands • Effets plus marqués sur les plantations de conifères récemment éclaircies • Les espèces moins adaptables (érables, chênes) sont plus affectées que les espèces plus adaptables (pins, bouleaux) • Peuvent accroître la biodiversité en réduisant la dominance des espèces les plus abondantes • Réduction de l'accès à la forêt en raison des inondations, de la neige et des arbres endommagés par le vent et la glace • Dommages directs aux arbres causés par le vent, la neige et la glace	Neilsen *et al.*, 2003; Krockenberger *et al.*, 2003; McCready, 2004; Jentsch *et al.*, 2007; Huston, 2007; Varrin *et al.*, 2007

Annexe 1 : Effets des phénomènes climatiques extrêmes sur la biodiversité dans les Amériques (suite)

Phénomènes climatiques extrêmes	Prévisions	Zones d'impact	Effets sur la biodiversité	Source
Tempêtes de verglas, fortes chutes de neige, gel, vagues de froid, épisodes de froid (suite)			• Les peuplements plus diversifiés sont la meilleure forme de protection • La gravité dépend de l'accumulation de glace, de la durée, de la zone affectée, de la vitesse du vent; le moment peut être plus important que la température • Mort des caribous parce que les sources de nourriture sont enterrées par la neige et la pluie verglaçante • Peuvent entraîner des lésions soudaines et souvent mortelles dues au froid • Peuvent détruire les forêts, modifier les interactions compétitives entre les plantes, altérer les processus de succession et accélérer la succession	
Fonte de la neige et de la glace, recul des glaciers, fonte du pergélisol, réchauffement hivernal	• Augmentation (en particulier au cours des 25 dernières années) • Augmentation des températures à la surface de la mer • Moins grand nombre d'épisodes de froid extrême • Hivers plus doux • Augmentation des chutes de pluie en hiver	• Mer de Béring, Océan arctique, Alaska, • Canada : baie d'Hudson; montagnes Rocheuses • États-Unis : New Hampshire; Glacier National Park, Montana • Amérique du Sud : Colombie, Équateur, Pérou Bolivie, Andes vénézuéliennes, Argentine • Régions polaires, hautes montagnes	• Baisse marquée du débit estival des rivières; augmentation de l'érosion • Fréquence accrue des glissements de terrain et des avalanches; plus grand risque d'inondations et de coulées de boue • Effet néfaste sur la biodiversité locale; diminution des oiseaux marins • Disparition des glaciers continentaux • Risque accru d'élévation du niveau de la mer et d'effet négatif sur les mangroves qui forment un tampon contre les inondations, les vents violents et l'érosion • Risque accru de débordement des rivières en hiver • Plus grande précocité du dégel des rivières, du départ des glaces et de la fonte de la neige au printemps (peut influer sur le régime des incendies) • Diminution de la glace de mer et de la neige; augmentation de la fonte du pergélisol • Recul des glaciers • Réduction de la disponibilité d'eau en raison de la fonte des glaciers tropicaux, augmentation de la désertification et de l'aridité, des organismes nuisibles et des maladies; augmentation des effets sur la production de soja • Au printemps, augmentation plus précoce du débit résultant de la fonte de la neige	Markam, 1996; GIEC, 2007; Fischlin, 2007; Conway, 2007; GIEC, 2007
Élévation du niveau de la mer, inondations côtières, ondes de tempête	• Augmentation, accélération • Influencées par l'augmentation de la fonte des glaces et des tempêtes côtières	• États-Unis : Hawaii, côte Ouest, Californie, Louisiane, Keys en Floride, baie de Chesapeake • Caraïbes : Bahamas, Bermudes • Mexique	• Intrusion d'eau salée dans les aquifères et les estuaires • Perte d'habitat sur les plages • Inondation accrue des terres • Perte lente mais constante de terres humides et sèches	CDB, 2006

Annexe 1 : Effets des phénomènes climatiques extrêmes sur la biodiversité dans les Amériques (suite)

Phénomènes climatiques extrêmes	Prévisions	Zones d'impact	Effets sur la biodiversité	Source
Élévation du niveau de la mer, inondations côtières, ondes de tempête (suite)	• L'effondrement de la nappe glaciaire de l'ouest de l'Antarctique pourrait influer soudainement sur le niveau de la mer • Déclenchées par la hausse des températures de l'air et des océans	• Amérique centrale : Panama, Costa Rica, El Salvador, • Belize • Amérique du Sud : Argentine, Brésil, Colombie, Galapagos, Guyana, Équateur, Pérou, Chili, Venezuela, Uruguay • Mangroves, récifs coralliens, marais côtiers, îles basses, deltas	• Forte intrusion d'eau salée dans les mangroves côtiers : depuis 1980, 20 % des mangroves ont disparu; la disparition de poissons sur les récifs situés près des mangroves est 25 % plus forte qu'ailleurs • La moitié des terres agricoles pourraient être exposées à la salinisation et à la désertification d'ici 2050 • Effet nuisible sur les stocks de poisson • Augmentation des ondes de tempête • Submersion des réserves fauniques	
Réchauffement et acidification des océans	• En hausse	• États-Unis : côte Ouest, Californie, Keys en Floride • Caraïbes : Bahamas, Bermudes • Mexique • Amérique du Sud : Panama, Galapagos, Équateur	• Déclin des populations de zooplancton • Effondrement des écosystèmes des récifs coralliens • Augmentation de la concurrence provenant des algues • Blanchiment des récifs coralliens (depuis 1980) • Augmentation du risque d'ouragans • Augmentation du risque d'événements extrêmes • Déclin des oiseaux marins • La diminution de la brume pendant la saison sèche peut entraîner l'extinction d'espèces et le déclin des grenouilles, des crapauds et des lézards • Déplacement vers le nord des espèces et de la ligne de côte • Déplacement vers le nord des oiseaux de montagne • Effet néfaste sur les espèces à coquille	Markham, 1996; GIEC, 2001
Glissements de terrain, avalanches, tremblements de terre, volcans	• Augmentation de la fréquence • Influence de la déforestation croissante des pentes abruptes d'Amérique du Sud sur les glissements de terrain	• États-Unis • Mexique • Caraïbes : Haïti, Porto Rico, République dominicaine • Amérique centrale : Guatemala, Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panama, côte de l'Équateur • Amérique du Sud : Venezuela, nord du Pérou, Guyana	• Réduction de la biomasse aérienne; augmentation de la PPN (dégagement d'éléments nutritifs par les perturbations) • Écoulement de débris et coulées de boue • Effets sur le climat mondial	Krockenberger *et al.*, 2003; Varrin *et al.*, 2007

Annexe 2 : Dangers pour la biodiversité par pays (Amérique du Sud et Amérique centrale)

Dangers pour la biodiversité	Argentine	Bolivie	Brésil	Caraïbes	Chili	Colombie	Costa Rica	Cuba	République dominicaine	Équateur	El Salvador
Agriculture	**4**	**5**	**15**	**14**	2	**7**	3	**6**	**2**	**4**	1
Agroindustrie (huile de palme charbon, de bois, tourbe, extraction de sel)			3	1				1		1	
Extinction d'animaux ou de plantes		5	3	1	2	2				1	
Avalanches						1					
Perte de biodiversité	1		1	2	1	1		2			
Bâtiments et infrastructure	1			4		4			1		
Réchauffement climatique (air, océans)		1								1	
Déforestation/exploitation forestière	3	3	**20**	**16**	6	**10**	**3**	**6**	**2**	3	2
Désertification	*		1		1						
Maladie						1					
Déplacement de populations indigènes										1	
Sécheresse			1	*							
Tremblement de terre				*	*		*		*	*	*
Incendies de forêts de cause naturelle ou allumés volontairement	3	2	10	7	2	1	1	4	1	1	
Destruction et fragmentation de l'habitat		1	3	5	6	1	4	1	1	**4**	
Chasse et braconnage	**6**	3	4	5	1	4	1	2	2		
Ouragans				*							
Commerce illicite d'animaux sauvages et de plantes	3	**4**	2	2		1		4	1	1	
et d'espèces envahissantes	1		4	**10**	5	2	1	2		2	
Conversion de terre	2	2	6	6	2	2	1	1			
Foudre											*
Coulées de boue			1			1					
Exploitation minière	2	1	14	7	2	1	1	3		1	
Cultures de narcotiques (opium, héroïne, marijuana)						1 1					
Extraction de pétrole ou de gaz/ déversements de pétrole	2		2	2		2				1	
Surexploitation de plantes et d'animaux	1	1	7	1	2	1		5		3	
Surpêche	1		3	3		3		1		1	
Augmentation de la population et des peuplements	3	7	**8**	1	5	2			2	2	

Annexe 2 : Dangers pour la biodiversité par pays (Amérique du Sud et Amérique centrale) suite

Dangers pour la biodiversité (suite)	Argentine	Bolivie	Brésil	Caraïbes	Chili	Colombie	Costa Rica	Cuba	République dominicaine	Équateur	El Salvador
Sensibilisation insuffisante du public/conflits			1	**9**							
Élevage de bétail et pâturage	**7**	1	**18**	6	4	**6**	3	4	**2**	**6**	1
Routes	4	3	7	6	3	3				3	
Élévation du niveau de la mer				3				1			
Érosion du sol	1		3	6	2	3	5	1			1
Tourisme	2		7	7	2			2	1	2	1
Tempêtes tropicales			*						*		
Urbanisation/développement	2		13	**9**	2	5	3	3		1	1
Éruptions volcaniques				*							
Guerre						2					
Déchets/déversement abusif		1	1	1	1	1	1	1	1		
Drainage de l'eau/salinisation/ dérivations	2	2	2			2	1	2	1	1	1
Pollution de l'eau	1	1	8	2	2	**6**		1	1		1
Pénuries d'eau/sédimentation	1		3	2		2	3	3	1	1	1
Nombre de sites signalés dans la documentation	**11**	**5**	**42**	**21**	**8**	**16**	**6**	**6**	**2**	**6**	**2**
Échelle de compte rendu des catastrophes											
Désertification	4										
Tremblement de terre				5	5		5.5		5	4.5	5.5
Sécheresse				4							
Ouragans				5							
Foudre											4
Tempêtes tropicales/inondations				4.5					4		
Éruption volcanique				4							

* Occurrence très importante : voir échelle de signalement des catastrophes

Parmi les pays des Caraïbes non mentionnés séparément dans le présent tableau figurent Anguilla, Antigua, les Bahamas, la Barbade, les îles Caimans, la Dominique, Haïti, la Martinique, Saint-Vincent et Trinidad.

Annexe 2 : Dangers pour la biodiversité par pays (Amérique du Sud et Amérique centrale) suite

Dangers pour la biodiversité	Guyane française	Guatemala	Guyana	Honduras	Mexique	Nicaragua	Panama	Pérou	Venezuela
Agriculture	1	1		1	17	2	3	7	8
Agroindustrie (huile de palme, charbon de bois, tourbe, extraction de sel)	3		1						
Extinction d'animaux et de plantes				1	9			2	1
Avalanches									
Perte de biodiversité					7				3
Bâtiments et infrastructure					5			1	3
Réchauffement du climat (air, océans)	1		1		1				
Déforestation/ exploitation forestière	1	1	2	1	22	1	5	7	8
Désertification									
Maladie					1				
Déplacement de populations indigènes									1
Sécheresse									1
Tremblements de terre		*		*			*		
Incendies de forêt de cause naturelle ou allumés volontairement	1	1	6			1	4		
Destruction et fragmentation de l'habitat	1	1	1		11		1	4	4
Chasse et braconnage	1		1	1	13	1	1	3	6
Ouragans						1			
Commerce illicite d'animaux sauvages et de plantes			1		10		1	1	4
Introduction de plantes, d'animaux et d'espèces exotiques envahissantes					4		1		2
Conversion de terres	1				8		3	1	3
Foudre									
Coulées de boue									
Exploitation minière	1		2		4	1	1	6	4
Cultures de narcotiques (opium, héroïne, marijuana)								1	
Extractions de pétrole ou de gaz/ déversements de pétrole	1				2		1		6
Surexploitation des plantes et des animaux					12		3	3	5

Annexe 2 : Dangers pour la biodiversité par pays (Amérique du Sud et Amérique centrale) suite

Dangers pour la biodiversité (suite)	Guyane française	Guatemala	Guyana	Honduras	Mexique	Nicaragua	Panama	Pérou	Venezuela
Surpêche				1	4	1	2	1	
Augmentation de la population et des peuplements					9	1	3	1	5
Sensibilisation insuffisante du public/conflits					6		1		3
Élevage de bétail et pâturage					**18**	1	3	4	**6**
Routes					**10**		3	1	6
Élévation du niveau de la mer									
Érosion du sol			1	1	9	1	3	2	1
Tourisme	1		1		7	1			**6**
Tempêtes tropicales						1			
Urbanisation/développement	1	2		1	**12**	1	4	3	5
Guerre									
Déchets/déchargement abusif			1	1	2	1		1	
Drainage de l'eau/salinisation/ dérivations				1	7			1	**6**
Pollution de l'eau	1		1	1	9	2	1	3	4
Pénuries d'eau/sédimentation	1			2	5	1	1	2	1
Nombre de sites signalés dans la documentation	**1**	**2**	**2**	**1**	**36**	**2**	**5**	**10**	**13**
Échelle de compte rendu des catastrophes									
Désertification									
Tremblement de terre		4.5		4			4.5		
Sécheresse									
Ouragans									
Foudre									
Tempêtes/inondations tropicales									
Éruption volcanique									

* Occurrence très importante : voir échelle de compte rendu des catastrophes

Parmi les pays des Caraïbes non mentionnés séparément dans le présent tableau figurent Anguilla, Antigua, les Bahamas, la Barbade, les îles Caimans, la Dominique, Haïti, la Martinique, Saint-Vincent et Trinidad.

Annexe 3 : Résumé des dangers pour la biodiversité par pays (Amérique du Sud et Amérique centrale)

Pays	Préoccupations principales	Préoccupation secondaires	Géorisques
Argentine	Élevage de bétail, pâturage, chasse excessive	Agriculture, construction de routes, désertification	
Bolivie	Agriculture, commerce illicite d'animaux sauvages	Exploitation forestière, construction de routes Augmentation de la population, chasse, destruction de l'habitat	
Brésil	Déforestation, élevage de bétail	Exploitation minière, empiètement et développement urbain	Les espèces montrent les effets des phénomènes suivants : hausse des températures, augmentation de la chaleur et de la désertification
Caraïbes	Déforestation, agriculture	Élevage de bétail, incendies, urbanisation, introduction de plantes et d'animaux	Tremblements de terre, éruptions volcaniques, tempêtes et sécheresses tropicales
Chili	Déforestation, introduction de plantes et d'animaux	Élevage de bétail	Tremblements de terre
Colombie	Déforestation	Élevage de bétail, agriculture, pollution de l'eau	Cette région est sujette aux avalanches et aux coulées de boue fréquemment déclenchées par les sols déstabilisés à la suite d'exploitation forestière
Costa Rica	Érosion du sol	Déforestation, sédimentation, élevage de bétail, urbanisation, agriculture	Zone de tremblements de terre graves
Équateur	Élevage de bétail, agriculture, destruction d'habitat	Déforestation, surexploitation des plantes et des animaux	Zone de tremblements de terre assez graves
El Salvador	Déforestation, pressions de la population		Zone de tremblements de terre assez graves également sujette aux décharges de la foudre
Guatemala	Empiètement urbain		Tremblements de terre
Guyana et Guyane française	Déforestation, extraction minière	Chasse excessive, pollution de l'eau, destruction d'habitat, tourisme	
Honduras et Nicaragua	Agriculture, pollution de l'eau	Déforestation, érosion du sol, sédimentation, urbanisation, chasse, déchargement inadéquat de déchets	Tremblements de terre
Mexique	Déforestation, élevage de bétail, agriculture	Urbanisation, chasse, surexploitation des plantes et des animaux, destruction d'habitat	

Annexe 3 : Résumé des dangers pour la biodiversité par pays (Amérique du Sud et Amérique centrale) suite

Pays	Préoccupations principales	Préoccupation secondaires	Géorisques
Panama	Déforestation, Empiètement urbain	Érosion du sol, augmentation de la population, élevage de bétail, construction de routes, agriculture, conversion de terres, surexploitation des plantes et des animaux	
Pérou	Déforestation, agriculture	Exploitation minière	
Venezuela	Déforestation, agriculture	Dérivations de cours d'eau, élevage de bétail, routes, chasse, extraction de pétrole, tourisme	

Annexe 4 : Effets des changements climatiques et mesures d'adaptation possibles pour la biodiversité

Dangers et effets des changements climatiques	Mesures d'adaptation appliquées à la biodiversité
Agriculture : L'agriculture est le plus grand moteur de changement de l'utilisation des terres dans les Amériques. La moitié de l'écosystème du « cerrado » a déjà été convertie en terres agricoles. Les techniques agricoles modernes fortement mécanisées aident à surmonter les limitations liées aux sols tropicaux dans le domaine de l'agriculture et permettent à celle-ci de continuer à s'étendre partout où se trouvent des terres arables (Killeen, 2007).	Une augmentation de la biodiversité du système d'exploitation agricole pourrait aider à réduire la contribution à la sécheresse. Pour répondre aux événements climatiques extrêmes, on peut recourir à des banques de variétés de semences résistant à la sécheresse, aux inondations et à l'eau salée. Puisque 35 % des cultures mondiales dépendent des pollinisateurs tels que les abeilles, on devrait protéger les pollinisateurs et leur habitat.
Aquaculture : Le taux de conversion des mangroves en élevages de crevettes est considérable; 35 % des mangroves ont déjà disparu (MEA, 2005).	Protéger et replanter les zones de mangrove.
Problèmes administratifs et manque de ressources financières	Prioriser la protection des régions côtières, des pollinisateurs, des espèces endémiques, des forêts pluviales et des zones humides. Assurer la protection juridique des terres. Réglementer les terres et les marchés des produits de base afin de réduire ou d'éliminer la déforestation des rives de l'Amazone. Mettre en œuvre des mesures de réglementation efficaces pour contrer les forces du marché (Killeen, 2007). Récompenser les producteurs agricoles qui conservent les zones humides et fournissent des biens et des services écologiques. Récompenser la conservation de la forêt en offrant des incitatifs. Offrir des compensations financières pour la prévention de la déforestation, c-à-d. payer le service environnemental consistant à ne pas endommager la forêt pluviale. Payer un loyer pour le stockage de carbone.
Biocarburants : Les biocarburants figurent parmi les plus importantes menaces à la conservation des régions sauvages et des centres de diversité du bassin de l'Amazone. Le marché prévu des biocarburants est si grand qu'il pourrait stimuler la déforestation d'une manière dépassant largement les scénarios les plus pessimistes (Killeen, 2007). On cultive la canne à sucre pour produire de l'alcool et de l'huile de palme qui entrent dans la fabrication du biodiesel. Dans les régions tropicales, le palmier à huile et l'herbe à éléphant africains, qui conviennent parfaitement à la production de biocarburant, sont florissants et remplacent la végétation naturelle. Toutefois, le palmier à huile émet de l'isoprène qui produit plus d'ozone et provoque des effets nuisibles (Betts, 2007).	Évaluer les choix difficiles à faire relativement aux biocarburants. La biomasse provenant des prairies diversifiées permet de produire des biocarburants sans recourir annuellement au labour ou à l'emploi d'engrais et de pesticides. Les plantes vivaces possèdent une plus grande masse racinaire que les cultures telles que le maïs qui doivent être replantées chaque année; elles sont plus stables, ont moins de besoins et peuvent malgré tout servir à produire des biocarburants.
Diminution de l'étendue et de l'épaisseur de la glace de mer	Réduire les émissions de gaz à effet de serre.
Barrages : L'inondation des réservoirs entraîne la diminution de la diversité du poisson (Killeen, 2007).	Éviter les projets hydroélectriques de grande envergure sur les rivières principales (Killeen, 2007).
Déforestation : On assiste à une déforestation très rapide dans l'ensemble des Amériques, la perte de forêt absolue la plus élevée se trouvant au Brésil. La disparition de l'habitat des papillons au Mexique et la perte des forêts-galeries en Amazonie sont particulièrement préoccupantes. Un écosystème de savane requiert un couvert pour la	Rétablir les tourbières, car elles séquestrent deux fois plus de CO_2 que toutes les forêts du monde entier. Mettre en œuvre des programmes de prévention de la déforestation. Abaisser de 5 % le taux annuel de déforestation afin de réduire les sinistres; les émissions évitées susciteront un crédit de 650 millions de dollars par an

Annexe 4 : Effets des changements climatiques et mesures d'adaptation possibles pour la biodiversité (suite)

Dangers et effets des changements climatiques	Mesures d'adaptation appliquées à la biodiversité
faune et il est trop exposé si les forêts-galeries adjacentes disparaissent (Killeen, 2007). En Amérique centrale et en Amérique du Sud, les forêts sont souvent converties à d'autres utilisations telles que l'agriculture, l'élevage du bétail et la production de biocarburants. Dans ces régions, la déforestation a lieu dans un climat marqué par une diminution des précipitations et par une hausse des températures qui aggravent le stress des arbres. La déforestation influe sur le processus d'évapotranspiration, ce qui réduit les précipitations dans l'écosystème et étend l'aridité. Toutes ces conditions exacerbent la mortalité des arbres. La déforestation entraîne aussi une augmentation des émissions de gaz à effet de serre qui constitue l'un des plus grands défis actuels pour la biodiversité (Stott, 2007).	(Killeen, 2007). Les forêts aident à atténuer les phénomènes climatiques extrêmes. Planter de la végétation pour assurer une protection contre les inondations et l'érosion côtière. Planter des ceintures de mangroves et des plantations brise-vent (Conway, 2007; GIEC, 2001). Établir des cycles de 100 ans pour la récolte du bois d'œuvre afin de permettre aux écosystèmes de se remettre des événements climatiques extrêmes. Pratiquer la plantation proactive : les centaines d'années requises pour assurer la biodiversification naturelle sont trop longues compte tenu des effets et des stress attribuables au rythme prévu des changements climatiques et des événements climatiques extrêmes (Environnement Canada, 2003).
Désertification	Planter des espèces qui tolèrent les températures plus élevées.
Sécheresse	Accroître la variété des espèces; inclure des succulentes dans le système de culture. Planter des variétés de semences résistant à la sécheresse. Veiller à ce que les couloirs fluviaux restent boisés, car cette mesure rend les écosystèmes plus résistants à la sécheresse.
Extinction d'espèces animales et végétales	Pratiquer la conservation in situ et ex situ. Maintenir la diversité génétique et la diversité des espèces afin d'améliorer la résilience des écosystèmes (Reusch et al., 2005). La mort des espèces est la responsabilité de tous. Il importe d'agir rapidement.
Eutrophisation/Diminution de la qualité de l'eau	Planter et protéger les espèces importantes pour améliorer la qualité de l'eau (p. ex. mangroves).
Inondations	Planter des mangroves afin d'atténuer les ondes de tempête tropicales.
Fragmentation : Les paysages fragmentés peuvent ne pas permettre une nouvelle répartition des populations en réponse au changement du climat. Comme les effets de bordure pénètrent à au moins 300 m, les espaces restants inférieurs à cette distance connaissent habituellement une perte de biodiversité. Le morcellement des forêts et la dégradation des terres augmentent le risque d'incendie. Les incendies et l'exploitation forestière qui suivent le morcellement permettent la régénération des espèces pionnières et l'augmentation des espèces envahissantes, L'isolement et le morcellement peuvent aussi entraîner l'extinction d'espèces endémiques et l'homogénéisation des biotes dans les zones protégées (Killeen, 2007).	Établir des couloirs de conservation pour favoriser la conservation de la biodiversité. Conserver les collines, les crêtes montagneuses et les vallées servant de réserves fauniques au Brésil et au Guyana.
Chasse : La chasse intensive provoque l'extinction locale de la faune vertébrée dans les Amériques. La réduction des processus de dispersion des graines a une influence néfaste sur la reproduction des arbres. (Killeen, 2007).	Collaborer avec les collectivités locales en vue de ramener la chasse à un niveau viable. Collaborer avec les compagnies forestières afin de réduire la chasse et le commerce des animaux sauvages associés à l'exploitation forestière. Collaborer avec les gouvernements en vue de l'apport de données scientifiques sur les effets de la chasse.

Annexe 4 : Effets des changements climatiques et mesures d'adaptation possibles pour la biodiversité (suite)

Dangers et effets des changements climatiques	Mesures d'adaptation appliquées à la biodiversité
Émissions de gaz à effet de serre	Mettre en œuvre des technologies et des stratégies de séquestration du carbone afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre (Thomas et al., 2004).
Augmentation des phénomènes extrêmes : tempêtes et incendies	Veiller à la plantation proactive d'espèces plus résistantes en tenant compte des effets prévus. Les écosystèmes diversifiés forment une protection contre l'incertitude du climat, sont plus productifs, augmentent la stabilité et résistent mieux aux événements climatiques extrêmes, aux organismes nuisibles et aux maladies et s'en remettent mieux.
Augmentation de la fonte du pergélisol	Réduire les émissions de gaz à effet de serre.
Augmentation des pressions sur les habitats	Maintenir la diversité naturelle des espèces; réduire le morcellement et les effets de l'activité humaine.
Maladies infectieuses	Réduire l'empiètement sur les habitats naturels des animaux. Établir des mesures préventives dans les secteurs où des humains vivent à proximité de la faune.
Arrivée d'eau salée	Planter des espèces tolérant le sel.
Espèces envahissantes	Limiter ou éliminer les espèces envahissantes.
Perte d'oiseaux migrateurs, de lieux de reproduction des mammifères et d'étendues de plantes fourragères	Créer de nouvelles réserves dotées de limites souples. Conserver de grands blocs de forêt afin de prévoir les effets de bordure et de fournir aux espèces rares une aire de répartition suffisante favorisant leur survie. Accorder une considération particulière au bassin occidental de l'Amazone qui représente la région la plus diversifiée et le climat le plus stable. Utiliser des couloirs pour relier les écosystèmes.
Manque de respect pour les écosystèmes : Le manque de soin et de respect des écosystèmes se reflète dans la qualité des ressources en eau.	L'éducation et la participation de toutes les parties concernées est très importante. Il est nécessaire de considérer les droits en matière d'environnement comme des droits humains. Les êtres humains ont le droit moral de protéger les espèces terrestres, car celle-ci ont une valeur intrinsèque supérieure aux avantages qu'elles apportent. La conservation devrait être vue comme l'obligation morale de préserver notre patrimoine extrêmement précieux et irremplaçable (Killeen, 2007). Il importe d'apprécier les espèces pour l'inspiration esthétique, spirituelle et intellectuelle qu'elles apportent.
Exploitation minière : Les diamants, l'or, le cuivre et le charbon sont exploités dans les Amériques. L'exploitation minière est même autorisée dans les parcs nationaux de Bolivie. L'extraction des diamants dans les Territoires-du-Nord-Ouest entrave les routes de migration des caribous. L'exploitation minière modifie le débit des rivières, réduit les charges sédimentaires et perturbe le comportement migratoire des poissons (Killeen, 2007). Elle pollue et détruit la végétation et la faune et laisse des résidus qui influent sur la fonction neurologique et augmentent le risque d'anomalies congénitales.	Planifier l'utilisation des terres. Mettre au point des technologies de remplacement. Remettre en état les sites naturels où on a pratiqué l'exploitation minière. Promulguer des lois en vue de protéger les réserves et les parcs.

Annexe 4 : Effets des changements climatiques et mesures d'adaptation possibles pour la biodiversité (suite)

Dangers et effets des changements climatiques	Mesures d'adaptation appliquées à la biodiversité
Extraction de pétrole ou de gaz/déversements de pétrole : les déversements de pétrole causent principalement des problèmes en Bolivie et au Pérou où les fortes pluies et la topographie instable augmentent les risques (Killeen, 2007).	Rechercher des sources d'énergie de remplacement. Utiliser des technologies de production améliorées. Éliminer progressivement les navires pétroliers plus anciens.
Surpâturage	Encourager les techniques durables de gestion des pâturages.
Succès moins grand de la colonisation	Faciliter la régénération des espèces.
Réduction de l'approvisionnement en eau	Planter des espèces tolérant la sécheresse.
Diminution des zones humides	Préserver les terres humides car elles maîtrisent les inondations en stockant de grandes quantités d'eau et contribuent à réduire l'érosion en ralentissant le ruissellement. Elles aident aussi à extraire les gaz à effet de serre de l'atmosphère terrestre et à les stocker. Les terres humides sont importantes pour les oiseaux aquatiques et constituent des aires de frai, d'alevinage et d'alimentation essentielles pour le poisson. Elles abritent 600 espèces d'espèces fauniques.
Routes : La construction de routes dans les forêts montagneuses humides d'Amazonie entraîne l'extinction d'espèces dans les zones où leur présence est endémique. L'amélioration des routes cause la déforestation qui influe à la fois sur les émissions de carbone et sur le régime des précipitations continentales (Killeen, 2007).	Planifier l'utilisation des terres afin de réduire les effets.
Empiètement urbain et expansion du développement et de la population : En raison de l'expansion urbaine, de vastes zones humides sont menacées par l'empiètement des activités humaines.	Planifier l'utilisation des terres afin de réduire les effets. Éduquer le public et accroître la sensibilisation.
Épuisement des ressources en eau : L'épuisement des ressources en eau entraîne l'assèchement des rivières, l'abaissement du niveau des nappes phréatiques et des aquifères, ainsi que la disparition des lacs. On assiste à l'épuisement des ressources en eau dans les Everglades. On constate aussi une diminution du niveau des lacs et une réduction des zones humides au Mexique. La détérioration des zones humides, des rivières et des habitats riverains a aussi un effet considérable sur la biodiversité. La perte de plus des deux tiers du débit naturel des rivières entraîne une perte de biodiversité qui a une grave incidence sur la santé à long terme de l'écosystème, y compris des poissons et des autres organismes (Krockenberger *et al.*, 2003).	Adopter des règlements. Planter des arbres et introduire des mesures de conservation de l'eau.

Papier Occasionnel 1 : *Novembre 2004, Changements climatiques et déficit d'adaptation, Ian Burton*

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

Papier Occasionnel 3 : *Janvier 2005, Villes et collectivités : vulnérabilité des infrastructure face à l'évolution du climat, Heather Auld et Don MacIver*

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

Papier Occasionnel 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*

Papier Occasionnel 6 : *2005, Biométéorologie et adaptation : Un aperçu, Don MacIver, Heather Auld, Natty Urquizo et Marianne Karsh*

Papier Occasionnel 7 : *2006, Influences atmosphériques sur l'industrie acéricole en Amérique du Nord, Don C. MacIver, Marianne Karsh, Neil Comer, Joan Klaassen, Heather Auld, et Adam Fenech*

Papier Occasionnel 8 : *2008, Prévisions climatiques de la biodiversité des forêts à l'aide du réseau mondial d'observation de la terre de la smithsonian institution, Marianne Karsh, Don C. MacIver, Adam Fenech et Heather Auld*

Papier Occasionnel 9 : *2007, Les changements dans les régimes météorologiques, l'incertitude et les risques pour les infrastructures : les nouvelles exigences d'adaptation, Heather Auld et Don C. MacIver*

Papier Occasionnel 10 : *2007, Les options d'adaptation des infrastructures à l'évolution du climat, Heather Auld, Don C. MacIver et Joan Klaassen*

Papier Occasionnel 11 : *2007, L'altération atmosphérique des bâtiments et les changements climatiques : les options d'adaptation, Heather Auld, Joan Klaassen et Neil Comer*

Papier Occasionnel 12 : *2007, Planification de la gestion des dangers atmosphériques et des catastrophes dans des conditions climatiques changeantes, Heather Auld, Don C. MacIver, Joan Klaassen, Neil Comer et Bryan Tugwood*

Papier Occasionnel 13 : *Les Amériques : Renforcement de la capacité d'adaptation aux changements environnementaux a l'échelle du globe, Adam Fenech, Heather Auld, Don MacIver, et James P. Bruce*

Papier Occasionnel 14 : *Littérature sur l'adaptation aux changements climatiques, James I. MacLellan*

POUR OBTENIR DES COPIES ADDITIONNELLES :

DIVISION DE RECHERCHE SUR L'ADAPTATION ET LES RÉPERCUSSIONS
Environnement Canada
4905 rue Dufferin, Toronto (Ontario)
CANADA M3H 5T4
Attention: Don MacIver
don.maciver@ec.gc.ca