



Organisation
des Nations Unies
pour l'alimentation
et l'agriculture

Revue internationale
des forêts
et des industries
forestières

Vol. 60

2009/1-2

231/232

Rédactrice: A. Perlis

Comité consultatif de rédaction:

F. Castañeda, T. Hofer, D. Kneeland, A. Perlis,

P. Vantomme, M.L. Wilkie

Conseillers émérites:

J. Ball, I.J. Bourke, C. Palmberg-Lerche, L. Russo

Conseillers régionaux:

F. Bojang, C. Carneiro, P. Durst, P. Koné,

K. Prins

Unasylva paraît en anglais, français et espagnol.

Les abonnements sont gratuits. Pour souscrire,
s'adresser par courriel à unasylva@fao.org.

Les demandes d'abonnement venant
d'institutions (bibliothèques, sociétés,
organisations et universités, par exemple) sont
préférables aux demandes individuelles, afin
de rendre la revue accessible à davantage de
lecteurs.

Tous les numéros d'*Unasylva* sont disponibles en
ligne à titre gratuit à l'adresse suivante:

www.fao.org/forestry/unasylva.

Veuillez envoyer vos commentaires et questions à:
unasylva@fao.org

Table des matières

Éditorial	3
<i>P. Bernier et D. Schoene</i> Adapter les forêts et leur gestion aux changements climatiques: un aperçu	5
<i>B. Osman-Elasha</i> Impacts des changements climatiques, adaptation et liens avec le développement durable en Afrique	12
<i>D. Konkin et K. Hopkins</i> Apprendre à s'adapter aux changements climatiques et aux perturbations forestières catastrophiques	17
<i>M. van Zonneveld, J. Koskela, B. Vinceti et A. Jarvis</i> Impact des changements climatiques sur la répartition des pins tropicaux en Asie du Sud-Est	24
<i>M.S. Devall</i> Effets du changement climatique mondial sur des arbres et arbustes rares	29
<i>M. Silveira Wrege, R.C.V. Higa, R. Miranda Brites, M. Cordeiro Garrastazu, V.A. de Sousa, P.H. Caramori, B. Radin et H.J. Braga</i> Changement climatique et conservation d'<i>Araucaria angustifolia</i> au Brésil	30
<i>D.I. Nazimova, O.V. Drobusheskaya, G.B. Kofman et M.E. Konovalova</i> Stratégies forestières d'adaptation: analyse de successions à long terme consécutives aux incendies en Sibérie méridionale, Fédération de Russie	34
<i>J. Régnière</i> Prédire la répartition continentale des insectes à partir de leur physiologie	37
<i>C.D. Allen</i> Le dépérissement des forêts dû au climat: un phénomène planétaire croissant?	43
<i>A. Yanchuk et G. Allard</i> Les programmes d'amélioration des arbres pour la santé des forêts – peuvent-ils aller de pair avec les changements climatiques?	50
<i>G.M. Blate, L.A. Joyce, J.S. Littell, S.G. McNulty, C.I. Millar, S.C. Moser, R.P. Neilson, K. O'Halloran et D.L. Peterson</i> Adaptation aux changements climatiques dans les forêts nationales des États-Unis	57
<i>S. Mansourian, A. Belokurov et P.J. Stephenson</i> Rôle des aires protégées forestières dans l'adaptation aux changements climatiques	63

Les informations ci-après peuvent être reproduites ou diffusées à des fins éducatives et non commerciales sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source des informations soit clairement indiquée. Ces informations ne peuvent toutefois pas être reproduites pour la revente ou d'autres fins commerciales sans l'autorisation écrite du détenteur des droits d'auteur. Les demandes d'autorisation devront être adressées au Chef de la Sous-division des politiques et de l'appui en matière de publications électroniques, Division de la communication, FAO.

Les articles signés expriment les opinions de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de la FAO.

Les appellations employées et la présentation des données n'impliquent de la part de la FAO aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Pour se procurer les publications de la FAO mentionnées dans *Unasylva*, s'adresser aux points de vente dont la liste figure à l'intérieur de la couverture. La FAO prendra les commandes des pays où il n'y a pas de point de vente. Veuillez contacter le Groupe des ventes et de la commercialisation, Division de la communication, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie.

Tél.: (+39) 06 57051;

Télécopie: (+39) 06 5705 3360;

Télex: 625852/625853/610181 FAO I;

Courriel: publications-sales@fao.org

B.A. Gyampoh, S. Amisah, M. Idinoba et J. Nkem

Utiliser le savoir traditionnel pour s'adapter aux changements climatiques dans le Ghana rural

70

M. Idinoba, F. Kalame, J. Nkem, D. Blay et Y. Coulibaly

Changement climatique et produits forestiers non ligneux: vulnérabilité et adaptation en Afrique de l'Ouest

75

M. Maroschek, R. Seidl, S. Netherer et M.J. Lexer

Impacts des changements climatiques sur les biens et services des forêts de montagne européennes

76

La FAO et la foresterie

81

Le monde forestier

86

Livres

89

Adaptation au changement climatique

Les preuves que les effets cumulatifs des activités humaines sont en train de changer le climat du globe sont désormais presque irréfutables. Qu'est-ce que cela signifie pour les forêts du monde? Une sombre menace ou une possibilité de croissance? En l'absence de certitude, tout dépendra du point de vue.

La manière dont les forêts et les populations qui en sont tributaires s'adapteront au changement climatique est un domaine de recherche d'un intérêt croissant, qui a été au cœur d'un grand nombre de conférences récentes. L'une d'entre elles, la Conférence internationale sur l'adaptation des forêts et de la gestion forestière aux changements climatiques, notamment en ce qui concerne la santé des forêts (Umeå, Suède, août 2008), est à l'origine de ce numéro spécial double d'*Unasylva*. Organisée par la FAO, l'Union internationale des instituts de recherches forestières (IUFRO) et l'Université suédoise des sciences agricoles, la conférence a réuni plus de 300 chercheurs, gestionnaires et décideurs appartenant à 50 pays.

Le présent numéro comprend un échantillon des thèmes présentés à la conférence d'Umeå. Les lecteurs intéressés trouveront d'autres contributions généralement plus techniques, ainsi qu'un complément d'informations sur certaines des études décrites ici, dans les prochains numéros de *Forest Ecology and Management* et *Forest Policy and Economics*. Les deux numéros ont été planifiés, en coordination avec *Unasylva*, pour remplacer la publication des actes de la conférence.

Questions principales. Le premier article, écrit par P. Bernier et D. Schoene, résume les observations faites lors de la conférence d'Umeå. Après un aperçu des impacts du changement climatique (qui, dans ce numéro, inclut la variabilité climatique) sur les écosystèmes forestiers, leurs biens et services, et les populations et leurs moyens d'existence, l'article évalue les mesures visant une adaptation planifiée des pratiques de gestion forestière. Il examine le rôle de la science dans le soutien d'une telle adaptation et la nécessité de modifier les politiques et les institutions. Les auteurs soulignent l'importance, pour les pays et les secteurs, de s'attaquer de concert à ce problème mondial et de combler le fossé entre pays développés et pays en développement sous l'angle de l'aptitude scientifique, organisationnelle et opérationnelle à s'adapter.

Le deuxième article, par B. Osman-Elasha, tiré de son discours liminaire, examine les impacts prévus du changement climatique en Afrique et les liens entre ce changement et le développement durable. Bien que l'article ne concerne pas à proprement parler le secteur forestier, ces liens devront être pris en compte par tous ceux qui se préoccupent de la façon dont le secteur s'adaptera à l'évolution du climat dans les pays en développement. Les termes clés sont définis: vulnérabilité, adaptation, capacité d'adaptation. Le message central postule que le changement climatique est un obstacle au développement, et que le développement durable est à la base des capacités d'atténuation et d'adaptation; il s'ensuit donc que le développement durable et le changement climatique doivent être affrontés ensemble.

Une infestation de dendroctones du pin intéressant une superficie de 13 millions d'hectares, dans la province de la Colombie-Britannique (Canada), donne l'idée des effets catastrophiques que le réchauffement du climat pourrait avoir sur le paysage, l'industrie forestière et les communautés tributaires de la forêt. En récapitulant une autre allocution principale de la conférence d'Umeå, D. Konkin et K. Hopkins résument les défis à relever et les enseignements tirés. L'épidémie a mis clairement en évidence la nécessité d'augmenter la résilience des écosystèmes, des populations et des communautés, et a sensiblement élargi le mode de penser et l'approche des gestionnaires forestiers de la Colombie-Britannique. Outre l'investissement dans le reboisement des zones touchées, le gouvernement a préconisé la récupération de la valeur économique des arbres tués par une récolte rapide du bois, et a encouragé l'utilisation du bois dans la construction et la diversification des moyens d'existence des communautés forestières.

Impacts sur la composition et la répartition des espèces forestières.

Les deux articles qui suivent décrivent certaines des techniques employées pour prédire les effets du changement climatique sur les écosystèmes forestiers et la répartition des espèces forestières. M. van Zonneveld et ses coauteurs ont utilisé une modélisation de l'enveloppe climatique pour prédire des déplacements possibles dans l'aire de répartition de deux espèces de pin tropical, *Pinus kesiya* et *Pinus merkusii*, en Asie du Sud-Est; les techniques avaient pour objectif non seulement de prévoir les impacts, mais aussi d'identifier les opportunités, comme l'établissement de plantations de pins dans des zones où elles n'étaient pas réalisables auparavant. M. Silveira Wrege *et al.* ont utilisé la cartographie de la vulnérabilité au climat pour prédire les zones du Brésil où l'évolution climatique pourrait avoir les impacts les plus marqués sur *Araucaria angustifolia*, si bien que ces zones pourraient être affectées à des activités de conservation.

Une brève contribution de M. Devall porte sur la façon dont l'altération du climat risque de rendre des arbres et arbustes rares – ceux qui ont le plus besoin de mesures de conservation – plus vulnérables en raison de l'exiguïté de leurs populations, de la spécialisation de leur habitat ou de la limitation de leur aire de répartition géographique. D.I. Nazimova *et al.* analysent 350 années de succession, à la suite d'incendies dans les forêts de subtaïga du sud de la Sibérie (Fédération de Russie), pour prédire comment l'augmentation des incendies (résultat probable du changement climatique) pourrait influencer leur composition future, le feu étant le principal facteur qui détermine la biodiversité, la régénération et la dominance de certaines espèces arborescentes dans ces forêts. Il sera donc nécessaire dans cette zone d'élaborer des plans de gestion adaptatifs pour renforcer la protection contre le feu.

Impacts sur la santé des forêts. Le changement climatique influencera aussi la santé des forêts par ses impacts sur d'autres facteurs biotiques, comme les ravageurs et les maladies. Dans certaines zones, il offre déjà des habitats de plus en plus hospitaliers à des espèces d'insectes; en outre, les déplacements de ces insectes sont grandement facilités par l'ampleur accrue des échanges commerciaux. J. Régnière, un des orateurs principaux d'Umeå, décrit une méthode permettant de prédire la répartition des insectes nuisibles sous un climat en évolution, sur la base de leurs réponses physiologiques à des facteurs climatiques particuliers. Il observe que l'aire de répartition de la plupart des

insectes pourrait se déplacer vers les pôles et vers des altitudes plus élevées, l'impact le plus marqué intéressant les régions tempérées; toutefois, des changements dans l'aire de répartition ne signifient pas nécessairement que le monde aura plus de ravageurs.

C.D. Allen estime que, au-delà des impacts de l'expansion des populations humaines et des économies, les changements climatiques en cours influencent l'état des forêts dans le monde entier. Il décrit des modèles de dépérissement (mortalité des arbres bien supérieure à la normale) liés principalement à la sécheresse et à la hausse des températures. Bien que des lacunes dans les connaissances actuelles limitent les conclusions qui peuvent être tirées quant aux tendances de la mortalité des arbres, Allen indique que de nombreuses forêts et terres boisées pourraient se trouver aujourd'hui face à un danger croissant de dépérissement imputable au climat. Une carte illustrée est présentée à l'appui de cette théorie avec des exemples concernant tous les continents boisés.

Ce que peuvent faire la science et les politiques. Les programmes d'amélioration des arbres peuvent-ils résoudre les nouveaux problèmes de santé des forêts que le changement climatique pourrait déclencher? Sur la base d'une enquête menée sur les programmes existants visant à développer la résistance des arbres aux insectes nuisibles et aux maladies, A. Yanchuk et G. Allard font observer que les progrès les plus importants n'ont été réalisés que pour un petit nombre d'essences d'un intérêt commercial particulier, et qu'il a fallu des décennies pour arriver à ces résultats. L'article laisse entendre que, dans un monde soumis à une évolution accélérée du climat, où de nouvelles introductions d'insectes nuisibles et de maladies ainsi que des dommages accrus provoqués par des ravageurs indigènes sont probables, les mesures adoptées dans le passé risquent de ne pas être assez rapides. Les auteurs recommandent que la recherche se focalise sur l'identification de formes de résistance plus générales contre diverses classes d'insectes ou de maladies qui pourraient être mises au point avant les infestations.

G.M. Blate *et al.* offrent des solutions pratiques pour l'adaptation des objectifs et des pratiques de gestion forestière aux impacts attendus du changement climatique, comme celles identifiées pour les forêts nationales des États-Unis. Ils proposent des adaptations à court terme pour le développement de la résistance et de la résilience, et des adaptations à long terme pour la gestion du changement quand les seuils de résilience sont dépassés. Les auteurs soulignent la nécessité de renforcer les relations entre la recherche scientifique et la gestion forestière; d'évaluer les avantages réciproques et les synergies des mesures d'atténuation et d'adaptation; de faire appel à la prise de décision participative pour répondre aux intérêts de toutes les parties prenantes; et de viser des résultats réalistes en mettant en balance ce qui peut être accompli et ce qui ne peut pas l'être, vu la limitation des ressources financières et humaines.

S. Mansourian, A. Belokurov et P.J. Stephenson examinent le rôle des aires forestières protégées dans l'adaptation au changement climatique, en prenant des exemples du travail réalisé par le Fonds mondial pour la nature (WWF). Ils résument une série de mesures de gestion aptes à assurer que les aires forestières protégées continuent de fournir leur soutien à la conservation de la biodiversité face au changement climatique, par exemple en concevant, planifiant et gérant les aires protégées dans les paysages pour améliorer leur résilience et la liberté de mouvement des espèces. Les auteurs font remarquer que, dans un avenir où le changement climatique viendra

ajouter sa pression à celle exercée sur les ressources naturelles par des populations croissantes, les aires protégées ne pourront survivre que si elles sont directement utiles aux communautés humaines qui y vivent ou en dépendent.

Adaptation des communautés. Que peuvent faire les communautés pour s'adapter? B.A. Gyampoh et ses coauteurs ont mené une enquête dans 20 communautés rurales du Ghana pour examiner le rôle du savoir traditionnel dans l'adaptation aux impacts de l'altération du climat, notamment la pénurie d'eau. Les populations autochtones vivent en contact étroit avec la nature et sont souvent les premières à noter ses changements et à s'y adapter. Les stratégies d'adaptation pourraient bénéficier de la combinaison des connaissances scientifiques et traditionnelles, notamment dans les pays en développement où les technologies sont peu développées. Les auteurs recommandent une étude plus approfondie pour faciliter l'intégration des mesures traditionnelles dans les stratégies d'adaptation mondiales et la recherche scientifique.

M. Idinoba *et al.* examinent brièvement les impacts du changement climatique sur les communautés qui dépendent des produits forestiers non ligneux (PFNL) en Afrique de l'Ouest. Ils citent une recherche menée au Burkina Faso, qui a montré les réductions, dues en partie au changement climatique, survenues dans l'aire de répartition, la disponibilité et la productivité de certaines espèces productrices de PFNL. Ils décrivent les pratiques de gestion forestière et de conservation adoptées pour diminuer la vulnérabilité.

Le numéro s'achève par un examen des sensibilités de l'écosystème à l'évolution du climat, de ses impacts futurs probables sur les biens et services, et des mesures d'adaptation convenant à un écosystème particulièrement vulnérable, à savoir les forêts de montagne. Observant les forêts tempérées et méditerranéennes de montagne en Europe, Maroschek et ses coauteurs notent l'importance du choix des espèces et du matériel de reproduction appropriés; de l'adaptation des espacements et des plans d'entretien et d'éclaircie en prévision des conditions futures; de l'adoption de mesures préventives (surveillance des ravageurs, par exemple) et correctives (coupes d'assainissement, lutte contre les ravageurs, par exemple) de protection des forêts contre la possibilité d'une augmentation des perturbations; et du soutien aux mesures adaptatives de gestion en réduisant les autres pressions grâce à la gestion intégrée de l'environnement.

Dans ce numéro spécial, même les sections habituellement consacrées à la FAO et la foresterie, au monde forestier et aux livres mettent en évidence le thème de la forêt et du changement climatique.

Le changement climatique est une cible en mouvement; il sera donc nécessaire d'évaluer les risques et de réduire la vulnérabilité aux changements prédits. Nous espérons que les informations présentées ici pourront aider le secteur forestier à se préparer aux changements à venir.

Adapter les forêts et leur gestion aux changements climatiques: un aperçu

P. Bernier et D. Schoene

Une synthèse des observations issues de la Conférence internationale sur l'adaptation des forêts et de la gestion forestière aux changements climatiques, notamment en ce qui concerne la santé des forêts, tenue à Umeå (Suède) en août 2008.

L'adaptation des forêts aux conditions environnementales ou sociales futures résultant des changements climatiques pourrait modifier sensiblement la façon dont la foresterie est pratiquée dans de nombreuses parties du globe. À cause du climat et, partant, de l'environnement qui subissent des changements perceptibles pendant la durée de vie des arbres, réaliser la gestion durable des forêts sera de plus en plus comme viser une cible en mouvement.

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007) a conclu que le réchauffement du système climatique est un processus univoque, dû très probablement à l'augmentation observée des concentrations dans l'atmosphère de gaz à effet de serre d'origine humaine. Outre la hausse de la moyenne des températures mondiales, des changements évidents ont été observés dans les températures diurnes, nocturnes et saisonnières, dans la fréquence, la durée et l'intensité des vagues de chaleur, des sécheresses et des inondations, dans les modèles des vents et des orages, des gelées, de la neige et du manteau glaciaire et dans les niveaux mondiaux des mers.

Le réchauffement d'origine humaine a déjà provoqué de nombreuses altérations dans les forêts. En tant que vastes écosystèmes à longue vie gérés de manière extensive, souvent sur des sites marginaux, les forêts sont sensibles aux changements climatiques, de même que les populations, les sociétés et les activités économiques qui en dépendent. Le GIEC a estimé que les forêts boréales, de montagne (voir l'article de Maroschek *et al.* dans ce numéro), méditerranéennes, de mangrove et tropicales humides étaient les écosystèmes forestiers les plus susceptibles de souffrir des changements climatiques.

Les forêts influencent à leur tour le climat, en tant que sources de gaz à effet de serre

lorsqu'elles sont détruites et comme puits de carbone quand elles se développent ou s'étendent. Le Plan d'action de Bali adopté en 2007 par la treizième Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) propose de considérer les forêts des pays en développement comme le principal outil d'atténuation de l'évolution du climat. Les activités actuellement envisagées comprennent la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement (REDD) ainsi que la conservation et l'augmentation des stocks de carbone grâce à la gestion durable des forêts.

Des millions d'habitants autochtones des forêts dépendent directement des forêts et de leurs produits. D'une manière plus générale, les forêts contribuent au bien-être humain grâce à une série bien connue de services. C'est pourquoi l'adaptation des forêts à l'évolution du climat revêt une importance cruciale. Au niveau local, la gestion des forêts et la sylviculture pourraient avoir une incidence sur le piégeage du carbone par les arbres, la réaction des forêts aux changements climatiques et les services forestiers fournis aux populations locales. Dans ce cas, il importe que l'atténuation et l'adaptation s'unissent.

Les observations et les projections actuelles donnent une première estimation des mesures d'adaptation qui devront être prises pour faire face aux impacts dans le secteur forestier et, éventuellement, dans d'autres secteurs. Bien que les perspectives soient altérées par l'incertitude, les mesures appliquées dans les forêts d'aujourd'hui relient les générations présentes à celles du futur, soulignant la nécessité d'incorporer l'adaptation aux changements climatiques dans les pratiques actuelles de gestion forestière.

Pierre Bernier est chercheur scientifique au Centre de foresterie des Laurentides, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Québec. Détaché auprès de la FAO, Rome, comme expert pour six mois en 2008, il a contribué à organiser la conférence d'Umeå (Suède), sur laquelle se fonde ce numéro d'*Unasylva*.

Dieter Schoene, spécialiste des forêts et des changements climatiques, a pris sa retraite du Département des forêts de la FAO en 2007. Il était orateur principal à la conférence d'Umeå.

En août 2008, la Conférence internationale sur l'adaptation des forêts et de la gestion forestière aux changements climatiques, notamment en ce qui concerne la santé des forêts, a réuni environ 330 chercheurs, gestionnaires et décideurs, provenant de 50 pays, pour débattre de ces questions (voir www.forestadaptation2008.net). La conférence, qui s'est tenue à Umeå (Suède), était organisée par l'Université suédoise des sciences agricoles, l'Union internationale des instituts de recherches forestières (IUFRO) et la FAO. Le texte qui suit présente certaines des observations et des idées issues des présentations et des débats.

IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ACTUELS ET FUTURS Les écosystèmes forestiers et leurs biens et services

Au niveau local, il est difficile d'attribuer un seul événement extrême aux changements climatiques. Le climat est intrinsèquement variable, et les événements extrêmes ne sont pas rares. Une infestation occasionnelle d'insectes, ou la mortalité causée par la sécheresse dans un endroit, pourrait dépendre de la variabilité naturelle du climat ou être intensifiée par cette dernière. Dans de nombreux cas, l'absence de données fiables et à long terme fait qu'il est difficile de déterminer si la

fréquence d'événements extrêmes tend ou non à augmenter. Au niveau mondial, toutefois, le nombre et l'échelle actuels de ces événements fournissent des preuves indirectes convaincantes que des changements généralisés et inhabituels sont survenus dans les écosystèmes forestiers (voir l'article de Régnière).

Les forêts tempérées et boréales se caractérisent par un manteau neigeux réduit et la fonte précoce des neiges, des périodes plus courtes de gelées et des conditions climatiques extrêmes, ce qui accroît la probabilité, la fréquence et l'ampleur ou la gravité de la sécheresse, des vagues de chaleur, des inondations et des orages intenses. Dans de nombreuses parties du monde, les périodes d'incendies de forêt sont désormais plus longues et les feux plus intenses. Les températures plus chaudes, associées parfois à une gestion impropre des forêts, ont également prédisposé certains des grands écosystèmes forestiers homogènes à des infestations d'insectes ou autres ravageurs et à des épidémies de maladies. Un exemple frappant est l'infestation actuelle du dendroctone du pin (*Dendroctonus ponderosae*), qui a ravagé plus de 13 millions d'hectares de forêts dans l'ouest du Canada. Les écosystèmes forestiers tropicaux ont connu des températures en hausse et des événements plus fréquents et extrêmes liés au phénomène d'oscillation australe El Niño, qui ont accru l'incidence de cyclones dévastateurs, de sécheresses extrêmes, d'incendies, d'inondations et de glissements de terrains. Les débits plus faibles des cours d'eau et la force accrue des vagues lors des tempêtes

augmentent la salinité de l'eau dans les mangroves et d'autres terres humides boisées côtières, provoquant la dégradation de ces écosystèmes essentiels.

Dans les terres arides et semi-arides, la sécheresse a accru la mortalité des arbres, entraînant la dégradation et la répartition réduite d'écosystèmes forestiers entiers, comme les forêts de cèdres de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) en Algérie et au Maroc. Comme la sécheresse réduit la productivité des terres agricoles attenantes, de nombreuses communautés africaines qui ne peuvent compter que sur de rares activités rémunératrices de substitution n'auront d'autre choix que de se tourner vers la forêt pour leur production agricole, le pâturage de leur bétail et la récolte illégale de bois et d'autres produits forestiers, aggravant par là même la perte du couvert forestier local.

Les impacts futurs des changements climatiques sur la santé, la croissance, la répartition et la composition de forêts particulières ne peuvent pas être prédits avec certitude (voir les articles de van Zonneveld *et al.* et Silveira Wrege *et al.*). Les projections climatiques locales sont encore rares. En outre, les facteurs biotiques et abiotiques peuvent interagir de manière imprévisible. Des saisons plus chaudes, des périodes de végétation prolongées et l'effet fertilisant de concentrations plus fortes de CO₂ atmosphérique peuvent stimuler la croissance, à condition que l'humidité et la disponibilité d'éléments nutritifs ne représentent pas des facteurs limitants. Cependant, on prévoit des perturbations plus fréquentes occasionnant le remplacement de certains peuplements accompagné de lourdes pertes soudaines et localisées (voir l'article d'Allen). Quelques modèles d'évolution du climat prédisent le dépérissement catastrophique des forêts dans quelques endroits d'Amazonie, ainsi que des forêts tropicales humides, ce qui aggraverait le réchauffement de la planète.

Les changements survenant dans les forêts dus à l'altération du climat risquent de s'intensifier sous l'effet d'autres variations de l'environnement naturel d'origine humaine. L'ozone troposphérique, un puissant agent phytotoxique très répandu dans les pays développés, réduit la croissance des arbres. En revanche, les dépôts de polluants azotés pourraient stimuler la croissance, mais déterminer aussi des déséquilibres nutritifs. L'introduction involontaire d'insectes nuisibles et d'agents pathogènes

Des températures plus élevées ont prédisposé la forêt de conifères de l'ouest du Canada à une grave infestation de dendroctones du pin (*Dendroctonus ponderosae*), qui intéresse plus de 13 millions d'hectares



MINISTÈRE DES FORÊTS DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE ET RANGÉ L. MACLAUGHLIN

*Dans les terres arides et semi-arides, la sécheresse a accru la mortalité des arbres, entraînant la dégradation et la répartition réduite d'écosystèmes forestiers entiers, comme les forêts de cèdres de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), au Maroc*



FAO/FO.6178/G. ALLARD

par le biais des échanges intercontinentaux, qui a déjà profondément altéré de nombreux écosystèmes forestiers dans le monde entier, augmente les dangers d'infestations à grande échelle, à mesure que les barrières climatiques s'opposant à l'établissement ou à la prolifération des insectes s'abaissent progressivement dans les forêts des hautes latitudes. Une meilleure gestion de ces facteurs favorisera l'adaptation des forêts à l'altération du climat.

Le modèle des impacts actuels et futurs des changements climatiques sur les forêts qui se dessine est un modèle d'impacts soudains et dévastateurs dus à une vaste panoplie de causes liées au climat, ainsi que d'autres impacts négatifs et positifs plus subtils qui se manifestent dans certaines régions ou des sites particuliers, n'intéressant souvent que certaines espèces d'arbres. Dans l'ensemble, les dangers qui menacent les forêts et la gestion forestière pendant les longues périodes de rotation typiques feront l'objet d'une brusque intensification dans la plupart des forêts de la planète, et les gains de productivité de certaines forêts seront probablement neutralisés par les perturbations. En ce qui concerne les activités forestières, la situation deviendra probablement beaucoup plus difficile pendant le siècle en cours.

Les populations et leurs moyens d'existence

Les sociétés plus aisées des pays industrialisés possèdent les moyens de faire face aux effets plus immédiats des changements climatiques et sont moins vulnérables aux impacts à court terme. En revanche, les retombées de ces impacts sur l'économie et le bien-être humain peuvent s'avérer graves pour de nombreuses communautés pauvres des pays en développement et des pays les moins avancés qui sont tributaires de la forêt pour les aliments, le fourrage, le bois de feu, les médicaments et les services de l'écosystème. Les pénuries d'eau et les précipitations imprévisibles, associées à la croissance démographique continue et à la dégradation des terres, accentuent la pression sur les écosystèmes forestiers et

leur capacité de satisfaire les besoins de subsistance immédiats de ces populations. Dans de nombreux pays en développement, la promotion de la foresterie communautaire pourrait multiplier les possibilités d'adaptation locale en confiant les prises de décisions à ceux qui seront les premiers à sentir les effets de l'évolution du climat, et en renforçant le rôle des connaissances traditionnelles en matière de gestion des forêts (voir l'article de Gyampoh *et al.*).

Même dans les pays développés, certaines communautés qui dépendent des industries forestières ou qui sont situées dans des paysages forestiers sont déjà touchées par les perturbations forestières liées au climat. Au Canada, par exemple, l'incidence accrue des incendies dans les forêts boréales menace la santé et la sécurité des populations, et la grave infestation du dendroctone du pin conduira inévitablement à une restructuration importante du secteur industriel basé sur la forêt, avec des répercussions sur le bien-être des populations locales (voir l'article de Konkin et Hopkins).

Les changements climatiques exercent aussi leurs effets sur les revenus locaux dégagés du tourisme et des services de récréation, lorsque de vastes étendues de forêts mourantes réduisent l'attrait des paysages, ou quand la minceur de la couche de neige raccourcit la saison de ski.

ADAPTER LES PRATIQUES DE GESTION DES FORÊTS

Trois approches sont à examiner pour adapter les forêts aux changements climatiques: l'absence d'intervention, l'adap-

tation réactive et l'adaptation planifiée. Malheureusement, la gestion actuelle préfère en général la première approche ou, dans la meilleure des hypothèses, la deuxième.

L'absence d'intervention signifie s'abstenir de toute interférence, les objectifs et les pratiques de gestion étant fondés sur l'hypothèse que la forêt s'adaptera tant bien que mal comme elle l'a fait dans le passé. L'adaptation réactive consiste en la prise de mesures après les faits, à savoir la coupe de récupération, les changements consécutifs à la perturbation dans les processus industriels utilisés pour convertir le bois récupéré, la mise à jour du plan d'exploitation, la révision des niveaux de récolte autorisés et la formulation de programmes de soutien socioéconomique pour les localités touchées.

En revanche, l'adaptation planifiée prévoit la redéfinition anticipée des objectifs et pratiques forestiers étant donné les risques et les incertitudes liés aux changements climatiques. Elle comporte des interventions délibérées et préventives à différents niveaux et à travers les secteurs. Au niveau communautaire, l'adaptation planifiée pourrait comprendre la diversification des sources de revenu liées ou non à la forêt, l'amélioration de la gouvernance locale des ressources forestières et le renforcement des capacités de monitoring et d'affrontement de calamités éventuelles d'une ampleur sans précédent. Dans le secteur forestier industriel, ce type d'adaptation pourrait prévoir l'inclusion de la bioénergie comme produit ou la promotion des produits ligneux grâce à leur

faible émission de carbone. Aux niveaux national et mondial, l'adaptation planifiée pourrait comprendre un système de surveillance et de communication établi en temps opportun et la mise au point d'outils d'évaluation de la vulnérabilité et de la planification de l'adaptation. Les gestionnaires forestiers pourraient aussi être plus souvent chargés d'évaluer les répercussions au niveau mondial des interventions locales, car les forêts font partie des cycles biogéophysiques et biogéochimiques mondiaux et font de plus en plus souvent l'objet d'accords internationaux ou de programmes de certification.

On pourrait soutenir qu'une bonne gestion des forêts comporte toujours l'adaptation planifiée. Cependant, la planification en prévision de changements climatiques comprend une incertitude bien plus prononcée, de nouveaux risques et la réduction systématique des risques en réponse à des événements prévus. L'adaptation planifiée prévoit aussi l'identification de nouvelles occasions présentées par l'évolution du climat, comme la plantation de provenances ou d'espèces dont la croissance sera plus rapide sous l'effet des conditions climatiques prévues, ou la jouissance des avantages procurés par de nouveaux produits et services comme le piégeage du carbone et les nouvelles formes de bioénergie. L'adaptation planifiée pourrait réduire la vulnérabilité et accroître la résistance, ou stimuler la diversification au détriment de la productivité.

Au niveau du peuplement, l'adaptation planifiée signifierait la plantation d'une plus grande diversité d'espèces ou de provenances, ou d'arbres améliorés pour mieux résister à des facteurs de stress attendus. La modification des plans d'éclaircie contribuerait à stabiliser les peuplements et à les protéger contre la sécheresse, les orages et les maladies et à exploiter la fertilisation offerte par le CO₂ pour accélérer la croissance.

Au niveau des paysages, l'adaptation planifiée pourrait inclure des mesures visant la réduction des impacts potentiels des incendies, des insectes et des maladies, la multiplication des opérations de boisement et de reboisement, la création de couloirs pour la biodiversité (voir l'article de Mansourian, Belokurov et Stephenson) et la remise en état des forêts dégradées.

Au niveau de l'unité de gestion forestière, les moyens d'adaptation pourraient

comprendre des évaluations de la vulnérabilité et une meilleure préparation aux catastrophes. Enfin, la planification de la gestion des forêts ne peut plus se fonder uniquement sur les trajectoires de la croissance et du rendement au fil du temps. Les plans de gestion devront incorporer l'incertitude et la probabilité accrue d'événements extrêmes, ainsi que la comparaison périodique entre les projections et la réalité changeante, afin de mettre à jour les objectifs et les méthodes.

La surveillance intensive des forêts est un élément fondamental de l'adaptation planifiée et exigera probablement un surcroît de ressources techniques et humaines. La surveillance peut donner rapidement l'alerte en cas de dépérissement des forêts et d'attaque de ravageurs ou de maladies, contribuer à réduire l'incertitude dans la planification et minimiser les pertes. Après un événement extrême, les évaluations rapides des dommages permettent de planifier la récupération et la conservation du bois et de prédire les impacts sur les disponibilités en bois, les marchés et les conditions socioéconomiques. La plupart des pays développés dotés d'un dense couvert forestier surveillent déjà la croissance des arbres et l'état de la forêt; ces mesures se sont parfois élargies pour inclure des aspects relatifs aux changements climatiques, comme le monitoring du carbone et la santé des forêts. Dans les pays en développement, le manque de ressources financières et de compétences en matière de suivi et d'évaluation pourrait entraver le dépistage précoce des impacts des changements climatiques et retarder la prise de mesures opportunes. Dans ces cas, l'adaptation planifiée doit commencer par la création de capacités pour conduire des évaluations périodiques des ressources forestières.

Intégrer la surveillance des forêts aux connaissances actuelles sur les impacts possibles des changements climatiques dans les évaluations de la vulnérabilité ou des risques est le premier pas fondamental de l'élaboration d'une stratégie d'adaptation. De telles évaluations peuvent servir à identifier les endroits où la gestion des risques est utile et où le répertoire des moyens d'action du secteur forestier est actuellement déficitaire. Concevoir, tester et améliorer les méthodes d'évaluation des risques peut aussi constituer un nouvel objectif pour la surveillance.

LA SCIENCE AU SERVICE DE L'ADAPTATION PLANIFIÉE

Les changements climatiques se sont infiltrés dans de nombreux domaines de la recherche sur l'environnement, y compris l'écologie et la gestion forestières. Les chercheurs devront interagir de façon croissante avec les décideurs et les gestionnaires pour assurer la pertinence et l'application effective des résultats de la recherche. À cet égard, le GIEC a joué un rôle fondamental en transmettant aux décideurs des informations techniques fondées sous une forme facilement accessible. Il a aussi mieux sensibilisé la communauté des chercheurs au type d'information dont les décideurs ont besoin et s'est également adressé avec succès au grand public. Le dialogue entre la science et les politiques s'est renforcé dans les administrations publiques, les pays du monde se trouvant forcés de prendre position sur les questions liées aux changements climatiques dans les politiques nationales et les négociations internationales.

La surveillance des forêts est vitale pour l'adaptation planifiée de la gestion des forêts. Le suivi à multiples échelles permet de détecter rapidement les changements de l'état et de la santé des forêts. La télédétection peut faciliter la détection précoce et la cartographie des calamités qui menacent la santé des forêts, et s'avérer particulièrement utile dans les zones dépourvues de levés systématiques du terrain ou comme outil de stratification pour des levés successifs; la fréquence améliorée de la couverture et de la résolution permet de capturer même des phénomènes éphémères et limités.

Les évaluations des dangers provoqués par des changements dans les forêts, et hors du secteur forestier mais qui peuvent avoir une incidence sur les forêts, sont un autre moyen d'adaptation efficace; elles devront être conçues de façon à incorporer la complexité des réactions des forêts au stress.

Bien que les changements forestiers les plus frappants attribués à l'évolution du climat se produisent en altitude, des variations plus modestes dans les climats tropicaux pourraient exercer des effets sensibles sur la végétation dus à l'interdépendance complexe des organismes forestiers et de leurs étroites niches climatiques. Les évaluations de la vulnérabilité et du risque pour les régions tropicales sont dès lors particulièrement stimulantes.

*L'agroforesterie est à même de tirer parti des avantages des synergies adaptation-atténuation dans les pays en développement, car elle encourage la diversification, réduit les risques et contribue à stabiliser les moyens d'existence (brise-vent établi à l'aide d'*Alnus acuminata*, en Équateur)*



FAO/CIH000007/R FAIDULTI

La mise au point de matériel de reproduction doté des caractéristiques génétiques voulues pourrait s'avérer une voie prometteuse pour contrecarrer les changements du climat local. Les gains acquis en matière de productivité et de résistance à la sécheresse laissent présager la possibilité d'améliorations ultérieures de nombreuses espèces d'une valeur commerciale élevée, bien que le besoin de matériel végétal capable de prospérer dans les conditions régnantes aussi bien que futures puisse soulever des problèmes.

Cependant, les perspectives de développement de la résistance aux nouveaux ravageurs et aux nouvelles maladies à l'aide des programmes d'amélioration traditionnels paraissent limitées. Après 50 ans environ d'amélioration des arbres, rares ont été les gains obtenus à cet égard, sauf en ce qui concerne d'importantes maladies chez quelques espèces d'une grande valeur commerciale, comme la rouille brune des peupliers (voir l'article de Yanchuk et Allard). Les risques pour la santé des forêts, qui se manifestent actuellement dans les plantations tropicales d'espèces exotiques, donnent à penser aussi qu'il est essentiel d'améliorer les techniques en matière de génétique forestière.

Les changements climatiques accentuent l'incertitude, mais la gestion de l'incertitude et du risque est un concept qui ne figure guère dans les sciences forestières traditionnelles. Les spécialistes du climat et le GIEC ont appris à communiquer quantitativement les incertitudes climatiques. Maintenant, les gestionnaires forestiers et les décideurs doivent apprendre à intégrer systématiquement ces possibilités dans la planification et les décisions au niveau du terrain. Les compétences en matière de gestion de l'incertitude et du risque pourraient également provenir de domaines où elles sont normalement présentes, comme la science de la gestion, la recherche opérationnelle, la gestion financière, les assurances et l'ingénierie.

Enfin, l'incitation à apporter des modifications au secteur forestier et à la société vient principalement des crises socioéconomiques et non écologiques. Ce n'est donc qu'en reliant les événements physiques à leurs impacts socioéconomiques que les scientifiques pourront fournir des renseignements exhaustifs aux responsables des politiques. Il faudra pour ce faire donner plus d'importance aux sciences sociales et du comportement dans la gestion des forêts.

ADAPTER LES POLITIQUES ET LES INSTITUTIONS

Des enseignements pourraient être tirés des crises forestières liées au climat qui sévissent aujourd'hui. L'infestation du dendroctone du pin au Canada, par exemple, a mis en évidence certains messages importants (voir l'article de Konkin et Hopkins). Les événements catastrophiques surviennent brusquement et transcendent le savoir conventionnel et les structures normales de la gestion forestière. Certes, les données sont importantes, mais elles ne suffisent pas toujours à changer les attitudes des gens. Les réponses appropriées doivent souvent se dissocier considérablement des vues et pratiques conventionnelles. Dès lors, le défi de l'adaptation planifiée consiste à rendre plus souples, avant la crise, la culture organisationnelle, les structures établies et les politiques de gestion des forêts.

L'adaptation aux changements climatiques et leur atténuation sont souvent traitées séparément, mais elles pourraient être reliées pour procurer plus d'avantages (voir l'article de Blate *et al.*). Dans tous

les pays, les mesures d'atténuation, comme le boisement ou l'interdiction de déboiser, devront être planifiées correctement et reliées aux politiques d'adaptation locales dans les secteurs connexes, afin d'aider les populations locales à améliorer leurs moyens d'existence et à supporter les effets défavorables de l'altération du climat.

Il est impératif de faire en sorte que les avantages des synergies adaptation-atténuation aillent aux populations locales dans les pays en développement (voir l'article d'Osman-Elasha). L'agroforesterie est particulièrement utile à cet égard, car elle encourage la diversification, réduit les risques et contribue à stabiliser les moyens d'existence. Les pratiques agroforestières ne piègent que de faibles volumes de carbone par hectare, mais les arbres, les bambous et les palmiers peuvent être associés dans des modes pratiquement illimités et sur une grande superficie aux cultures agricoles, à l'horticulture, au pâturage ou aux étangs de pisciculture.

L'adaptation et l'atténuation peuvent aussi s'intégrer dans les principes de la REDD. Conçue comme solution d'atténuation visant à réduire les émissions mondiales de CO₂ atmosphérique, la REDD remplit au mieux sa mission en encourageant la gestion durable des forêts dans les pays en développement. Les forêts gérées durablement s'adaptent mieux aux changements climatiques, et la gestion durable peut réduire, voire inverser, la perte et la dégradation des forêts et renforcer leur résistance à l'altération du climat. Pour les pays en développement, la REDD représente aussi une adaptation



FAO/FO-614/R. VERMA

Les mesures d'atténuation des changements climatiques doivent favoriser l'adaptation au niveau local des populations et des communautés (Inde)

permettant d'exploiter les nouvelles opportunités offertes par les changements climatiques sous forme d'incitations pécuniaires, de ventes de carbone et d'investissements dans les forêts.

L'un des problèmes concernant les liens entre l'adaptation et l'atténuation réside dans le fait que l'adaptation ne concerne souvent que des impacts locaux qui n'intéressent donc que les populations locales, alors que l'atténuation répond à une préoccupation mondiale et se traite normalement à l'échelle du pays. Le défi des politiques d'atténuation comme la REDD, notamment dans les pays en développement, consiste donc à faire en sorte que les énormes avantages découlant des mesures d'atténuation aillent aux communautés ou aux propriétaires forestiers. Pour ce faire, il conviendra de garantir que ces mesures promeuvent l'adaptation locale aux changements climatiques et qu'elles s'inscrivent dans le cadre d'un effort général visant à réduire la vulnérabilité et la pauvreté des communautés locales.

L'adaptation est également essentielle aux industries, car les changements climatiques représentent une nouvelle variable dans l'environnement de leurs opérations. L'utilisation des produits tirés de forêts

gérées durablement contribue aussi à l'atténuation, car le bois est l'une des rares matières premières réellement renouvelables qui soit disponible, et les objets à base de bois emmagasinent le carbone. Dans de nombreux pays, l'investissement dans la production de bois grâce à des pratiques sylvicoles améliorées ou dans les plantations forestières représente une mesure à la fois d'atténuation et d'adaptation. Les produits ligneux sont une bonne solution de substitution à l'acier et au béton, car ils ne produisent que de faibles émissions et peuvent être recyclés et utilisés pour la production de bioénergie à la fin de leur cycle de vie, rehaussant leur attrait comme produits respectueux de l'environnement. Quand une économie nette d'énergie peut être démontrée, le fait d'acheminer des matériels en bois massif qui auraient autrement été jetés au rebut vers des usines de production de bioénergie aurait le double avantage de réduire les émissions de méthane des décharges (dans celles qui ne sont pas équipées pour absorber ces émissions) et de remplacer les combustibles fossiles. Le développement du marché bioénergétique peut également servir de mesure d'adaptation dans les zones où les forêts ont fait l'objet d'une mortalité excessive. Des politiques énergétiques cohérentes intéressant la totalité de la chaîne de valeur des produits forestiers, associées à la sensibilisation et aux incitations visant à encourager les réactions appropriées des

consommateurs, pourraient jouer un rôle d'une importance croissante dans l'atténuation des changements climatiques.

CONCLUSIONS

La santé de nombreux écosystèmes forestiers est déjà influencée par les changements climatiques, et l'impact de ces derniers est susceptible de s'accroître, avec des conséquences préjudiciables aux niveaux local et mondial, qui risquent de neutraliser les hausses de croissance dues à l'évolution du climat. L'adaptation est réalisable, mais il importe de planifier et d'agir rapidement, afin d'éviter les retombées les plus fâcheuses et de tirer parti des opportunités. La prise de conscience des impacts effectifs et potentiels des changements climatiques, l'évaluation des incertitudes et l'inclusion des risques devraient forger l'armature des politiques d'adaptation dans la planification de la gestion des forêts. Le principal défi pourrait consister à promouvoir une adaptation planifiée en l'absence d'une crise immédiate, notamment quand elle signifie réduire les gains potentiels à long terme qui se réaliseraient en dehors des changements climatiques. L'adaptation réactive pourrait s'avérer l'option la plus naturelle, mais à long terme elle nuira aux forêts et à la société.

La réduction de la déforestation dans les pays en développement (REDD) occupe désormais une place de premier plan dans le programme mondial de lutte contre les changements climatiques, mais on ne sait pas exactement comment les modalités négociées à l'échelle internationale et la mise en œuvre éventuelle à l'échelle nationale influenceront les populations dont les moyens d'existence dépendent totalement ou partiellement des forêts. Cette option potentiellement très efficace d'atténuation et d'adaptation ne pourra se solder par un succès que grâce à la gestion durable des forêts et à l'assurance que les mesures d'atténuation favorisent l'adaptation au niveau local des populations et des communautés.

Un message qui émane clairement de la conférence d'Umeå est le fossé profond qui sépare les pays développés et les pays en développement sous l'angle de la capacité scientifique, organisationnelle et opérationnelle de s'adapter. Bien que de nombreux pays développés investissent dans des efforts pluridisciplinaires d'une grande envergure, visant à affiner les évaluations des risques et à mettre en œuvre

l'adaptation et l'atténuation, maints pays en développement font face à d'énormes lacunes en matière d'information, de leadership et de financement qui sont essentiels pour réaliser l'adaptation, et sont en même temps contraints de rechercher les moyens de répondre aux besoins plus immédiats. La pauvreté et l'instabilité entravent la planification de l'adaptation, et dans des environnements vulnérables de graves impacts défavorables sur les moyens d'existence dus à l'altération du climat pourraient s'avérer inévitables. Dans ces pays, toutes les politiques liées à l'atténuation et à l'adaptation de la gestion forestière à l'évolution du climat devront être associées aux politiques de développement rural et agricole qui favorisent les populations, rédui-

sent la pauvreté et promeuvent la sécurité alimentaire et l'amélioration des moyens d'existence. L'adaptation planifiée vise le bien commun. Les questions d'équité et le renforcement des capacités techniques sont des éléments indispensables de l'adaptation du secteur forestier aux changements climatiques dans les pays en développement; elles attirent donc l'attention de la communauté mondiale.

L'évolution du climat souligne plus que jamais l'importance de s'attaquer aux questions mondiales d'une façon pluri-sectorielle et exige la collaboration entre les pays. Les institutions régionales et nationales chargées de l'intendance et de la gestion des forêts s'attachent à renforcer la collaboration à cet égard. Les institu-

tions spécialisées et les mécanismes de gouvernance prennent forme lentement, à mesure qu'apparaissent clairement l'envergure du défi et les conséquences qui en découleraient si ce défi n'était pas affronté à l'échelon mondial. ♦



Bibliographie

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2007. *Changements climatiques 2007: rapport de synthèse*. Quatrième rapport d'évaluation du GIEC, Genève, Suisse. ♦

Impacts des changements climatiques, adaptation et liens avec le développement durable en Afrique

B. Osman-Elasha

Les stratégies de développement durable et d'adaptation aux changements climatiques ont de nombreux éléments en commun; leur association peut ainsi donner lieu à des synergies.

Le développement durable, défini comme un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins (CMED, 1987), implique l'intégration harmonieuse d'une économie rationnelle et viable, d'une gouvernance responsable, de la responsabilisation des populations, de la cohésion sociale et de l'intégrité écologique. Le développement durable ne signifie pas stagnation économique ou renoncement à la croissance économique au profit de l'environnement; il devrait comprendre la promotion du développement économique comme préalable au maintien de la qualité de l'environnement. Un tel développement permet de mieux affronter les problèmes environnementaux et sociaux. Le maintien de la qualité de l'environnement est, à son tour, un facteur essentiel pour le développement durable.

Le lien entre les changements climatiques et le développement durable naît du fait

que ces changements freinent le développement et que le développement durable est indispensable au renforcement des capacités d'atténuation et d'adaptation (voir l'encadré). Il s'ensuit que les stratégies permettant de réaliser ce développement et de s'adapter aux changements climatiques ont de nombreux points communs, si bien que leur association donne lieu à des synergies. Il en résulte aussi que la gestion en exclusivité des changements climatiques pourrait s'avérer très onéreuse, et c'est pourquoi elle doit être incorporée dans le programme de développement.

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN AFRIQUE

Changements climatiques observés et prévus

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007a) a communiqué que, pendant le XX^e siècle, le réchauffement de la majorité du territoire africain s'élevait à 0,7 °C. Ce réchauffe-

Quelques définitions fournies par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

VULNÉRABILITÉ AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Mesure dans laquelle un système est sensible – ou incapable de faire face – aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de l'évolution et de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation.

ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Initiatives et mesures prises pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets des changements climatiques réels ou prévus.

CAPACITÉ D'ADAPTATION

Ensemble des capacités, des ressources et des institutions d'un pays ou d'une région, lui permettant de mettre en œuvre des mesures d'adaptation efficaces.

Source: GIEC, 2007c.

Balgis Osman-Elasha est chercheur principal de la Climate Change Unit of the Higher Council for Environment and Natural Resources, Khartoum (Soudan).



FAO/CTU000352/R. FAIDUTTI

Les habitats et écosystèmes africains sont menacés par une variété de stress tels que la déforestation, la dégradation des terres et la forte dépendance vis-à-vis de la biomasse pour la production d'énergie; les changements climatiques pourraient être un facteur ultérieur de stress

ment a progressé au taux d'environ 0,05 °C par décennie, avec une augmentation légèrement plus forte entre juin et novembre qu'entre décembre et mai. Une hausse de la température d'environ 0,1 °C par décennie est escomptée pour les deux décennies à venir, même si les concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosol demeurent aux niveaux de 2000.

Le GIEC a notifié que des événements extrêmes, comme les inondations et les sécheresses, surviennent désormais plus souvent et avec une gravité croissante. Certaines régions d'Afrique sont plus

exposées à ces phénomènes que d'autres. Il est probable que la fréquence accrue des catastrophes recensées est le résultat de la combinaison de l'altération du climat et de changements socioéconomiques et démographiques.

Ce que signifient les changements climatiques pour l'Afrique

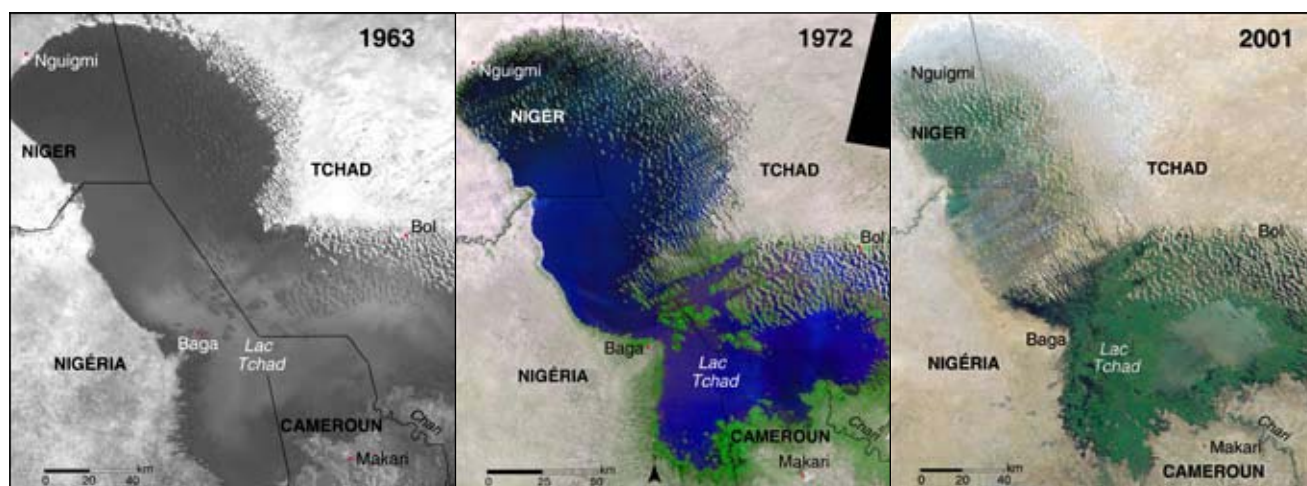
Les habitats et écosystèmes africains sont actuellement menacés par une variété de stress tels que la déforestation, la dégradation des terres et la forte dépendance vis-à-vis de la biomasse pour la production d'énergie. En Afrique subsaharienne, plus de 80 pour cent de la population sont tributaires de la biomasse traditionnelle pour cuisiner (ONU, 2007). Les changements climatiques pourraient être un facteur ultérieur de stress (figures 1 et 2).

Les secteurs les plus vulnérables identifiés par le GIEC (2007b) comprennent

l'agriculture, l'alimentation et l'eau. L'Afrique subsaharienne souffrira sans doute le plus non seulement aux plans de la réduction de sa productivité agricole et de l'augmentation de son insécurité hydrique, mais aussi de son exposition accrue aux inondations côtières, aux événements climatiques extrêmes et à la multiplication des risques pour la santé humaine.

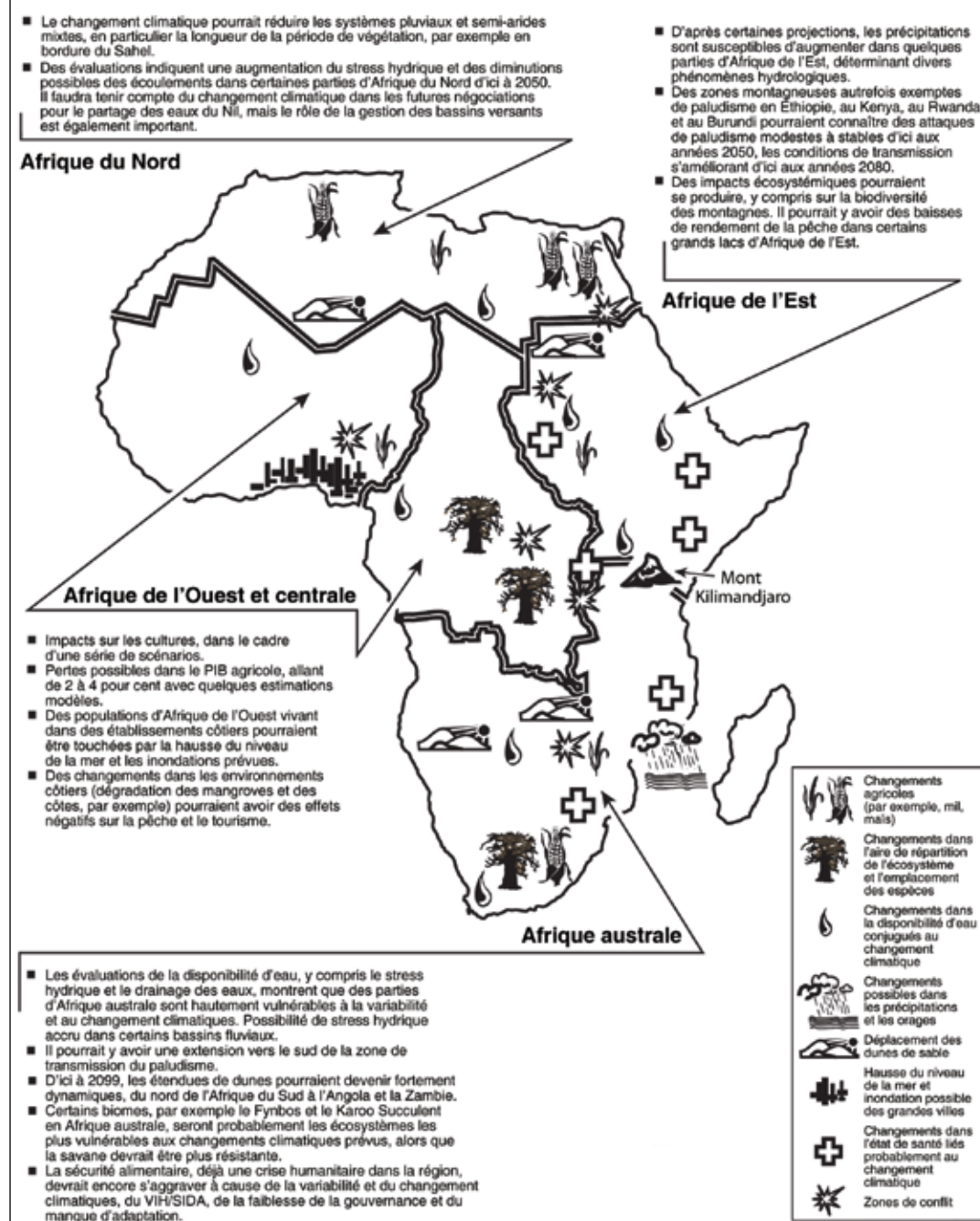
La vulnérabilité de l'Afrique aux changements climatiques est aggravée par un certain nombre de facteurs non climatiques, y compris la pauvreté endémique, la faim, la forte prévalence des maladies, les conflits chroniques, les faibles niveaux de développement et la capacité adaptative limitée. Le revenu moyen par habitant dans la plupart des pays d'Afrique est aujourd'hui inférieur à ce qu'il était il y a 30 ans. L'Afrique subsaharienne est la seule région dont le produit intérieur brut (PIB) a connu une croissance annuelle négative par habitant, soit - 1 pour cent entre 1975 et 1999, contre 6 pour cent en Asie de l'Est et dans le Pacifique, et 2,3 pour cent en Asie du Sud. Le tiers de la population d'Afrique subsaharienne souffre de faim chronique (FAO, 2007). Sur dix individus, quatre sont atteints du VIH/SIDA dans certains pays d'Afrique (PNUD, 2007). Les coûts associés aux dépenses de santé et aux pertes de main-d'œuvre et de productivité sont les plus élevés dans certains des pays les plus pauvres; en Afrique subsaharienne, ces pertes s'élèvent à 5 pour cent

1
Impact des changements climatiques sur le lac Tchad, laissant apparaître un amenuisement de la surface du lac, qui est passée de 22 902 km² en 1963 à seulement 304 km² en 2001



Source: PNUE, 2008.

2 Impacts des changements climatiques sur l'Afrique



Source: GIEC, 2007b (figure 9-5).

environ du PIB, soit quelque 28,4 milliards de dollars EU par an (PNUD, 2006). Sur les 25 pays d'Afrique qui affrontaient des crises alimentaires en 2003, dix connaissent actuellement des troubles intérieurs et quatre sortent à peine de conflits. Souvent, à cause de ces conflits, les maigres ressources disponibles finissent dans les budgets militaires au lieu d'être affectées au développement, d'où l'augmentation du nombre de personnes déplacées à l'intérieur du pays et de réfugiés.

Parmi les autres facteurs non climatiques

qui viennent accroître la vulnérabilité de l'Afrique, figurent la forte dépendance vis-à-vis des produits primaires, la croissance démographique accélérée qui exerce des pressions sur des terres déjà dégradées, l'inefficacité de la gouvernance et des institutions, les faibles investissements de capitaux, le manque d'accès aux marchés étrangers, la limitation des infrastructures, l'insuffisance du transfert technologique et les hauts niveaux permanents de la dette extérieure malgré les programmes de remise de dette de ces dernières années.

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES: UNE QUESTION D'ÉQUITÉ

L'Afrique produit les émissions de CO₂ les plus faibles du monde (figure 3). Il est désormais reconnu que les changements climatiques sont une question d'équité car les populations les plus pauvres du globe, celles qui contribuent le moins à l'accumulation des gaz à effet de serre, sont les moins préparées à lutter contre les impacts négatifs des changements climatiques. Les nations plus riches, qui ont de tout temps contribué le plus au réchauffement du

globe, sont bien plus capables de s'adapter à ces impacts. Il est impératif, pour atténuer efficacement les changements climatiques mondiaux et s'y adapter, d'éliminer les disparités entre les pays développés et les pays en développement.

Le développement durable en Afrique ne peut pas se réaliser efficacement sans tenir compte des impacts des changements climatiques sur l'agriculture, les conflits et les schémas de maladies, qui se répercutent tous en particulier sur les pauvres. Le développement durable et l'adaptation se renforcent mutuellement; selon une importante conclusion du GIEC, les mesures d'adaptation prises dans le cadre du développement durable peuvent atténuer les impacts préjudiciables des changements climatiques à venir.

DÉFIS CLÉS POUR L'AFRIQUE

Pour surmonter les défis des changements climatiques, les pays d'Afrique devront réaliser les objectifs prioritaires suivants:

- obtenir pour l'Afrique une reconnaissance politique élevée sur la plateforme des négociations internationales;
- allouer les ressources de façon appropriée;
- assurer la sécurité alimentaire et énergétique;
- gérer les risques climatiques à long terme et s'y adapter.



FAO/CIH000140R.FAIDUTTI

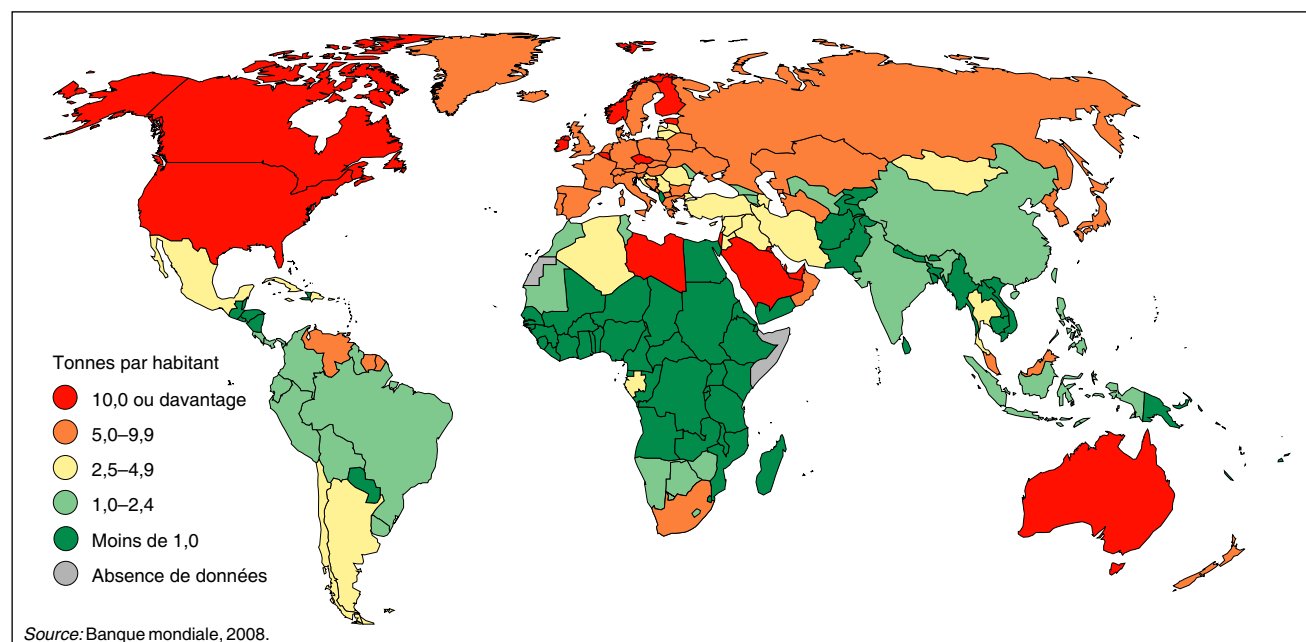
L'Afrique subsaharienne souffrira sans doute le plus des changements climatiques aux plans de la réduction de sa productivité agricole et de l'augmentation de son insécurité hydrique



Bibliographie

- Banque mondiale.** 2008. *Data and statistics*. Document Internet. Disponible sur: go.worldbank.org/WVEGH5U9W0
- CMED (Commission mondiale de l'environnement et du développement).** 1987. *Notre avenir à tous*. Oxford, Royaume-Uni, Oxford University Press.

3 Émissions d'anhydride carbonique par habitant, 2000



- FAO.** 2007. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2007*. Rome.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).** 2007a. *Climate change 2007: the physical science basis*. Contribution du Groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.
- GIEC.** 2007b. *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution du Groupe de travail II au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.
- GIEC.** 2007c. *Changements climatiques 2007: rapport de synthèse*. Quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Genève, Suisse.
- ONU (Organisation des Nations Unies).** 2007. *Objectifs du Millénaire pour le développement: Rapport 2007*. New York, États-Unis.
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement).** 2006. *Au-delà de la pénurie: pouvoir, pauvreté et crise mondiale de l'eau. Rapport mondial sur le développement humain 2006*. New York, États-Unis.
- PNUD.** 2007. *La lutte contre le changement climatique: un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé. Rapport mondial sur le développement humain 2007/2008*. New York, États-Unis.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement).** 2008. *Atlas of our changing environment*. Nairobi, Kenya. Disponible sur Internet: na.unep.net/atlas ♦

Apprendre à s'adapter aux changements climatiques et aux perturbations forestières catastrophiques

D. Konkin et K. Hopkins

Une infestation dévastatrice de dendroctones du pin dans la province de la Colombie-Britannique (Canada) présente des défis – mais offre aussi des opportunités – aux décideurs, à l'industrie forestière et à la société.

Doug Konkin est Ministre adjoint, Forêts et parcs, province de la Colombie-Britannique, Victoria (Canada).

Kathy Hopkins est conseillère technique – Changements climatiques, Service des forêts de la Colombie-Britannique, Victoria (Canada).

Le dendroctone du pin (*Dendroctonus ponderosae*) est un scolyte originaire des forêts de pins tordus du Canada occidental, dont la prolifération périodique déclenche des infestations. Cependant, depuis la fin des années 1990, ses populations se sont développées à une échelle sans précédent et attaquent maintenant plus de 13 millions d'hectares de forêts dans la province de la Colombie-Britannique – une superficie à peu près égale à celle de l'Angleterre. L'épidémie est attribuable à de multiples causes, y compris les changements climatiques et d'autres facteurs comme les interventions de gestion forestière. On prévoit que d'ici à 2015 l'épidémie aura tué plus des trois quarts du volume de pins en Colombie-Britannique, soit plus de 900 millions de mètres cubes de bois, qui auraient dû

contribuer à la richesse économique des communautés de la province. Dans ces communautés, les changements climatiques ne sont plus une question théorique; les impacts sont désormais réels.

Cette épidémie pose des défis à maints égards, mais elle a aussi offert de nouveaux avantages économiques à la Colombie-Britannique. En outre, elle a joué un rôle catalyseur en renforçant la collaboration entre les communautés rurales, les industries de transformation des ressources naturelles et les organismes gouvernementaux, et a promu de nouvelles approches de la gestion des forêts dans le cadre des changements climatiques et des objectifs sociaux.

Un radeau de billes remorqué jusqu'à la scierie montre l'importance de la foresterie pour l'économie de la province canadienne de la Colombie-Britannique



PAOFO-68731 BAILL



Des dendroctones du pin échoués sur la rive du lac donnent une idée de la gravité de l'infestation

UNE PROVINCE FORESTIÈRE

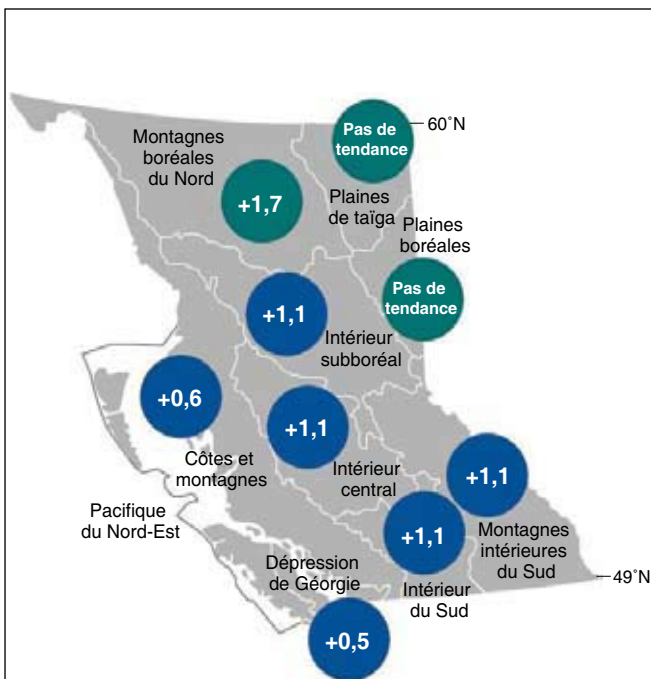
La Colombie-Britannique, la province la plus occidentale du Canada, couvre une superficie d'environ 95 millions d'hectares sur la côte accidentée du Pacifique. Les deux tiers de ses terres émergées sont boisés, soit une superficie dépassant celle de la France. Quatre-vingt-quinze pour cent des forêts de la province sont domaniales et gérées par le Ministère des forêts de la Colombie-Britannique.

Les produits forestiers ont représenté environ 40 pour cent de la valeur totale de toutes les exportations de la province entre 1996 et 2004 (15 milliards de dollars canadiens [12 milliards de dollars EU] par an). Le secteur forestier est le principal employeur dans de nombreuses communautés rurales. En 2007 lui étaient imputables 84 000 emplois et 6,8 pour cent du produit intérieur brut total de la province. Outre la valeur du bois, les forêts de la Colombie-Britannique emmagasinent du carbone et fournissent de l'eau pour les usages domestiques, industriels et autres. Elles renferment d'importantes valeurs culturelles, des moyens de subsistance pour les collectivités des Premières Nations et un cadre pour le tourisme et la récréation.

UN PARADIS POUR LES DENDROCTONES

En Colombie-Britannique, le pin tordu (*Pinus contorta*) est l'essence la plus prolifique, représentant 23 pour cent du matériel sur pied provincial. Il se rencontre dans la majeure partie de l'intérieur de la province, à des altitudes moyennes à subalpines. C'est un hôte de choix pour le dendroctone du pin. Aux niveaux endémiques, ce scolyte se reproduit dans les arbres de grand diamètre affaiblis. Aux niveaux épidémiques, il attaque et tue des arbres sains sur de grandes étendues.

Au cours du siècle écoulé, l'élimination réussie des incendies et les réticences sociales à l'égard de l'exploitation forestière ont permis la croissance de vastes peuplements de pins contigus, qui ont récemment atteint leur maturité, fournissant au dendroctone un habitat idéal. La facilité avec laquelle l'épidémie s'est propagée à travers ces peuplements a montré à quel point il était valable de gérer les répartitions par classe d'âge et d'augmenter la diversité spécifique au niveau du paysage. En effet, une panoplie plus diversifiée d'espèces et de répartitions par classe d'âge à travers le



Note: «Pas de tendance» indique que les données météorologiques sont trop succinctes pour permettre l'analyse.

Source: Ministère de l'environnement de la Colombie-Britannique, 2002.

1
Changements de la température moyenne en Colombie-Britannique pendant le XX^e siècle



*Élimination du dendroctone
du pin par le feu*

paysage aurait limité l'exposition des forêts intérieures de la province à un seul insecte ou agent pathogène.

EFFETS DU CLIMAT SUR LA RÉPARTITION DU DENDROCTONE DU PIN

Au cours de la décennie écoulée, la Colombie-Britannique n'a pas connu les températures hivernales extrêmement froides qui avaient mis fin aux infestations précédentes. Le réchauffement dans la province au cours du XX^e siècle (jusqu'en 1995) était à peu près égal à la moyenne mondiale de 0,6 °C sur la côte (Ministère de l'environnement de la Colombie-Britannique, 2002; GIEC, 2001), mais deux ou trois fois supérieur à l'intérieur (figure 1).

Les températures hivernales plus élevées ont prolongé la survie en hiver du dendroctone du pin, qui a proliféré, provoquant l'épidémie la plus grave de l'histoire documentée de la province. En 2008, il avait infesté environ un demi-milliard de mètres cubes.

IMPACTS DU DENDROCTONE DU PIN

L'infestation du dendroctone du pin a exercé (ou exercera) de nombreux impacts environnementaux et socioéconomiques défavorables. Les impacts sur l'environnement ne se limitent pas à la perte d'un couvert forestier mûr. La nappe phréatique locale et les cycles hydrologiques, par exemple, se sont modifiés. Les forêts de l'intérieur sont devenues une source de carbone au lieu d'un puits, et il est prévu qu'il en sera ainsi jusqu'en 2020. Les habitats des plantes et des animaux ont été touchés.

Les impacts économiques défavorables se feront sentir à long terme, mais à court terme quelques avantages sont observables. Ainsi, jusqu'au fléchissement récent du marché immobilier des États-Unis, qui a freiné la demande de bois, l'activité économique dans les zones infestées a augmenté, le secteur forestier s'efforçant de récupérer autant de bois commercialisable que possible des arbres tués par le dendroctone avant leur dégradation.

Une variabilité considérable caractérise le temps pendant lequel un pin mort peut être débité à dimensions spécifiées, mais les essais ont montré que, dans certains endroits, le bois endommagé par le dendroctone peut être utilisé jusqu'à 15 ans après l'attaque, et même plus tard pour la fabrication de panneaux de particules orientées, de copeaux de bois et d'autres produits (FPInnovations – Forintek, 2008; J.S. Thrower and Associates, 2007a, 2007b; Timberline Natural Resource Group, 2008). En moyenne, la durée de conservation estimée de pins individuels va de 5 à 10 ans, et celle de peuplements de pins de 8 à 12 ans. Cependant, la qualité du bois sec se dégrade à cause des dommages provoqués par le climat, se fend facilement et a un taux de récupération réduit, si bien que les fabricants de bois ont dû concevoir de nouvelles technologies pour résoudre ce problème.

La Colombie-Britannique finira, un jour, par épuiser les avantages économiques des grandes quantités de bois mort disponibles. Dans certains endroits, l'approvisionnement à moyen terme en bois n'atteindra que la moitié des niveaux d'exploitation antérieurs à l'infestation.

LES MESURES PRISES

Limiter l'infestation – un espoir vain

Face à l'infestation massive et en expansion de l'insecte, la Colombie-Britannique a, en premier lieu, tenté d'en limiter la propagation. Il devint très vite clair que l'épidémie avait pris des proportions telles qu'il était impossible de l'enrayer, et des fonds considérables ont été consacrés au ralentissement de sa propagation à la périphérie de l'épidémie pour l'empêcher de traverser les montagnes Rocheuses et d'atteindre la forêt boréale. Malheureusement, l'espoir que des températures hivernales extrêmement froides tuent le couvain a été déçu, et en 2007 le dendroctone porté par le vent s'était étendu sur les montagnes Rocheuses.

Récupérer la valeur

Dans la zone centrale de l'infestation, les opérateurs se sont rapidement employés à récupérer, dans toute la mesure possible, la valeur économique du bois mort avant sa détérioration. Dans les unités de gestion les plus touchées, la récolte s'est concentrée sur les peuplements où le pin représentait plus de 70 pour cent du volume de bois disponible. Les niveaux de récolte autorisés ont été temporairement élevés et les politiques modifiées pour faciliter l'exploitation dans ces zones. Les opérateurs ont quitté les zones adjacentes non infestées pour se centrer sur la récolte des arbres atteints par le dendroctone.

Assister les communautés tributaires de la forêt

Bien que la récolte de récupération ait permis récemment de multiplier les opérations



La Colombie-Britannique encourage l'emploi du bois dans la construction – le toit de 2,6 ha de l'Anneau olympique de patinage de vitesse de 2010, bâti près de Vancouver pour les Jeux olympiques d'hiver de 2010, est construit principalement avec le bois d'arbres tués par le dendroctone du pin

de transformation du bois, l'infestation du dendroctone risque à long terme d'exercer de graves impacts économiques, sociaux et culturels sur les communautés dont les moyens d'existence reposent, depuis des décennies, sur l'exploitation forestière et le sciage du bois. La Colombie-Britannique s'est fixé pour objectif d'accroître la résistance des communautés en diversifiant les activités rémunératrices. Ces efforts visent à assurer la stabilité à long terme, tout en reflétant les aspirations des habitants.

Protéger l'approvisionnement à moyen terme en bois

Le secteur forestier s'est également mobilisé pour atténuer les impacts sur l'approvisionnement à moyen terme en bois. Environ 30 pour cent des peuplements de pins morts conservent assez de végétation de sous-bois pour être considérés comme pleinement ou partiellement pourvus. Ces jeunes arbres contribueront à l'approvisionnement à moyen terme en bois dans de nombreux endroits. L'identification et la protection des arbres du sous-bois pendant les opérations d'exploitation revêtent désormais une grande importance.

La province a affecté de nouveaux crédits au reboisement des zones de pins ravagées par le dendroctone, qui ne feront pas l'objet d'une récolte de récupération. En 2005, le gouvernement de la Colombie-Britannique

a lancé un programme de reboisement, afin que les zones déboisées par les incendies et les infestations du dendroctone du pin donnent lieu à des forêts saines et productives. Le soutien au programme s'est accru pour atteindre plus de 50 millions de dollars canadiens (40 millions de dollars EU) par an. Ce programme améliorera l'approvisionnement futur en bois et tentera d'éliminer les dangers qui menacent d'autres valeurs forestières, en rétablissant de jeunes forêts sur des terres qui, autrement, resteraient improductives. Dans le cadre du programme de reboisement, 8 millions de plantules sont mises en terre chaque année, chiffre qui devrait atteindre 18 millions d'ici à 2010. Grâce à ce programme, 75 millions de plantules seront établies au cours des cinq prochaines années.

Fabrication et produits

Des partenaires appartenant au gouvernement, aux universités et à l'industrie mènent à l'heure actuelle des recherches portant sur les nouvelles techniques de fabrication, l'amélioration de la capacité de sciage et l'identification de produits de substitution tirés du bois attaqué par le dendroctone. Jusqu'à présent, 5,9 millions de dollars canadiens (4,7 millions de dollars EU) ont été affectés à la recherche et à la création de nouveaux produits, ainsi qu'à l'amélioration des processus de fabrication.

Le bois l'emportant sur le béton et l'acier, tant en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre que la consommation d'énergie, la Colombie-Britannique encourage son utilisation prioritaire pour la construction. L'Anneau olympique de

patinage de vitesse de 2010, construit près de Vancouver pour les Jeux olympiques d'hiver de 2010, en est un exemple. Un million de pieds-planches de sciages (2 360 m³ [sciés pleine mesure]), tirés principalement d'arbres tués par le dendroctone, ont été utilisés pour le toit de 2,6 hectares.

Avec ses abondantes réserves d'énergie hydroélectrique et sa dépendance limitée vis-à-vis des combustibles fossiles par rapport à d'autres juridictions, la Colombie-Britannique vient à peine de se tourner vers d'autres sources d'énergie. Cependant, son industrie de copeaux de bois se développe rapidement; elle a produit près de 1 million de tonnes de copeaux en 2008, employant directement et indirectement environ 300 personnes et réalisant un revenu de plus de 170 millions de dollars canadiens (136 millions de dollars EU), provenant en premier lieu des exportations vers l'Europe. L'abondance de bois à bon marché obtenu grâce à l'infestation du dendroctone a également stimulé l'intérêt pour la production de bioénergie à base de cellulose. Comme d'autres juridictions, la Colombie-Britannique s'oriente vers les produits à valeur ajoutée, notamment ceux tirés de la gazéification et d'autres produits énergétiques, tous lourdement tributaires de la demande des marchés.

Valeurs sociales

La majorité de la population de la Colombie-Britannique vit dans des villes éloignées des forêts de l'intérieur, mais les changements visuels du paysage, dus à l'infestation et aux récents incendies, ont été suffisamment prononcés pour sensibiliser le grand public aux valeurs d'agrément de la forêt et aux changements climatiques. Parmi les grands

thèmes à l'horizon figurent la manière dont les changements climatiques et la santé des forêts influenceront les modes traditionnels d'envisager l'utilisation des terres, et comment incorporer les valeurs sociales dans les décisions stratégiques.

PERSPECTIVES D'AVENIR

Projections climatiques

La hausse moyenne de la température mondiale au cours du XXI^e siècle devrait s'établir entre 1 et 6 °C (GIEC, 2007). La trajectoire effective dépendra de la vitesse à laquelle le monde réduit les émissions, mais l'augmentation pourrait facilement dépasser celle des 100 dernières années. À cause de sa position septentrionale, la Colombie-Britannique se prépare à des hausses ultérieures de ces températures. De tels changements auront probablement des effets considérables sur les espèces et les écosystèmes.

Comprendre les réactions des écosystèmes

Les changements climatiques sont l'un des principaux moteurs du programme de recherche mis en œuvre par le Service des forêts de la Colombie-Britannique. L'initiative future pour l'écosystème forestier (voir www.for.gov.bc.ca/hts/Future_Forests) a été lancée en 2006, en vue d'adapter les politiques et pratiques de gestion forestière de la province pour renforcer la résistance des écosystèmes forestiers et de parcours. La résistance se rapporte à la capacité d'absorption, de

reprise et d'adaptation face aux stress des changements climatiques.

Les scientifiques du gouvernement ont collaboré avec l'université de la Colombie-Britannique et d'autres partenaires pour élaborer des scénarios montrant comment les changements climatiques pourraient influencer les écosystèmes forestiers à l'avenir (figure 2). Ces modèles laissent entendre que de nombreux écosystèmes de la province feront bientôt face à des conditions climatiques plus adaptées à un assemblage d'espèces autre que l'assemblage actuel. Toutefois, il est possible que la composition des espèces ne puisse pas évoluer naturellement aussi vite que le climat, de sorte que des espèces mal adaptées à certains sites souffriront d'un surcroît de stress. C'est pourquoi les scientifiques s'emploient à trouver les moyens de favoriser la migration des espèces arborescentes et des provenances vers des zones où le climat pourrait leur convenir à l'avenir.

Réévaluation des politiques et pratiques forestières

L'épidémie du dendroctone du pin a démontré les impacts complexes et parfois inattendus résultant d'une perturbation à grande échelle. Ces impacts peuvent apparaître soudainement et excéder la capacité du gouvernement à répondre aux attentes de la société.

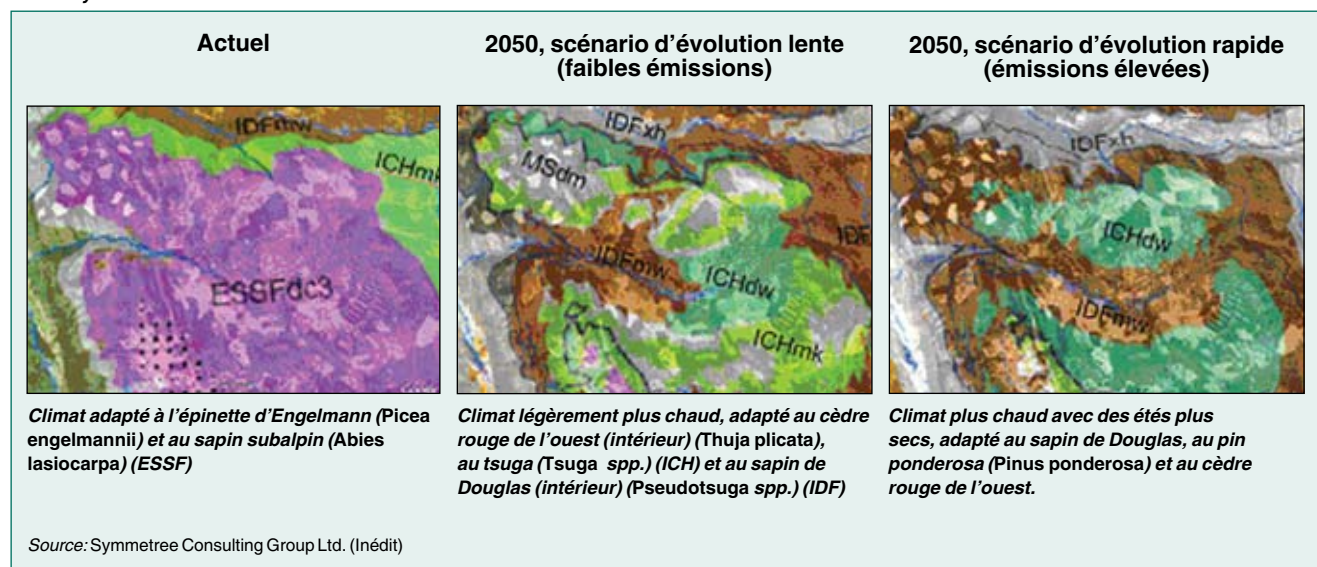
Le Ministère des forêts et des parcs de la Colombie-Britannique a amorcé la révision de toutes ses politiques à la lumière des changements climatiques. Son approche de

l'amélioration des arbres, par exemple, qui portait principalement sur la croissance, s'est élargie pour comprendre aussi bien la croissance que la résistance.

Même si, grâce aux changements climatiques, les forêts de la province pourront jouir de quelques avantages, les coûts déterminés par des agents tels que le feu, les ravageurs et l'eau pourraient les neutraliser. La possibilité d'ajuster les pratiques de gestion forestière est limitée par l'exiguïté de la superficie forestière exploitée chaque année dans la province (0,3 pour cent environ). C'est pourquoi l'adaptation est nécessaire pour rendre plus résistantes tant les communautés que les économies.

L'ajustement des systèmes naturels et humains en vue d'atténuer les dommages dus aux changements climatiques ne suffit pas à résoudre tous les problèmes. Une politique vigoureuse d'atténuation des changements climatiques est indispensable pour améliorer l'adaptation. Pour participer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre qui contribuent à l'altération du climat, le gouvernement de la Colombie-Britannique a introduit une taxe sur le carbone sans incidence sur les recettes, qui frappe les émissions de gaz à effet de serre produites par le brûlage des combustibles fossiles. La taxe établit un prix pour chaque tonne de gaz émise, créant une «désincitation» financière à leur production dans l'ensemble de l'économie. Les industries et les particuliers de la province peuvent abaisser le montant

2
Scénarios climatiques pour
la Cahilty Creek



de leurs impôts en réduisant leur consommation de combustibles, en utilisant des combustibles plus propres et à plus haut rendement énergétique, ou en adoptant une nouvelle technologie énergétique. Ils pourraient même compenser entièrement leurs émissions en tirant parti des marchés du carbone naissants. En vertu de la loi, le gouvernement de la Colombie-Britannique doit démontrer comment la totalité du revenu dégagé de la taxe sur le carbone retourne aux particuliers et aux industries sous forme d'abattements fiscaux.

La Colombie-Britannique participe aussi, avec sept États des États-Unis et quatre provinces canadiennes, à l'Initiative occidentale sur le climat, qui prévoit l'élaboration d'un système de plafonnement et d'échange visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre issues d'usines émettant 100 000 tonnes ou davantage d'équivalents anhydride carbonique par an. Bien que la déforestation y soit modeste, la province élabore aussi des dispositions visant à la réduire ou à l'abolir entièrement.

Aspects sociaux

La Colombie-Britannique se tourne actuellement vers la planification basée sur le scénario et cherche à identifier les moyens de renforcer la capacité adaptative dans l'ensemble du système de gestion des forêts. Toutes les questions en jeu concernent ses habitants, et c'est d'eux que relève la solution des problèmes environnementaux. La science joue un rôle vital dans l'atténuation des changements climatiques, mais elle ne suffit pas à elle seule.

À l'heure actuelle, le grand public se mobilise pour réclamer la conservation des vieux arbres et la réduction ou l'abolition des incendies en faveur d'une meilleure qualité de l'air ou pour d'autres raisons. Cependant, les vieux arbres sont les victimes des agents de perturbation comme le dendroctone du pin et, à mesure que le climat évolue, les protestations du public contre le brûlage pourraient compromettre les efforts accomplis pour maintenir des peuplements sains.

Le gouvernement de la Colombie-Britannique s'attache à renforcer la prise de conscience des changements climatiques et à promouvoir les capacités d'innovation individuelles ou des organisations, afin de résoudre les problèmes connexes. Pour lutter efficacement contre les impacts de l'altération du climat, il faut que les

comportements changent, mais la plupart des gens hésitent à le faire sur la base de simples données ou informations. Il importe de reconnaître que les impacts de l'évolution du climat sont le produit de modèles de fond du comportement humain. Pour changer ces modèles et ces comportements, il est impératif non seulement d'apporter des modifications stratégiques aux systèmes commerciaux et aux incitations, mais aussi de raconter une histoire convaincante et de faire appel aux émotions humaines autant qu'à la raison.

EN BREF

L'épidémie du dendroctone du pin a modifié la façon de penser et l'approche des gestionnaires forestiers de la Colombie-Britannique. Elle a souligné les conséquences involontaires possibles de l'intervention humaine dans les systèmes naturels et mis en évidence l'importance de renforcer la résistance des écosystèmes, des populations et des communautés.

Pour relever les défis systémiques que lancent les changements climatiques, le gouvernement provincial met au point de vigoureux systèmes d'apprentissage organisationnel soutenus par un environnement propice; il promeut la prise progressive d'initiatives et établit des liens actifs entre la science et les politiques. Il a énormément bénéficié des travaux entrepris dans divers domaines, comme la santé des forêts, l'analyse de l'offre de bois et la planification communautaire, pour s'attaquer aux changements climatiques d'une manière globale.

Les problèmes et les solutions font partie d'un système complexe soumis à des influences mondiales. Par exemple, la croissance économique de la Chine a une incidence sur le prix du pétrole dans le monde entier. Les subventions octroyées par les États-Unis aux producteurs de maïs exercent un impact sur la totalité des terres affectées à la production de fibres et d'aliments. Les tarifs douaniers russes font monter les prix du bois dans le commerce international. Une infestation du dendroctone du pin en Colombie-Britannique exerce un impact sur les prix du bois aux États-Unis. Tous ces facteurs influencent la capacité de la Colombie-Britannique à assurer un approvisionnement régulier en bois pour aider les communautés tributaires de la forêt.

Les questions sont plus nombreuses que

les réponses. L'approche adoptée par la Colombie-Britannique consiste à préparer et à tester une série de scénarios futurs, non seulement pour le climat mais aussi pour les systèmes écologiques et humains. Cela signifie changer la manière dont différents niveaux du gouvernement et d'organismes publics interagissent, entre eux, avec l'industrie et avec les communautés. Des innovations apparaissent dans des domaines où les intérêts se chevauchent; par exemple, les entreprises productrices d'énergie s'associent aux entreprises forestières, promouvant la conception de nouvelles technologies et de nouveaux produits.

Aucune communauté ou organisation ne peut, à elle seule, être préparée aux changements qui surviendront à l'avenir. Les décideurs doivent encourager la diversité, éviter d'établir des hiérarchies institutionnelles rigides qui découragent l'innovation, et être inclusifs, ouverts et prêts à poser des questions. ♦

«10 milliards de dendroctones ne peuvent se tromper – achetez le pin de la Colombie-Britannique»



Bibliographie

- FPInnovations – Forintek.** 2008. *Predicting yields from post MPB attacked sawlogs*. Rapport interne du Service canadien des forêts pour le projet 5754.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).** 2001. Résumé à l'intention des décideurs. Dans *Bilan 2001 des changements climatiques: les éléments scientifiques*. Contribution du Groupe de travail I au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis, Cambridge University Press.
- GIEC.** 2007. *Changements climatiques 2007: les éléments scientifiques*. Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis, Cambridge University Press.
- J.S. Thrower and Associates.** 2007a. *Shelf life study on log quality and volumes in mountain*

pine beetle-killed lodgepole pine in the B.C. central interior. Rapport interne du Ministère des forêts et des parcs de la Colombie-Britannique pour les projets MFZ-010 et MFF-006.

J.S. Thrower and Associates. 2007b. *Field sampling for attributes related to the shelf-life of mountain pine beetle-killed lodgepole pine*

in the sub-boreal spruce (SBS) biogeoclimatic zone. Rapport interne du Service canadien des forêts pour le projet 8.38.

Ministère de l'environnement de la Colombie-Britannique. 2002. *Indicators of climate change for British Columbia 2002.* Victoria, Colombie-Britannique, Canada. Disponible sur Internet: www.env.gov.bc.ca/air/climate/indicat

Timberline Natural Resource Group. 2008. *Preliminary analysis of mountain pine beetle shelf-life 2007 grey attack.* Rapport interne du Ministère des forêts et des parcs de la Colombie-Britannique pour le projet BC0108551. ♦

Impact des changements climatiques sur la répartition des pins tropicaux en Asie du Sud-Est

M. van Zonneveld, J. Koskela, B. Vinceti et A. Jarvis

*La modélisation de l'enveloppe climatique est utilisée pour prédire les déplacements possibles de l'aire de répartition de *Pinus kesiya* et *P. merkusii*, qui pourraient avoir une incidence sur la conservation et l'utilisation de leurs ressources génétiques.*

Les forêts naturelles de pins d'Asie du Sud-Est renferment deux espèces prédominantes et économiquement importantes, *Pinus kesiya* et *P. merkusii*, et deux espèces endémiques rares, *P. dalatensis* et *P. krempfii*. Au cours des décennies écoulées, la déforestation a amenuisé leur aire (FAO, 2007), malgré plusieurs projets de conservation (Danida Forest Seed Centre, 2000; Razal *et al.*, 2005, par exemple). L'exploitation de résine et la collecte de bois de feu non contrôlées dégradent maints peuplements de pins résiduels. Les changements climatiques risquent de poser de nouvelles menaces à ces forêts de pins et d'en compromettre la régénération, la croissance et la répartition.

La déforestation a érodé les ressources génétiques des espèces de pins. Cependant, les forêts de pins restantes comprennent encore des ressources génétiques qui peuvent servir à la remise en état des forêts de pins naturelles dégradées, à l'amélioration

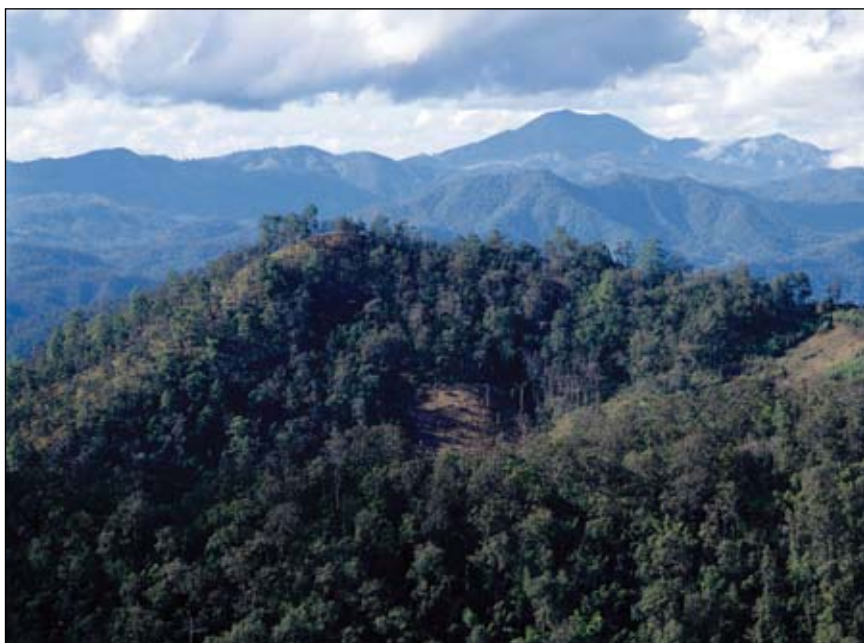
des arbres et à l'établissement de plantations forestières.

Le présent article décrit l'utilisation de la modélisation de l'enveloppe climatique (MEC) pour estimer la présence potentielle de *P. kesiya* et *P. merkusii* en Asie du Sud-Est dans les conditions climatiques actuelles, et analyser comment elle pourrait varier sous l'effet des changements climatiques. Il examine aussi les répercussions des résultats sur la conservation et l'utilisation des ressources génétiques de ces deux espèces de pins en Asie du Sud-Est.

LES PINS EN ASIE DU SUD-EST

Pinus kesiya est une espèce montagnarde qui pousse entre 800 et 1 200 m d'altitude et va des montagnes de l'Assam en Inde, à travers le Myanmar, la Thaïlande, la République démocratique populaire lao, le Viet Nam et le Cambodge, jusqu'au sud de la Chine et aux Philippines (Turnbull, Armitage et Burley, 1980). *P. merkusii* se rencontre à des altitudes inférieures

Pinus kesiya pousse dans les montagnes d'Asie du Sud-Est: un peuplement naturel sur une crête (pente de gauche) à 1 200-1 300 m d'altitude, Province de Chiang Mai, nord de la Thaïlande



Maarten van Zonneveld est expert associé auprès du Bureau des Amériques de Bioversity International à Cali (Colombie).

Jarkko Koskela et Barbara Vinceti travaillent au Bureau européen de Bioversity International à Maccarese, près de Rome (Italie).

Andy Jarvis travaille avec Bioversity International et le Centre international d'agriculture tropicale (CIAT) à Cali (Colombie).

FROM KASHIO



Pinus merkusii se rencontre à des altitudes inférieures: un peuplement naturel à 600 m d'altitude, Province de Chiang Mai, nord de la Thaïlande

dans ces mêmes pays, à l'exclusion de la Chine et de l'Inde (Cooling, 1968), ainsi qu'en Indonésie (Sumatra), confirmant ainsi sa présence comme seule espèce de pin poussant de façon naturelle dans l'hémisphère Sud. *P. dalatensis* et *P. krempfii* ne s'étendent pas au-delà des montagnes du sud du Viet Nam (Richardson et Rundel, 1998).

P. kesiya, plantée à l'intérieur et hors de son aire naturelle, est désormais une essence importante pour les plantations forestières, notamment dans plusieurs pays d'Afrique. *P. merkusii* est moins intéressante pour les plantations forestières car, en Asie du Sud-Est continentale, la croissance en hauteur initiale des plantules est retardée de plusieurs années. En effet, l'espèce passe par un «stade herbacé» où les aiguilles revêtent la forme de touffes d'herbe, pendant que se développe une robuste racine pivotante – attribut considéré comme un avantage sélectif pour la régénération naturelle dans les zones particulièrement touchées par les incendies. *P. merkusii* n'a été utilisée dans les plantations qu'en Indonésie car ses populations insulaires ne comprennent pas ce stade herbacé.

P. kesiya et *P. merkusii* se développent dans des terrains pauvres et bien drainés, formant souvent des peuplements mixtes

avec des essences décidues (*Dipterocarpus*, *Quercus* et *Shorea*, par exemple). Les deux espèces de pins supportent assez bien les incendies de forêt, mais des feux fréquents allumés par l'homme inhibent leur régénération, ce qui donne lieu à la formation de peuplements de pins ouverts du type savane. Cependant, le feu peut aussi aider les pins à occuper des emplacements d'où la concurrence d'espèces décidues les aurait évincés (Turakka, Luukkanen et Bhumibhamon, 1982).

PRÉDIRE LES AIRES DE RÉPARTITION ACTUELLES ET FUTURES

La modélisation de l'enveloppe climatique est un outil qui sert à évaluer rapidement l'impact potentiel des changements climatiques sur la répartition des espèces et des écosystèmes. Ce type de modélisation utilise la répartition géographique documentée d'une espèce pour prédire l'emplacement de sa niche climatique, c'est-à-dire la présence possible de l'espèce. Des déplacements futurs de la niche climatique sont ensuite estimés en fonction des projections climatiques des modèles de circulation globale.

L'analyse relative aux espèces de pins en Asie du Sud-Est a utilisé des données sur l'emplacement pour les populations

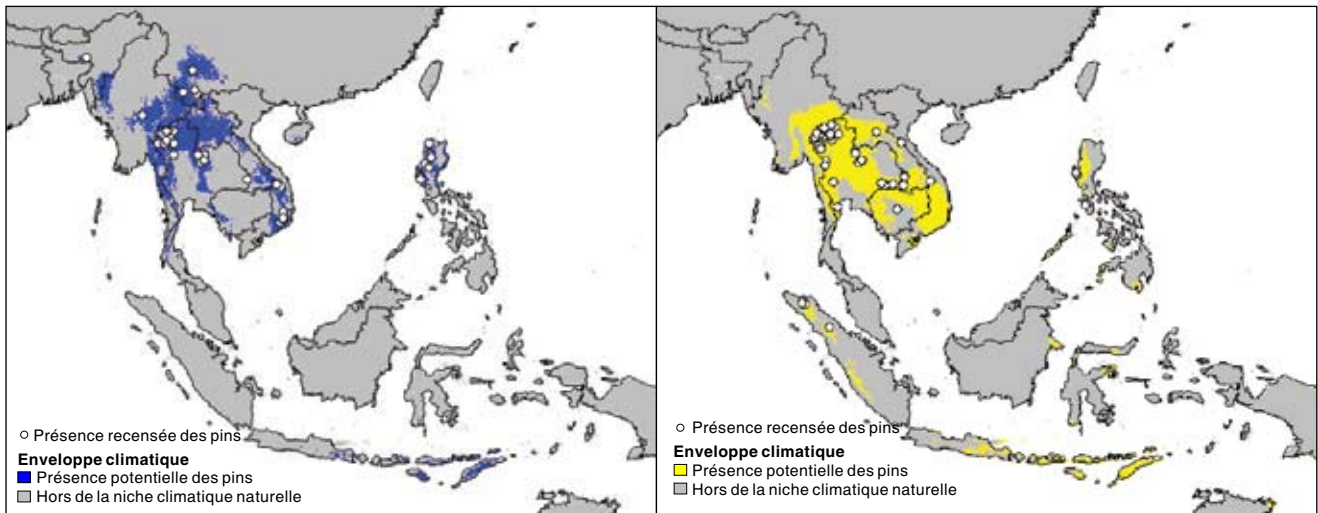
naturelles de pins identifiées comme provenances pour les programmes de récolte de semences (FAO, 1970; Centre de graines forestières Danemark/FAO, 1973; Barnes et Keiding, 1989) et les peuplements choisis pour les programmes de conservation *in situ* (Danida Forest Seed Centre, 2000; Razal *et al.*, 2005), ainsi que des données d'herbier accessibles gratuitement par le biais du Système mondial d'information sur la biodiversité (voir www.gbif.org). Les données comprenaient les sites de 46 populations naturelles de *P. kesiya* et 50 populations naturelles de *P. merkusii*.

Le climat actuel des populations naturelles de pins a été décrit en utilisant les 19 variables climatiques de Bioclim (Busby, 1991), tirées des strates du climat mondial de la base de données WORLDCLIM (Hijmans *et al.*, 2005a). Cette base de données a également fourni des informations sur l'aire altitudinale actuelle des espèces. Des projections climatiques ont été réalisées pour l'année 2050 à l'aide de la moyenne des prédictions relatives à deux modèles de circulation globale largement utilisés (HADCM3 et CCCMA), dans le cadre d'un scénario normal d'émissions de CO₂.

Le programme de modélisation Maxent de la MEC (Phillips, Anderson et Schapire, 2006) a été utilisé pour élaborer l'enveloppe climatique actuelle et future relative à la présence naturelle des deux espèces de pins. Les enveloppes climatiques ont été ensuite cartographiées et les changements ou déplacements des aires de répartition observés.

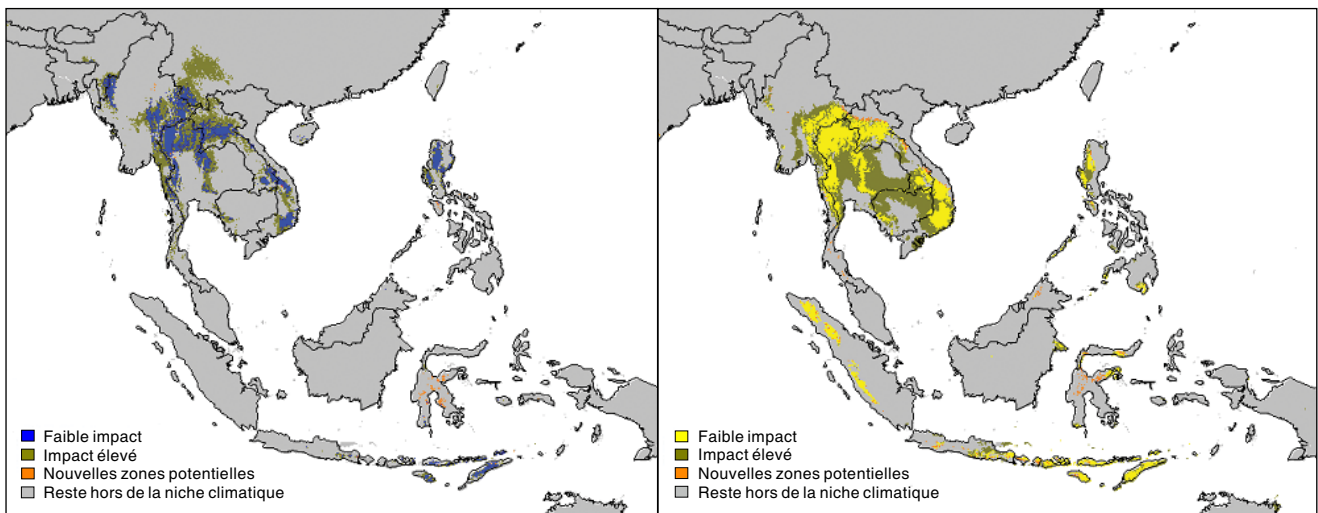
RÉPARTITION ACTUELLE ET POTENTIELLE DES PINS DANS LES CONDITIONS CLIMATIQUES PRÉSENTES

L'enveloppe climatique mise au point pour *P. kesiya* (figure 1) montre que, outre les aires où les populations naturelles ont été recensées, les espèces pourraient occuper plusieurs autres endroits au Myanmar, dans le nord-est et le sud de la Thaïlande, en République démocratique populaire lao et dans le sud-ouest du Cambodge. Bien qu'une seule population ait été recensée au Myanmar, on estime que *P. kesiya* serait beaucoup plus répandue dans ce pays que ne l'atteste l'information. Les provinces indonésiennes de Java et Nusa Tenggara se situent hors de son aire de répartition naturelle recensée, mais auraient un climat qui lui est favorable.



1
Présence recensée
et potentielle de
Pinus kesiya

2
Présence recensée
et potentielle de
Pinus merkusii



3
Prédiction de l'impact des
changements climatiques
sur la présence naturelle
de *Pinus kesiya*

4
Prédiction de l'impact des
changements climatiques
sur la présence naturelle
de *Pinus merkusii*

L'enveloppe climatique élaborée pour *P. merkusii* (figure 2) coïncide avec la répartition observée de l'espèce en Asie du Sud-Est continentale et à Sumatra. Les résultats de la MEC laissent entendre que le climat convient à *P. merkusii* hors de son aire géographique naturelle dans plusieurs parties de l'archipel malais et dans le nord de l'Australie.

IMPACTS POTENTIELS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA RÉPARTITION DU PIN

D'une manière générale, rares sont les nouvelles zones d'Asie du Sud-Est continentale que les changements climatiques rendraient adaptées à ces deux espèces

de pins (figures 3 et 4). Les peuplements de plaine de *P. merkusii* au Cambodge et en Thaïlande devraient, d'après les prévisions, être les plus menacés par les altérations climatiques (figure 4). Par ailleurs, on prévoit que le climat conviendra davantage aux plantations de *P. merkusii* que de *P. kesiya* dans plusieurs parties de l'archipel malais.

La plupart des populations de *P. kesiya* recensées se rencontrent à des altitudes majeures, à environ 1 022 m au-dessus du niveau de la mer. Les changements climatiques ne devraient pas influencer sensiblement ces populations. Celles de *P. kesiya* présentes dans des zones caractérisées par une saisonnalité à température

élevée pourraient être le plus sérieusement menacées (tableau 1), notamment les populations situées dans le sud de la Chine (figure 3). Toutefois, l'impact de l'évolution du climat sur ces populations pourrait s'avérer moins dramatique que ne le prédit la MEC. Les provenances de *P. kesiya* de Chine établies en essais hors de l'aire de répartition climatique naturelle de l'espèce, dans le sud-est de l'Afrique et au Viet Nam, ont donné des résultats modérément satisfaisants (Costa e Silva, 2007), ce qui donne à penser qu'elles sont à même de s'adapter aux nouvelles conditions climatiques.

Il est prévu que les forêts de *P. merkusii* qui apparaissent déjà à des températures

élevées seront les plus vulnérables aux changements climatiques (tableau 2). Les provenances de plaine dans l'est de la Thaïlande et le nord du Cambodge notamment devraient, selon les prédictions, souffrir d'une hausse ultérieure de la température (figure 4). On peut s'attendre à ce que, dans plusieurs de ces peuplements forestiers, les températures dépassent le seuil de tolérance de l'espèce, avec des températures de pointe de plus de 36 °C au cours du mois le plus chaud de 2050 (tableau 2), température maximale qui, d'après la base de données Ecocrop de la FAO, provoquera la mort des arbres adultes de cette espèce (voir Hijmans *et al.*, 2005b). Dans ces lieux, les provenances locales de *P. merkusii* se dégraderont sans doute et finiront par disparaître.

RÉPERCUSSIONS

Les vastes aires potentielles de répartition de ces deux espèces de pins ne signifient pas nécessairement que les forêts de pins peuvent survivre facilement. En fait, la répartition actuelle consiste en un petit nombre de forêts résiduelles dont l'exiguïté est due à l'abattage et à l'exploitation pour le bois de feu. Il en résulte, d'après les critères de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN, 2008), que *P. merkusii* se caractérise déjà par un état de conservation vulnérable. L'évolution du climat est une menace ultérieure qui rend les populations naturelles de cette espèce encore plus sensibles à la dégradation et à l'extinction.

Comme mentionné plus haut, il est prédit que les provenances de plaine de *P. merkusii* seront les plus touchées par les changements climatiques. La dégradation et l'extinction de ces provenances pourraient entraîner la perte d'importantes ressources génétiques qui servent à l'établissement de plantations forestières et aux activités de reboisement utilisant cette espèce. De nombreux peuplements forestiers de plaine de *P. merkusii* sont isolés, ce qui risque de restreindre la migration des provenances de plaine vers des altitudes supérieures, où elles occuperaient des zones climatiquement plus adaptées. C'est pourquoi la transplantation des provenances de plaine de cette espèce dans des zones plus favorables sur le plan climatique pourrait s'avérer la seule solution de substitution pour conserver leurs ressources génétiques *in situ*. Des mesures similaires ont été recommandées

pour conserver les provenances de plaine de *P. oocarpa* dans l'État du Michoacán, au Mexique (Sáenz-Romero, Guzmán-Reyna et Rehfeldt, 2006).

Les prédictions de la MEC sur l'impact de l'évolution du climat tiennent compte de l'aire de répartition climatique où une espèce est actuellement présente de façon naturelle. Mais comme l'espèce peut s'adapter à une aire plus étendue, il est possible que ces modèles surestiment les impacts des changements climatiques. En outre, plusieurs pins subtropicaux et tropicaux, y compris *P. kesiya*, sont dotés d'un niveau élevé de variation génétique et tolèrent une large gamme de climats. Les essais de provenance menés sur de multiples sites montrent qu'ils sont bien adaptés à un grand nombre de climats. Ils pourraient donc supporter aussi de nouvelles conditions climatiques dans leur habitat naturel, même si les études réalisées dans le cadre

de la MEC prédisent que ces conditions sont inadaptées (van Zonneveld *et al.*, 2009).

Outre le climat, les conditions pédologiques, la concurrence des plantes et d'autres facteurs influencent aussi la présence des espèces, et constitueront probablement des obstacles supplémentaires à leur répartition et leurs déplacements futurs. Cependant, étant donné que le climat est considéré comme le principal responsable de changements futurs de répartition, les prédictions de la MEC ont ignoré ces autres facteurs. En outre, les projections des modèles de circulation globale varient considérablement, et de ce fait les prédictions de la MEC contiennent une certaine marge d'incertitude. Néanmoins, malgré ses limitations, la MEC peut être considérée comme un instrument utile pour obtenir une première approximation de l'impact potentiel de l'altération du climat sur la présence des espèces (Pearson et Dawson, 2003).

TABLEAU 1. Moyenne des changements prédits de cinq variables climatiques clés pour les populations de *Pinus kesiya* dans des zones à impact faible ou élevé

Variables climatiques	Populations dans des zones à faible impact			Populations dans des zones à impact élevé		
	Situation actuelle	2050	Changement	Situation actuelle	2050	Changement
Température annuelle moyenne (°C)	21,7	23,3	1,6	22,9	24,3	1,3
Température maximale pendant le mois le plus chaud (°C)	30,4	32,7	2,3	32,0	33,9	1,9
Saisonnalité de la température (écart type de la température annuelle moyenne x 100)	197,0	188,9	-8,1	271,3	259,3	-12,0
Précipitations annuelles (mm)	1754,1	1974,3	220,2	1511,0	1687,7	176,7
Précipitations dans le lieu le plus sec (mm)	53,6	48,3	-5,3	60,4	56,5	-3,9

TABLEAU 2. Moyenne des changements prédits de cinq variables climatiques clés pour les populations de *Pinus merkusii* dans des zones à impact faible ou élevé

Variables climatiques	Populations dans des zones à faible impact			Populations dans des zones à impact élevé		
	Situation actuelle	2050	Changement	Situation actuelle	2050	Changement
Température annuelle moyenne (°C)	22,9	24,3	1,3	26,7	28,4	1,7
Température maximale pendant le mois le plus chaud (°C)	32,0	33,9	1,9	34,3	36,7	2,5
Saisonnalité de la température (écart type de la température annuelle moyenne x 100)	271,3	259,3	-12,0	161,2	170,8	9,6
Précipitations annuelles (mm)	1511,0	1687,7	176,7	1721,7	1862,7	141,0
Précipitations dans le lieu le plus sec (mm)	60,4	56,5	-3,9	35,6	32,1	-3,5

Cette approche peut également s'appliquer à d'autres espèces et d'autres zones. Par exemple, des méthodes similaires ont été utilisées pour prédire l'effet des changements climatiques sur des espèces de pins et de chênes (*Quercus*) au Mexique (Gómez-Mendoza et Arriaga, 2007) et sur de nombreuses espèces forestières aux États-Unis (Iverson *et al.*, 2008).

CONCLUSIONS

La modélisation de l'enveloppe climatique a permis de prédire quelles forêts de pins sont les plus susceptibles d'être touchées par les changements climatiques, ce qui permet aux programmes de gestion et de conservation des forêts non seulement de prévoir les impacts, mais aussi d'identifier les aspects positifs. Les changements climatiques devraient favoriser les plantations forestières de pins dans l'archipel malais, à mesure que de nouvelles zones s'avèrent climatiquement adaptées à l'établissement de *P. merkusii* et, dans une moindre mesure, de *P. kesiya*.

S'il est vrai que ces espèces pourraient s'adapter aux nouvelles conditions climatiques grâce à des stratégies que le modèle ne prévoit pas, la situation paraît critique pour les provenances de plaine de *P. merkusii* en Asie du Sud-Est continentale car, d'après les prévisions, les températures dépasseront le seuil de tolérance de l'espèce. Sans la prise de mesures de conservation correctes, ces provenances risquent de se dégrader dans les décennies à venir pour finalement disparaître des lieux où elles poussent aujourd'hui de façon naturelle. ♦



Bibliographie

- Barnes, R.D. et Keiding, H. 1989. Essais internationaux de provenances de *Pinus kesiya*. *Ressources génétiques forestières*, 17: 26–29. Rome, FAO.
- Bushy, J.R. 1991. BIOCLIM – a bioclimatic analysis and prediction system. In C.R. Margules et M.P. Austin, éd. *Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis*, p. 64–68. Canberra, Australie, Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO).
- Centre de graines forestières Danemark/FAO. 1973. *Pinus merkusii* provenance collections 1972. *Ressources génétiques forestières*, 2: 62–63.
- Cooling, E.N. 1968. *Pinus merkusii*. Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics n° 4. Oxford, Royaume-Uni, Commonwealth Forestry Institute.
- Costa e Silva, J. 2007. *Evaluation of an international series of Pinus kesiya provenance trials for adaptive, growth and wood quality traits*. Forest & Landscape Working Papers n° 22. Copenhagen, Danemark, Forest & Landscape Denmark.
- Danida Forest Seed Centre. 2000. *Conservation of genetic resources of Pinus merkusii in Thailand*. Note technique n° 58. Humlebaek, Danemark.
- FAO. 1970. Note sur les collections de semence de provenance d'arbres forestiers. *Unasylva*, 97/98: 130–132.
- FAO. 2007. *Situation des forêts du monde 2007*. Rome.
- Gómez-Mendoza, L. et Arriaga, L. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. *Conservation Biology*, 21: 1545–1555.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. et Jarvis, A. 2005a. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965–1978.
- Hijmans, R.J., Guarino, L., Jarvis, A., O'Brien, R., Mathur, P., Bussink, C., Cruz, M., Barrantes, I. et Rojas, E. 2005b. *DIVA-GIS Version 5.2 manual*. Disponible sur Internet: www.diva-gis.org
- Iverson, L.R., Prasad, A.M., Matthews, S.N. et Peters, M. 2008. Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios. *Forest Ecology and Management*, 254: 390–406.
- Pearson, R.G. et Dawson, T.E. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361–371.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. et Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190: 231–259.
- Razal, R.A., Tolentino, E.L.T. Jr., Carandang, W.M., Nghia, N.H., Hao, P.S. et Luoma-Aho, T. 2005. Status of genetic resources of *Pinus merkusii* (Jung et De Vriese) and *Pinus kesiya* (Royle ex Gordon) in Southeast Asia. Los Baños, Philippines et Serdang, Malaisie, University of the Philippines Los Baños College of Forestry and Natural Resources et Institut international des ressources phytogénétiques (IPGRI), Bureau régional pour l'Asie, le Pacifique et l'Océanie.
- Richardson, D.M. et Rundel, P.W. 1998. Ecology and biogeography of *Pinus*: an introduction. In D.M. Richardson, éd. *Ecology and biogeography of Pinus*, p. 3–46. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.
- Sáenz-Romero, C., Guzmán-Reyna, R.R. et Rehfeldt, G.E. 2006. Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, Mexico – implications for seed zoning, conservation, tree breeding and global warming. *Forest Ecology and Management*, 229: 340–350.
- Turakka, A., Luukkanen, O. et Bhumibhamon, S. 1982. Notes on *Pinus kesiya* and *P. merkusii* and their natural regeneration in watershed areas of northern Thailand. *Acta Forestalia Fennica*, n° 178.
- Turnbull, J.W., Armitage, F.B. et Burley, J. 1980. Distribution and ecology of the *Pinus kesiya* complex. In F.B. Armitage et J. Burley, éd. *Pinus kesiya*, p. 13–45. Tropical Forestry Paper 9. Oxford, Royaume-Uni, Commonwealth Forestry Institute.
- UICN (Union internationale pour la conservation de la nature). 2008. *2008 IUCN Red List of Threatened Species*. Disponible sur Internet: www.iucnredlist.org.
- van Zonneveld, M., Jarvis, A., Dvorak, W., Lema, G. et Leibing, C. 2009. Climate change impact predictions on *Pinus patula* and *Pinus tecunumanii* populations in Mexico and Central America. (à publier) ♦

Effets du changement climatique mondial sur des arbres et arbustes rares

M.S. Devall

Lindera melissifolia – une espèce rare menacée par les changements climatiques



C.T. BRYSON
USDA AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE/BUGWOOD.ORG

Autrefois, le climat fluctuait, avec des périodes de temps plus froid, plus chaud, plus sec ou plus humide qu'à présent. Les plantes ont pu s'adapter, mais un réchauffement diffus et rapide pourrait s'avérer catastrophique pour les arbres et arbustes rares, à savoir les espèces indigènes qui sont le moins fréquentes dans une zone et ont le plus besoin de mesures de conservation. Les plantes et les communautés végétales rares existent souvent comme vestiges du passé; elles ont survécu localement grâce à une combinaison très particulière de conditions environnementales.

Les arbres et arbustes forestiers rares font face à des problèmes de conservation particuliers. Un climat plus sec pourrait stresser des plantes rares, mais un climat plus humide risque de causer des inondations. Les marécages, notamment s'ils sont dégradés, pourront s'assécher sous des climats plus chauds. Les arbres et arbustes rares seront probablement plus menacés d'extinction si les températures s'élèvent. De nombreuses espèces rares ont des caractéristiques qui les mettent à risque, comme l'exiguïté des populations, la spécialisation de l'habitat ou l'aire de répartition géographique limitée. Dans le sud des États-Unis, par exemple, un certain nombre d'arbres et d'arbustes rares sont confinés dans des zones de 100 km ou moins de latitude, et très peu d'entre eux ont des aires de répartition de plus de 100 km sans interruption. Les plantes présentes dans les régions montagneuses pourraient se protéger en s'établissant plus haut, si les conditions le permettent. Les communautés végétales à des altitudes inférieures sont vulnérables à la hausse du niveau de la mer. Dans de nombreux endroits, la mise en valeur des terres a réduit les possibilités d'adaptation d'espèces végétales rares. Avec le changement climatique, ces plantes pourraient aussi devenir de plus en plus vulnérables aux espèces végétales et animales envahissantes. En l'absence d'interventions humaines, de nombreux arbres et arbustes rares pourraient disparaître.

Un exemple d'espèce rare qui sera probablement menacée par l'évolution du climat mondial est *Lindera melissifolia*, dans le sud-est des États-Unis. Il s'agit d'un arbuste qui peut atteindre 2 m de haut et qui pousse dans des terres marécageuses saisonnièrement inondées, et sur les bords humides des puits, des étangs et des dépressions. L'espèce est dioïque, et les clones femelles sont normalement plus petits que les clones mâles, ou

parfois absents des peuplements. Comme pour de nombreuses espèces clonales, les semis sont rarement visibles. La répartition et l'abondance de cet arbuste ont déjà été influencées par la destruction et l'altération de leur habitat, notamment par l'exploitation forestière, le défrichement des terres, et le drainage local ou l'inondation des marécages. L'espèce était sur la liste des espèces menacées d'extinction dressée par le United States Fish and Wildlife Service en 1986. De nombreuses colonies existantes de *Lindera melissifolia* sont limitées et n'occupent qu'une portion de l'habitat apparemment approprié. La vallée fluviale du cours inférieur du Mississippi, où se rencontrent les deux tiers des populations actuelles, est l'un des écosystèmes les plus menacés des États-Unis. Une grande partie de l'habitat adapté à la dissémination de l'arbuste est fragmentée aujourd'hui; c'est pourquoi les populations qui disparaissent ne sont normalement pas remplacées.

Margaret Devall est écologiste et travaille à l'United States Forest Service Center for Bottomland Hardwoods Research, Southern Research Station, Stoneville, Mississippi (États-Unis).

Changement climatique et conservation d'*Araucaria angustifolia* au Brésil

M. Silveira Wrege, R.C.V. Higa, R. Miranda Britez, M. Cordeiro Garrastazu, V.A. de Sousa, P.H. Caramori, B. Radin et H.J. Braga

La cartographie de la vulnérabilité au climat est utilisée pour prédire les zones où les changements climatiques auront des effets préjudiciables sur des espèces ou populations d'arbres données, afin d'établir les priorités des activités de conservation.

Les forêts ombrophiles (tolérantes aux fortes pluies) mixtes du sud du Brésil ont un couvert dominé par le pin du Paraná (*Araucaria angustifolia*), ce qui explique pourquoi elles sont souvent appelées forêts d'*Araucaria* (Veloso, Rangel Filho et Lima, 1991), bien que la composition de leur végétation puisse varier sensiblement en fonction de la latitude, de l'altitude, du sol et du microclimat (Reitz et Klein, 1966). Ce type de forêt qui ne se rencontre que dans les néotropiques est typique du plateau méridional.

Les forêts d'*Araucaria angustifolia* sont soumises aujourd'hui à des pressions considérables car elles se situent normalement dans des zones densément peuplées. Les changements climatiques récents et prédits pourraient réduire encore les possibilités de survie de ces populations d'arbres. Le présent article décrit l'origine de ce type de forêt et montre comment elle a été influencée par l'évolution du climat pendant tout le cénozoïque, l'ère géologique la plus récente (et en cours). Il met en évidence certaines limitations des tentatives faites actuellement pour cartographier la vulnérabilité au climat des populations décrites, et souligne l'importance de maintenir leur variabilité génétique pour permettre leur adaptation à un climat changeant, et dès lors leur conservation.

À PROPOS D'*A. ANGUSTIFOLIA* ET DE LA FORÊT D'*ARAUCARIA*

Au Brésil, la forêt d'*Araucaria* est présente dans le sud du tropique du Capricorne à des altitudes comprises entre 50 et 1 800 m, le plus souvent entre 500 et 1 200 m; elle est entourée par la forêt subtropicale humide. Des populations fragmentées d'*A. angustifolia* se rencontrent aussi dans le nord-est de l'Argentine et le sud-est du Brésil (Hueck, 1953). La forêt d'*Araucaria* couvre 177 600 km² au Brésil (Leite et

Klein, 1990) et 2 100 km² en Argentine (Giraud et al., 2003).

La présence d'*A. angustifolia* dans la zone subtropicale du Brésil naît de la dérive continentale qui a causé la dispersion des ancêtres d'*Araucaria* ainsi que d'autres types de végétation. Les fossiles d'*Araucaria* sont répartis dans le monde entier, mais les espèces aujourd'hui survivantes ne se rencontrent qu'en Australie (sept espèces) et en Amérique du Sud (deux espèces). La zone d'origine d'*A. angustifolia* dans le sud du Brésil est donc incertaine. Pendant le pléistocène inférieur (il y a 1,8 million d'années à 10 000 ans), l'élévation de la plate-forme continentale à des altitudes où le climat pluvieux était adapté à l'espèce à cette latitude a permis la formation d'un noyau ombrophile ou population fondatrice. Les phénomènes géologiques qui se sont produits par la suite ont stimulé l'expansion et la contraction de ce noyau au fil du temps; au moment de son extension maximale, son aire de répartition naturelle atteignait le nord-est du Brésil (Veloso, Rangel Filho et Lima, 1991; Leite, 1994).

Araucaria angustifolia est présente de façon naturelle sur une variété de sols, allant des sols superficiels à profonds et des sols humides à bien drainés. L'une des principales caractéristiques environnementales qui détermine sa répartition, et donc sa susceptibilité aux changements climatiques, est la présence de gelées, qui permettent à l'espèce de surclasser d'autres espèces arborescentes concurrentes aux altitudes élevées où elle prospère.

L'espèce a été intensivement exploitée pour le bois, et la superficie forestière d'*Araucaria* a aussi été réduite par l'expansion de l'agriculture. Bien que, de nos jours, *A. angustifolia* soit légalement protégée et son exploitation pour le bois interdite par la loi au Brésil, les zones restantes où

Marcos Silveira Wrege, Rosana Clara Victoria Higa, Marilice Cordeiro Garrastazu et Valderês Aparecida de Sousa travaillent avec Embrapa Florestas, la section forestière de la Corporation pour la recherche agricole brésilienne (EMBRAPA), Colombo (Brésil). Ricardo Miranda Britez travaille avec la Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental (Société pour la recherche sur la faune sauvage et l'éducation en matière d'environnement), Curitiba (Brésil). Paulo Henrique Caramori travaille à l'Instituto Agrônomo do Paraná (Institut agronomique du Paraná, IAPAR), Londrina (Brésil). Bernadete Radin travaille à la Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fondation de l'État pour la recherche agronomique, FEPAGRO), Porto Alegre (Brésil). Hugo José Braga travaille au Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia (Centre d'information sur les ressources environnementales et l'hydrométéorologie, EPAGRI/CIRAM), Florianópolis (Brésil).



Araucaria angustifolia domine le couvert forestier dans la vallée de l'Itaimbezinho, État du Rio Grande do Sul, Brésil

l'espèce croît dans son aire de répartition naturelle sont fragmentées et clairsemées, avec seules de rares grandes populations restantes. L'état de conservation de ce type de forêt est considéré à risque. En outre, la répartition par classe d'âge des populations résiduelles est asymétrique, en faveur des classes d'âge plus élevées.

UNE HISTOIRE LIÉE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les études paléontologiques ont tenté de relier le climat passé à la végétation actuelle sur le plateau méridional du Brésil. On suppose que trois ou quatre grandes fluctuations climatiques pendant le cénozoïque ont influencé la répartition et la composition de la végétation actuelle. Deux périodes sèches ont eu lieu, un épisode de sécheresse extrême pendant le pléistocène et une sécheresse moins forte pendant l'holocène qui a succédé (commençant il y a 10 000 ans) (Klein, 1984).

Pendant la période sèche et froide qui a précédé le dernier maximum glaciaire, il y a 50 000 ans, la végétation était dominée par des prairies et des arbustes, les forêts étant reléguées dans des refuges au fond de vallées profondes (Ledru *et al.*, 1996). Il y a 45 000 à 33 000 ans, l'humidité s'est accrue, et on a des preuves de la présence d'*A. angustifolia*, de *Drimys brasiliensis* et de *Cyathea* sp. La forêt ombrophile n'est pas apparue sur le plateau, mais seulement – sous forme de populations limitées – dans les zones de refuge sur les pentes côtières plus humides et dans les vallées des fleuves (Ledru *et al.*, 1994). Il y a 17 000 à 8 500 ans, la région a peut-être

connu une série de fluctuations climatiques dominées par des conditions de sécheresse froide, interrompues par une brève période de forte humidité il y a 13 000 à 11 000 ans. À partir de 8 500 ans environ, les températures ont continué de se maintenir basses, mais l'humidité est réapparue, stimulant la présence d'*Araucaria* associée à d'autres espèces des genres *Symplocos*, *Drimys*, *Lithraea*, *Podocarpus*, *Myrsine* et *Alchornea* (Ledru, 1993).

Les conditions d'humidité actuelles sont revenues il y a environ 4 300 ans (Behling, 2005). À mesure que l'humidité se stabilisait, la forêt d'*Araucaria* s'est étendue aux prairies subtropicales précédentes à des altitudes plus élevées. La forêt ombrophile s'est considérablement développée au cours des 1 000 dernières années dans l'État du Paraná et au cours des 1 500 dernières années dans l'État de Santa Catarina.

CARTOGRAPHIE DE LA VULNÉRABILITÉ AU CLIMAT

Dans la présente étude, deux modèles ont été utilisés pour prédire l'impact de différents scénarios de changements climatiques sur la répartition de *A. angustifolia*.

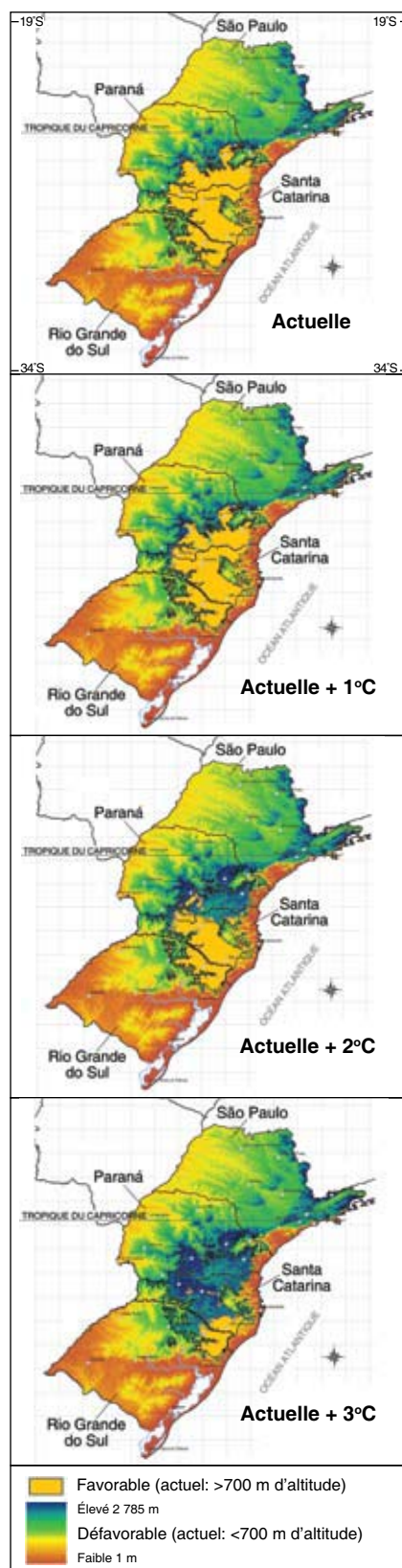
D'abord, un modèle d'enveloppe climatique a été utilisé pour déterminer la gamme de conditions climatiques favorables à *A. angustifolia*, sur la base d'une série climatique de 30 ans concernant la région méridionale du Brésil. On s'est servi de la cartographie de la vulnérabilité au climat pour prédire l'effet d'augmentations de 1°, 2° et 3 °C de la température sur la répartition naturelle actuelle d'*A. angustifolia*. Les cartes ont été dressées sur la base d'une régression linéaire avec la latitude, la longitude et l'altitude pour identifier des zones potentiellement adaptées à l'espèce dans le

cadre de ces scénarios. Les cartes prévoient une réduction sensible de la zone adaptée, indiquant qu'avec une hausse de 3 °C de la température seule une partie limitée de la zone la plus élevée du plateau méridional brésilien serait favorable (figure 1).

Deuxièmement, un modèle de circulation régional établi par l'Institut national brésilien pour la recherche spatiale a été utilisé pour créer des scénarios relatifs à 2010, 2030 et 2050, fondés sur des changements de la circulation atmosphérique prédits par le GIEC (2007). Les données sur les températures ont été employées pour cartographier les zones adaptées à *A. angustifolia*. Les cartes ont été dressées à l'aide du programme de traitement des données géographiques ArcGIS9. Comme dans le premier modèle, la régression linéaire a été utilisée pour relier les températures à la latitude, la longitude et l'altitude. Cette deuxième simulation a prévu une réduction plus limitée de l'aire de répartition de l'espèce (figure 2).

VARIATION GÉNÉTIQUE ET ADAPTATION

La compréhension des facteurs qui influencent la répartition passée et actuelle d'une espèce est importante pour les programmes de conservation. Les réactions des espèces arborescentes aux changements environnementaux sont complexes. Leur survie dépendra, en dernière analyse, de la dissémination des graines et de leur capacité à se reproduire avec succès. La vulnérabilité peut se manifester par des changements dans la floraison et la germination des graines, des résultats moins favorables de la régénération et des taux inférieurs de croissance; elle est souvent aggravée par des perturbations accrues



1
**Répartition géographique
d'*Araucaria angustifolia*
dans le sud du Brésil,
selon différents scénarios
de la température**

teurs de stress sont le manque d'eau et les températures élevées.

La variabilité génétique dans les caractéristiques adaptatives est nécessaire pour qu'une espèce ou une population d'arbres puisse supporter des conditions environnementales défavorables. Le maintien de la diversité génétique est donc important aux fins de l'adaptation à de nouveaux environnements. Les études de variabilité de la population utilisant des outils génétiques moléculaires améliorent désormais la compréhension de l'état de diversité génétique d'espèces et de populations clés. Dans *A. angustifolia*, la variation génétique est présente tant entre les populations (Kageyama et Jacob, 1980; Shimizu et Higa, 1980; de Sousa, 2000) qu'en leur sein (de Sousa, 2000; de Sousa *et al.*, 2005; Stefenon, Gailing et Finkeldey, 2008). La dispersion des graines est limitée, mais le pollen est disséminé sur des distances relativement grandes (Bittencourt et Sebbenn, 2007). Bien qu'on estime que la régénération naturelle des espèces d'*Araucaria* est limitée dans la plupart des lieux examinés, les niveaux de diversité dans les zones de régénération étaient encore considérés comme suffisants pour assurer la survie future de l'espèce (de Sousa *et al.*, 2005; Stefenon, Gailing et Finkeldey, 2008).

Comme les arbres ont un long cycle de vie, le processus d'adaptation à de nouvelles conditions est probablement plus lent que le taux prédit du changement climatique mondial (Hamrick, 2004). La plupart des effets génétiques négatifs causés par le déclin et la fragmentation des populations d'*A. angustifolia* ne devraient être évidents qu'après plusieurs générations d'arbres (de Sousa, 2000).

CONCLUSIONS

La variation génétique est nécessaire pour l'adaptation d'espèces et populations d'arbres aux changements environnementaux et elle est essentielle à leur conservation. Des stratégies plus efficaces de conservation, *in situ* ou *ex situ*, ne peuvent être établies que sur la base des connaissances relatives aux besoins écologiques et aux modèles

de variation des espèces et des types de forêts ciblées, associées à des scénarios de changements climatiques futurs.

La cartographie de la vulnérabilité peut servir à prédire les zones où les changements climatiques auront des effets particulièrement graves sur des espèces ou populations d'arbres données, afin d'établir des priorités pour la collecte de matériel génétique et les activités de conservation génétique *ex situ*. Cependant, davantage de variables climatiques et de modèles climatiques différents devraient être utilisés pour améliorer les cartes à l'avenir.

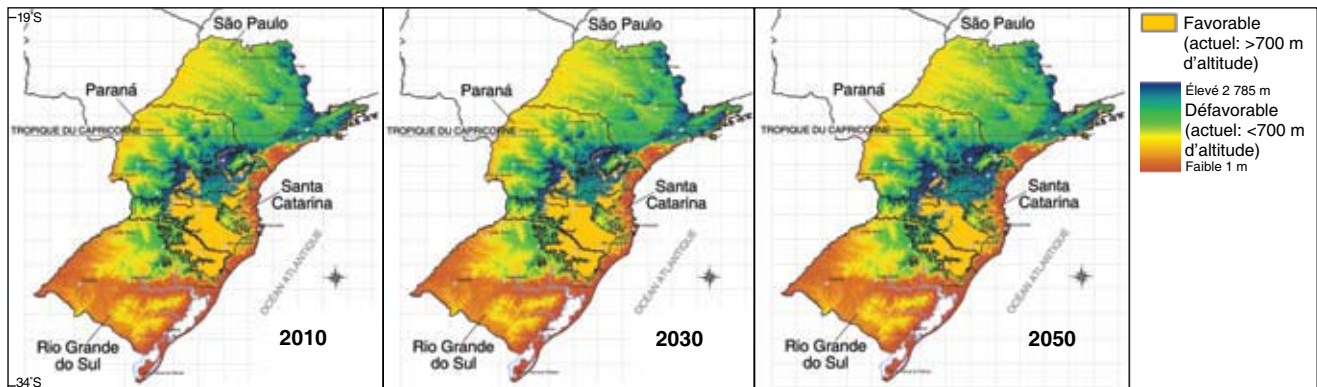
Corréler les informations sur la variabilité génétique d'espèces et populations d'arbres avec des cartes climatiques contribuerait à soutenir les programmes de conservation d'*Araucaria*. Des programmes spéciaux de monitoring et une attention accrue portée à la recherche physiologique fondamentale sont nécessaires pour améliorer la prédiction des réactions de l'espèce aux changements climatiques. ♦



Bibliographie

- Behling, H.** 2005. Late quaternary vegetation dynamics in southern and southeastern Brazil with a special focus on the *Araucaria* forests. In *Resumos do 56º Congresso Nacional de Botânica*. Curitiba, Brésil, Congresso Nacional de Botânica.
- Bittencourt, J.V.M. et Sebbenn, A.M.** 2007. Patterns of pollen and seed dispersal in a small, fragmented population of the wind-pollinated tree *Araucaria angustifolia* in southern Brazil. *Heredity*, 99: 580–591.
- de Sousa, V.A.** 2000. *Population genetic studies in Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze.* Göttingen, Allemagne, Cuvillier Verlag Göttingen.
- de Sousa, V.A., Sebbenn, A.M., Hartmer, H.H., Zihe, M.** 2005. Correlated mating in populations of a dioecious Brazilian conifer, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. *Forest Genetics*, 12(2): 107–119.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).** 2007. *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution du Groupe de travail II au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.

causées par les incendies et les insectes, ainsi que par la compétition plus vive avec la végétation concurrente ou exotique (introduite). L'interaction des différents facteurs de stress est difficile à prédire. Pour *A. angustifolia*, les principaux fac-



2

Répartition géographique d'*Araucaria angustifolia* dans le sud du Brésil, selon différents scénarios fondés sur des modèles de climat mondiaux

- Giraud, A.R., Povedano, H., Belgrano, M.J., Krauczuk, E., Pardiñas, U., Miquelarena, A., Ligier, D., Baldo, D. et Castelino, M.** 2003. Biodiversity status of the interior Atlantic forest of Argentina. In C. Galindo-Leal et I.G. Câmara, éd. *The Atlantic forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook*, p. 160–180. Washington, DC, États-Unis, Island Press.
- Hamrick, J.L.** 2004. Response of forest trees to global environmental changes. *Forest Ecology and Management*, 197: 323–335.
- Hueck, K.** 1953. Distribuição e habitat natural do Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*). *Boletim Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo – Botânica*, 10: 1–24.
- Kageyama, P.Y. et Jacob, W.S.** 1980. Variação genética entre e dentro de progênies de uma população de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In *Forestry problems of the genus Araucaria*, p. 83–86. Délibérations de la réunion de l'IUFRO sur les problèmes forestiers du genre *Araucaria*, Curitiba, Brésil, 21–28 octobre 1979. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPF).
- Klein, R.M.** 1984. Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil. *Sellowia*, 36: 5–54.
- Ledru, M.P.** 1993. Late quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. *Quaternary Research*, 39: 90–98.
- Ledru, M.P., Behling, H., Fournier, M., Martin, L. et Servant, M.** 1994. Localisation de la forêt d'*Araucaria* du Brésil au cours de l'holocène – implications paléoclimatiques. *Comptes rendus de l'Académie des sciences, Séries III, Sciences de la vie*, 317: 517–521.
- Ledru, M.P., Braga, P.I.S., Soubies, F., Fournier, M., Martin, L., Suguio, K. et Tuerc, Q.** 1996. The last 50,000 years in the Neotropics (southern Brazil): evolution of vegetation and climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123: 239–257.
- Leite, P.F.** 1994. *As diferentes unidades fitoecológicas da região sul do Brasil – proposta de classificação*. Mémoire de maîtrise, Federal University of Paraná, Curitiba, Brésil.
- Leite, P.F., Klein, R.M.** 1990. Vegetação. In *Geografia do Brasil*, Vol. 2, *Região Sul*, p. 113–150. Rio de Janeiro, Brésil, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
- Reitz, R. et Klein, R.M.** 1966. *Araucariáceas*. Itajaí, Brésil, Herbário Barbosa Rodrigues.
- Shimizu, J.Y. et Higa, A.R.** 1980. Variação genética entre procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In *Forestry problems of the genus Araucaria*, p. 78–82. Délibérations de la réunion de l'IUFRO sur les problèmes forestiers du genre *Araucaria*, Curitiba, Brésil, 21–28 octobre 1979. Curitiba, FUPF.
- Stefenon, V.M., Gailing, O. et Finkeldey, R.** 2008. Genetic structure of plantations and the conservation of genetic resources of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*). *Forest Ecology and Management*, 255: 2718–2725.
- Veloso, H.P., Rangel Filho, A.L.R. et Lima, J.C.A.** 1991. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro, Brésil, IBGE. ♦

Stratégies forestières d'adaptation: analyse de successions à long terme consécutives aux incendies en Sibérie méridionale, Fédération de Russie

D.I. Nazimova,
O.V. Drobusheskaya,
G.B. Kofman et
M.E. Kononova

Une analyse des successions consécutives à des perturbations naturelles contribue à prédire l'effet des changements climatiques sur la composition future éventuelle des forêts boréales sibériennes dans la subtaïga collinaire.

La composition des espèces forestières et ses changements au fil du temps peuvent servir à prédire les transformations potentielles des forêts dans les conditions climatiques actuelles et futures. Dans la subtaïga sibérienne méridionale, en Fédération de Russie, le feu est le principal facteur qui détermine la biodiversité, la régénération et les espèces forestières dominantes. Les auteurs analysent les successions consécutives aux incendies des 350 dernières années, afin de prédire l'effet de l'augmentation des incendies qui devrait, selon les prévisions, accompagner les changements climatiques dans cette zone.

La succession est le remplacement progressif d'une communauté végétale par une autre à mesure que varient les conditions environnementales, soit naturellement (par le changement des conditions d'ombrage sous un peuplement forestier, par exemple) ou après des perturbations (feu, orage, inondation, infestation de ravageurs ou foyers d'infection, coupe rase, etc.). La plupart des successions comportent un certain nombre de stades où différentes collections d'espèces dominent. Le stade final, ou climax, est atteint lorsque la composition des espèces ne change plus au fil du temps en l'absence de perturbations naturelles ou d'origine humaine.

Caractéristiques de la subtaïga

Les forêts mixtes en Sibérie méridionale sont typiques des paysages collinaires dans des climats humides continentaux. Elles consistent en pins sylvestres (*Pinus sylvestris*), mélèzes de Sibérie (*Larix sibirica*), bouleaux (*Betula pendula*), trembles (*Populus tremula*), sapins de Sibérie (*Abies sibirica*) et épicéas (*Picea obovata*, syn. *Picea abies* subsp. *obovata*) avec une strate herbacée bien développée. Ces forêts, classées comme subtaïga, occupent

la zone entre la taïga de conifères «sombre» (tolérante à l'ombre, avec des sapins, des épicéas et des pins de Sibérie) et la steppe forestière de conifères «claire» (héliophile, avec des pins sylvestres et des mélèzes). Les peuplements forestiers sont sujets à des incendies périodiques et représentent différents stades de la restauration naturelle de la végétation après un incendie.

La zone de subtaïga forestière en Sibérie méridionale (entre 300 et 500 m au-dessus du niveau de la mer) diffère considérablement de la taïga (entre 450 et 650 m au-dessus du niveau de la mer) sur le plan de la biodiversité, de la phénologie et de la composition floristique du sous-bois. Bien que ces deux zones renferment les mêmes essences forestières, dans la subtaïga le sapin et l'épicéa sont pratiquement absents des bassins versants et ne se rencontrent qu'à proximité des cours d'eau. Le sous-bois de la subtaïga est riche en herbes et graminées mais, contrairement à la taïga, il n'a pas de couverture de mousse.

Analyse de la succession

Les auteurs ont reconstruit des trajectoires de succession au cours des 350 dernières années dans les forêts des paysages collinaires du sud de la Sibérie (Fédération de Russie), combinant une méthode de chronoséquence avec des descriptions détaillées de 2 210 unités d'inventaire forestier, des données tirées de 120 parcelles échantillons et les technologies du Système d'information géographique (SIG).

Les méthodes directes ne peuvent pas servir à reconstruire l'historique de peuplements forestiers mixtes inéquiens qui ont une structure verticale complexe, consistant en plusieurs espèces d'âges différents à chaque strate du couvert. La construction de trajectoires quasi

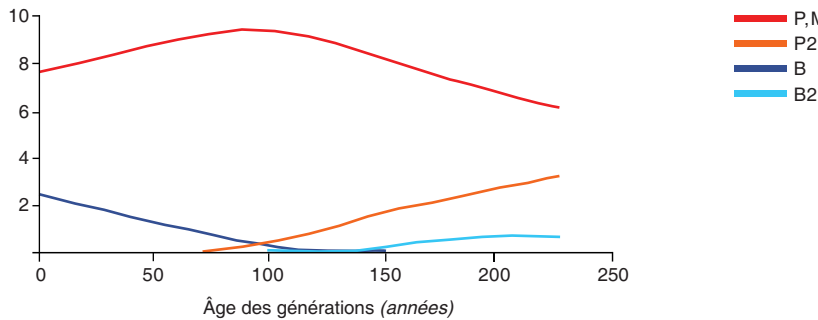
Subtaïga à pins et mélèzes, avec un mélange stable de bouleaux et de trembles, ainsi qu'une strate d'herbes et de graminées bien développée



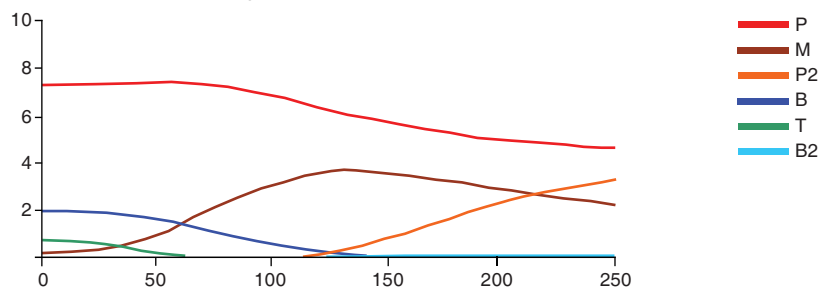
Dina Nazimova, O.V. Drobusheskaya, G.B. Kofman et M.E. Kononova travaillent au V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SB RAS), Krasnoyarsk (Fédération de Russie).

(a) Peuplements de *Pinus sylvestris*–*Caragana arborescens* sur des pentes ensoleillées, escarpées et pierreuses, avec des sols périodiquement secs

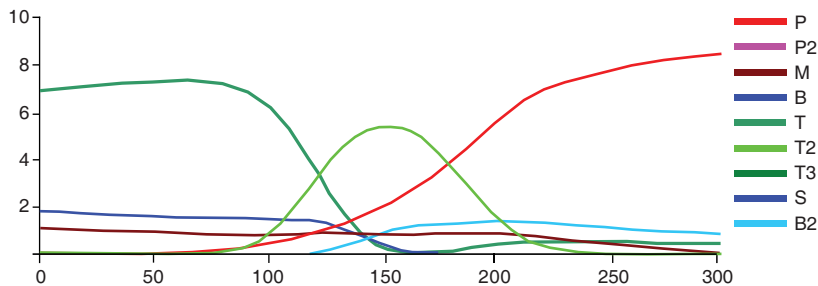
Contribution des espèces



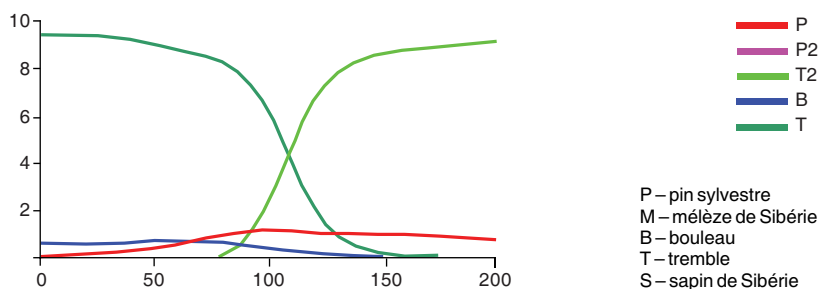
(b) Peuplements de *Pinus sylvestris*–*Spirea media*–*Carex macroura* sur des sols humides



(c) *Pinus sylvestris*–*Pteridium aquilinum* et *Crepis sibirica*–*Carex macroura* sur des sols humides et des pentes ensoleillées



(d) Peuplements forestiers mixtes dominés par le tremble, avec une strate de hautes herbes et graminées bien développée (*Pteridium aquilinum*, *Calamagrostis arundinacea*, *Brachypodium pinnatum*, *Lilium martagon*, *Lathyrus gmelinii*), sur des pentes concaves



Les deuxième et troisième générations d'arbres sont indiquées par un numéro. La part de chaque génération d'espèces forestières (suivant des données détaillées d'inventaire forestier) est estimée en unités relatives comprises dans le volume total.

Dynamique à long terme d'espèces arborescentes dans différents types de forêts de la zone de subtaïga collinaire (entre 200 et 450 m au-dessus du niveau de la mer)

La figure illustre la composition des communautés et les changements intervenus jusqu'au stade climacique (de 200 à 350 ans) pour différents types de forêts aux sols d'une humidité et d'une richesse variées, reconstruits à partir de données d'inventaire forestier. Du fait de la fréquence des feux de surface, ces peuplements n'ont pas encore atteint le stade climacique, mais les derniers stades de leur développement peuvent être considérés comme un quasi-climax ou un état de quasi-équilibre.

Le bouleau n'abonde que pendant les sept à douze premières décennies (figure, a–c). Après son déclin, le pin sylvestre et le mélèze deviennent les espèces principales. Le sapin et l'épicéa sont clairsemés dans la plupart des sites compris dans la zone de subtaïga.

Le remplacement du mélèze de Sibérie et du pin sylvestre par le sapin de Sibérie n'est observable qu'à l'interface de la subtaïga et de la taïga à sapins. Cependant, ce processus n'a pas encore atteint le stade climacique dans les zones étudiées, en raison d'incendies répétés; des peuplements mûrs de pins sylvestres forment un subclimax dans cette variante humide de la subtaïga collinaire.

Parmi les peuplements forestiers décidus, les conditions sont adaptées aux peuplements de trembles sur des sols fertiles et humides. La riche diversité des herbes du sous-bois (*Carex macroura*, *Calamagrostis arundinacea*, *Vicia unijuga*, par exemple) prouve que le système supporte bien le feu. Les peuplements de trembles occupent une niche favorable à de nombreuses espèces. La strate d'herbes et de graminées bien développée interdit la régénération des conifères héliophiles tels que le pin sylvestre et le mélèze de Sibérie. Un sous-bois de conifères tolérants à l'ombre (sapin de Sibérie, épicéa, pin de Sibérie) apparaît parfois sous le couvert des trembles, mais le manque d'humidité atmosphérique et les incendies de surface périodiques, notamment au printemps, ne leur permettent pas de dominer.

Les tendances de la succession montrent que, dans les conditions climatiques propres à la subtaïga, seules les essences forestières les plus tolérantes au feu, comme le pin sylvestre et le mélèze de Sibérie, domineront, normalement pendant 250 à 350 ans. Le mélèze de Sibérie est bien connu pour sa tolérance au feu, mais dans la subtaïga humide il cède la place au

dynamiques était fondée sur le groupage de peuplements de différents âges croissant dans le même environnement, dans des conditions initiales et avec des histoires de développement similaires.

Douze lignes de succession, comprenant cha-

cune plusieurs stades de succession, ont été identifiées pour la ceinture de subtaïga au climat humide continental. Six lignes de succession ont été trouvées pour la ceinture de taïga à sapins d'altitude plus élevée, au climat plus humide et moins continental.

pin sylvestre et au bouleau, qui produisent davantage de semences et s'établissent dès lors plus rapidement à la place du mélèze ou sous ce dernier. Les peuplements de pins sylvestres de première ou de deuxième génération prévalent dans les derniers stades de la succession.

Conclusions

L'analyse laisse entendre que l'augmentation prévue des incendies résultant des changements climatiques, en Sibérie méridionale, provoquera sans doute une réduction du mélèze et des conifères tolérants à l'ombre, en faveur du pin sylvestre, du bouleau et du tremble, ainsi que de communautés végétales non arborées de buissons, graminées et herbes. La diversité des espèces dans les communautés végétales de ces forêts sera semblable à celle de nombreuses communautés existant actuellement dans les steppes forestières et les zones steppiques.

On peut s'attendre à ce que le réchauffement et l'humidité croissante du climat provoquent des changements dans la composition des écosystèmes forestiers, qui pourraient s'avérer défavorables du point de vue économique. Néanmoins, les fonctions écologiques des écosystèmes forestiers ne diminueront pas. En outre, le tremble et le bouleau constituent d'excellents puits de carbone grâce à leur croissance rapide. Toutefois, dans la zone de la subtaïga, les incendies au printemps et à l'automne restent le principal danger qui menace la survie de générations d'espèces arborescentes.

La gestion forestière durable vise à aider la régénération naturelle. Le brûlage dirigé pourrait être recommandé pour certains sites, afin d'éviter les grands incendies et d'encourager la régénération du pin sylvestre et du mélèze.

Enfin, les plans de gestion élaborés pour les plantations de pins de Sibérie, actuellement l'essence la plus intéressante du point de vue économique dans la subtaïga, devront tenir compte du risque accru d'incendies de surface destructifs et renforcer la protection contre le feu. ♦



Bibliographie

- Caspersen, J.P. et Pacala, S.W. 2001. Successional diversity and forest ecosystem function. *Ecological Research*, 16: 895–903.
- Foster, D. et Tilman, B.L. 2000. Dynamic and static views of succession: testing the descriptive power of the chronosequence approach. *Plant Ecology*, 146(1): 1–10.
- Goldammer, J.G. et Furyaev, V.V., éd. 1996. *Fire in ecosystems of boreal Eurasia*. Dordrecht, Pays-Bas, Kluwer Academic Publishers.
- Hyttelborn, H.H., Rysin, L.P., Nazimova, D.I. et Maslov, A.A. 2005. Boreal forest of Eurasia. In F. Anderssen, éd. *Ecosystems of the world – coniferous forests*, p. 23–99. Amsterdam, Pays-Bas, Elsevier.
- Khanina, L.G., Bobrovsky, M.V., Karjalainen, T. et Komarov, A.S. 2001. A review of recent projects on forest biodiversity investigations in Europe including Russia. Rapport interne n° 3. Joensuu, Finlande, Institut forestier européen.
- Mitchell, F.J.G. et Cole, E. 1988. Reconstruction of long-term successional dynamics of temperate woodland in Bialowieza Forest, Pologne. *Journal of Ecology*, 86: 1042–1049.
- Nazimova, D.I., Andreeva, N.M., Kofman, G.B., Nozhenkova, L.F., Polikarpov, N.P. et Stepanov, N.V. 2006. Portrait models of forest cover structural biodiversity. In V.K. Shumny, Yu.I. Shokin, N.A. Kolchanov et A.M. Fedotov, éd. *Biodiversity and dynamics of ecosystems: information technologies and modeling*, p. 481–547. Novosibirsk, Fédération de Russie, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SB RAS). (En russe)
- Nazimova, D.I. et Polikarpov, N.P. 1996. Forest zones of Siberia as determined by climatic zones and their possible transformations under global change. *Sylvia Fennica*, 30(2–3): 201–208.
- Nazimova, D.I., Polikarpov, N.P., Andreeva, N.M. et Sophronov, M.A. 1997. Forest zones of Siberia and post-fire demutations in current climate. In *Proceedings of the International Boreal Forest Research Association 1997 Conference*, Duluth, Minnesota, États-Unis, 4–7 août 1997. General Technical Report NC-209. St Paul, Minnesota, États-Unis, Département de l'agriculture des États-Unis (USDA), Forest Service North Central Research Station.
- Polikarpov, N.P., Tchebakova, N.M. et Nazimova, D.I. 1986. *Climate and mountain forests of southern Siberia*. Novosibirsk, Fédération de Russie, Nauka. (En russe) ♦

Prédire la répartition continentale des insectes à partir de leur physiologie

J. Régnière

Le fait de connaître les effets des principaux facteurs climatiques sur le développement des espèces d'insectes, notamment la température, permet de prédire leur aire de répartition géographique potentielle et leur performance face aux changements climatiques.

Nombreuses sont les preuves indiquant que les aires de répartition des insectes évoluent à des rythmes sans précédent. Les altérations du climat de la planète offrent aux espèces d'insectes mobiles un nombre croissant d'habitats hospitaliers, et l'expansion du commerce mondial augmente les occasions pour les insectes mobiles de coloniser de nouveaux habitats.

Le présent article décrit les impacts potentiels de l'évolution du climat sur les insectes forestiers, ainsi qu'une méthode permettant de prédire leur répartition en fonction de leurs réactions physiologiques connues à des facteurs climatiques particuliers. La modélisation se fonde principalement sur les réactions au plan du développement, car ce sont elles qui établissent les climats sous lesquels un insecte peut mener à bien une saisonnalité stable et adaptative. Les modèles peuvent aussi tenir compte d'autres influences imputables au climat, comme la tolérance au froid. Trois exemples concernant l'Amérique du Nord sont présentés: la tordeuse des bourgeons de l'épinette indigène (*Choristoneura fumiferana*); la spongieuse envahissante introduite (*Lymantria dispar*); et le dendroctone du pin indigène (*Dendroctonus ponderosae*).

Ces études prédisent que l'aire de répartition de la plupart des espèces d'insectes se déplacera vers les pôles et vers des altitudes majeures sous l'effet des changements climatiques prévus, et que les régions tempérées souffriront le plus de ces déplacements. Les nouvelles aires de répartition pourront être favorables ou défavorables, suivant les espèces et le point de vue; mais les modèles laissent entendre qu'un monde au climat plus chaud n'est pas nécessairement un monde envahi par davantage d'insectes nuisibles.

IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES INSECTES FORESTIERS

Les insectes sont la forme de vie animale la plus diversifiée des écosystèmes terrestres. La plupart d'entre eux sont inoffensifs et font partie intégrante des écosystèmes naturels. Comme les insectes sont ectothermes, les rythmes des principaux processus physiologiques de leur cycle de vie sont déterminés par les conditions environnementales, notamment la température et les précipitations. D'une manière générale, ils ont des durées de génération brèves, une grande fécondité et une forte mobilité (tant par leurs propres moyens que grâce au vent, aux animaux et aux êtres humains). Les effets des changements climatiques sur les insectes forestiers (étudiés par Moore et Allard, 2008) doivent être mis en

La spongieuse, *Lymantria dispar*: les modèles de saisonnalité de cet insecte nuisible introduit en Amérique du Nord prédisent qu'il avancera davantage vers le nord et l'ouest jusqu'au Canada où il pourrait menacer un nombre considérable d'essences feuillues



Jacques Régnière travaille auprès de Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Station de Sainte-Foy, Québec (Canada).

J.H. GHEINTJUS FOREST SERVICE/BLUWOOD.ORG

relation avec l'intensification du commerce international et les variations des modèles d'affectation des terres.

Les études des fossiles suggèrent que des épisodes antérieurs de réchauffement rapide du globe ont déterminé une augmentation du nombre d'insectes herbivores (Currano *et al.*, 2008). De même, les niveaux d'insectes herbivores tendent actuellement à s'accroître (DeLucia *et al.*, 2008), par exemple dans les forêts de bouleaux du nord de l'Europe (Wolf, Kozlov et Callaghan, 2008). Ces phénomènes s'expliquent, entre autres, par l'affaiblissement des défenses des végétaux et l'augmentation de leur valeur nutritionnelle en présence de volumes accrus de CO₂ et de O₃ (Kopper et Lindroth, 2003) et par la modification de la synchronie saisonnière entre les végétaux, les insectes herbivores et leurs ennemis naturels (van Asch et Visser, 2007; Stireman *et al.*, 2005).

De nombreux insectes sont sensibles aux événements climatiques extrêmes (sécheresse, vagues de chaleur ou de froid). Du fait de l'altération du climat et de la déforestation, les environnements tropicaux, qui hébergent la majeure partie de la biodiversité de la planète, pourraient fort bien s'avérer trop chauds, secs ou fragmentés pour permettre à de nombreuses espèces d'insectes de subsister (Williams, Bolitho et Fox, 2003). Les espèces qui ont des interactions hôte plante très développées ou qui vivent dans des micro-habitats sont particulièrement en danger d'extinction, notamment dans les zones tropicales (Lewis, 2006).

Nouvelles aires de répartition

Les climats des zones tempérées et subarctiques offrent une hospitalité croissante aux plantes et aux insectes, suscitant des préoccupations liées au comportement des

espèces indigènes et au risque d'invasion par des espèces exotiques, ce qui pourrait perturber les fonctions normales de l'écosystème. De nombreuses espèces propres aux zones tempérées ont altéré leur aire de répartition en réponse à l'évolution récente du climat. Telles sont la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) en Europe (Battisti *et al.*, 2006), l'arpenreuse tardive (*Operophtera brumata*) et l'arpenreuse verte veloutée (*Epirrita autumnata*) en Scandinavie (Jepsen *et al.*, 2008), et le dendroctone méridional du pin (*Dendroctonus frontalis*) en Amérique du Nord (Tran *et al.*, 2007). Certaines espèces, qui ont été enfermées dans le passé dans leur aire de répartition par des barrières géographiques, comme les montagnes et les grandes masses d'eau, sont susceptibles aujourd'hui de surmonter ces barrières et d'étendre soudain leur aire de répartition. Par exemple, le déplacement accru de masses d'air chaud vers des latitudes plus élevées a déterminé récemment des afflux de la fausse-teigne des crucifères (*Plutella xylostella*) dans les îles norvégiennes de Svalbard dans l'océan Arctique, à 800 km au nord du bord de son aire de répartition actuelle dans l'ouest de la Fédération de Russie (Coulson *et al.*, 2002).

Le sort de certaines espèces d'insectes dépend de leur niveau de spécialisation (aire de répartition des hôtes et des habitats), de leur mobilité et de facteurs limitant leur distribution. Les espèces spécialistes de papillons se caractérisent par une ample décroissance au Royaume-Uni, alors que des espèces généralistes augmentent (Thomas, 2005; Franco *et al.*, 2006). La richesse des espèces d'insectes s'accroît dans les habitats froids de la planète (Andrew et Hughes, 2005). Les espèces de papillons rencontrées dans l'ensemble du Royaume-Uni diminuent le plus rapi-

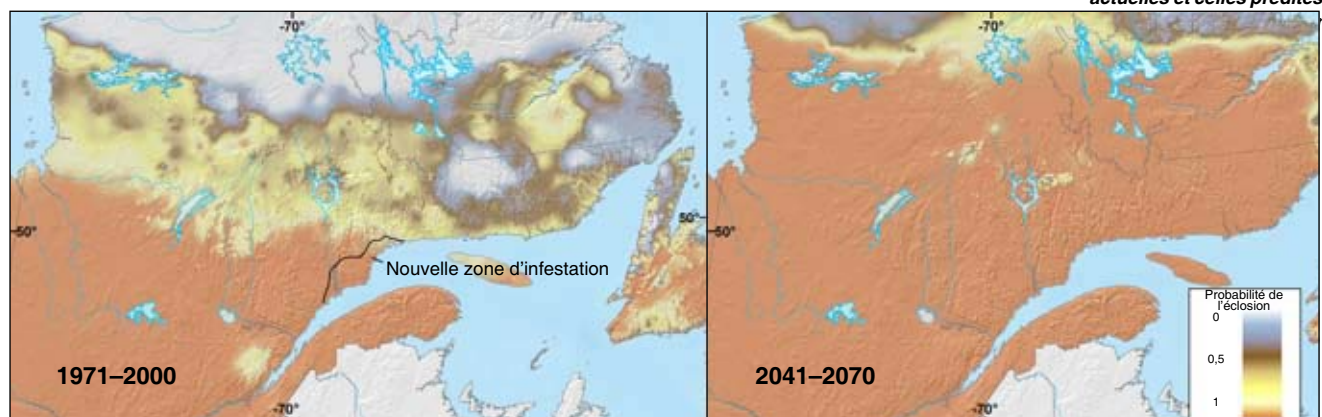
dement au sud, alors que celles qui sont propres aux zones méridionales tendent à coloniser le nord (Conrad *et al.*, 2004). Ainsi, le déplacement des aires de répartition géographique des insectes pourrait se traduire simultanément par une expansion à l'extrémité supérieure et une contraction à l'extrémité inférieure de leurs limites latitudinales et altitudinales (Parmesan *et al.*, 1999).

La constitution génétique des espèces d'insectes subit aussi des changements sous l'effet des variations climatiques. Bien que l'évolution génétique soit un processus naturel normal, des altérations morphologiques exceptionnellement rapides ont été observées sur des périodes brèves (de l'ordre d'une décennie). Il s'agit d'altérations liées à la capacité de vol (Hill, Thomas et Blakeley, 1999; Thomas *et al.*, 2001), aux stratégies de survie, à l'induction de la diapause (dormance) (Burke *et al.*, 2005), au développement physiologique (Rank et Dahlhoff, 2002) et à la résistance au froid (Calosi *et al.*, 2008) chez des espèces qui modifient leur aire de répartition.

Fréquence des infestations

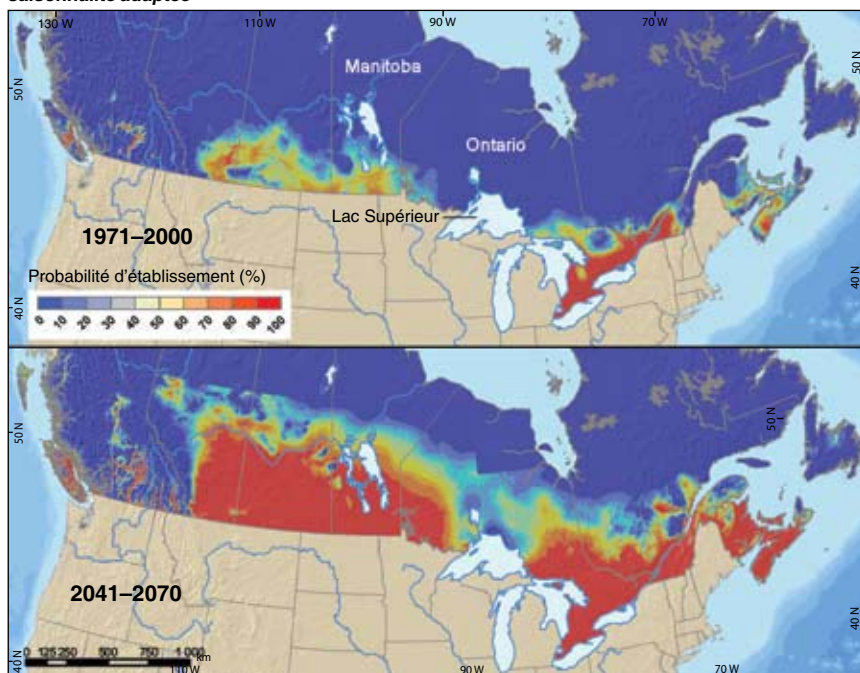
Les signes probants de changements de fréquence des infestations chez les insectes forestiers nuisibles résultant de l'évolution du climat sont rares, car ils doivent être fondés sur des données historiques de longue durée et une bonne connaissance de la dynamique de la population de chaque insecte. Une multitude de données a relié le stress de sécheresse dû au changement

1
Probabilité de l'éclosion des œufs de la tordeuse des bourgeons de l'épinette avant le début de l'hiver au Québec (Canada), dans les conditions climatiques actuelles et celles prédites



climatique aux graves dommages causés par les insectes au pin (*Pinus* spp.) dans le sud-ouest des États-Unis (Trotter, Cobb et Whitham, 2008). Il a été observé que les cycles réguliers d'infestation (de 8 à 13 ans) de la tordeuse des bourgeons du mélèze (*Zeiraphera diniana*) en Suisse se sont interrompus depuis le début des années 1970 (Esper *et al.*, 2007). La gravité et la fréquence des infestations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura* spp.) dans l'est du Canada semblent avoir augmenté au cours des 200 dernières années (Simard, Morin et Lavoie, 2006). Les changements climatiques peuvent influencer le comportement de populations d'insectes dans leur aire de répartition actuelle en altérant les interactions écologiques qui les régissent. Ces effets sont difficiles à prévoir, notamment parce que la dynamique des populations de seules quelques espèces est suffisamment comprise (Harrington, Fleming et Woivod, 2001). Même pour les espèces qui ont fait l'objet d'études plus approfondies, comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette en Amérique du Nord, la complexité des interactions écologiques en jeu est réellement écrasante (Eveleigh *et al.*, 2007).

2
Probabilité de
l'établissement de la
spongieuse au Canada,
dans les conditions
climatiques actuelles
et celles prédites pour
l'avenir, sur la base d'une
saisonnalité adaptée



PRÉDIRE LES RÉPARTITIONS
GÉOGRAPHIQUES

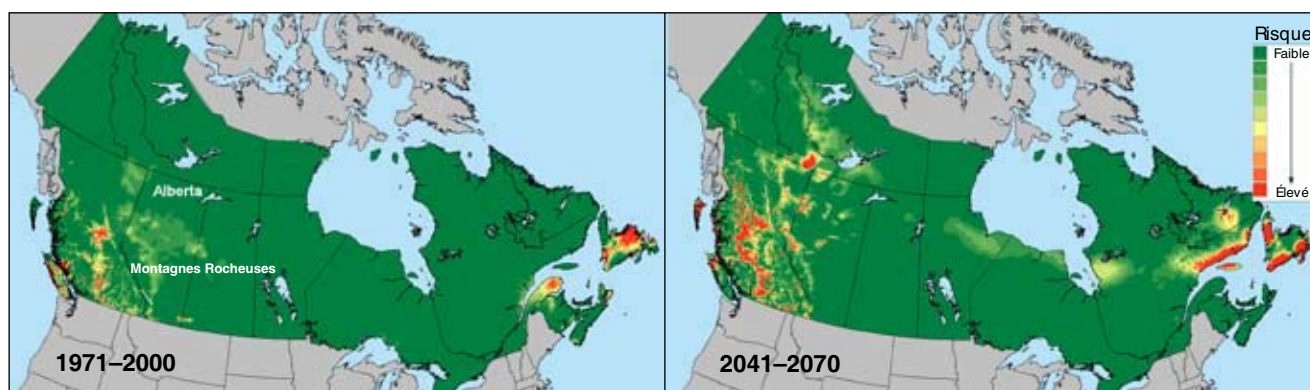
La propagation mondiale d'espèces d'insectes forestiers nuisibles est une conséquence possible de l'évolution du climat. En raison de la diversité et de la complexité des réactions des insectes aux facteurs climatiques, il est difficile de formuler des prédictions générales. Les outils de modélisation génériques comme BioSIM (Régnière et St-Amant, 2008) utilisent les connaissances disponibles sur les réactions de certaines espèces (normalement des ravageurs) aux principaux facteurs climatiques pour prédire leur répartition géographique et leur comportement éventuels. Ces modèles tiennent compte principalement des facteurs qui déterminent la saisonnalité de l'insecte et de ceux qui influencent leur survie pendant la saison la plus âpre (normalement l'hiver). Ils se fondent sur le principe selon lequel le besoin le plus fondamental de l'insecte est de compléter son cycle de vie suivant un modèle saisonnier bien adapté, avec une synchronie adéquate entre les ressources essentielles, comme les plantes hôtes servant à leur alimentation et à leur abri, et les stades qui les exigent. Si une espèce est incapable de satisfaire cette viabilité de base d'une génération à l'autre sous un climat particulier, elle ne peut pas subsister dans cet environnement.

Une fois que le modèle de saisonnalité est disponible pour une espèce d'insecte, sa répartition peut être prédite en mappant les climats qui produisent la saisonnalité

viable avec plus ou moins de certitude, et en superposant au mappage la répartition des ressources vitales (ou le plus à risque) pour cette espèce. On peut affiner ultérieurement les prédictions en tenant compte aussi de la probabilité de survie dans des conditions climatiques extrêmes (en se fondant, par exemple, sur sa tolérance au froid ou à la chaleur). Cette méthode a été appliquée à trois importantes espèces de forêts nord-américaines, en utilisant des normales climatiques (moyennes et modifications calculées sur des intervalles standards de 30 ans) pour les périodes 1971-2000 et 2041-2070, sur la base d'un scénario prudent de changement climatique déterminé par une augmentation de 1 pour cent par an du CO₂ atmosphérique (Logan, Régnière et Powell, 2003).

Trois exemples nord-américains

La tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) est un insecte défoliateur indigène des conifères, dont l'aire de répartition va de la côte ouest à la côte est du Canada et traverse le nord des États-Unis, du Minnesota dans le Midwest au Maine sur la côte est. La partie septentrionale de son aire actuelle est normalement limitée par celle des plantes hôtes. Toutefois, il existe des zones dans l'est du Canada où elle est limitée par le climat défavorable et où les changements climatiques sont susceptibles de lui permettre de prospérer. L'analyse a utilisé un modèle détaillé axé sur les processus pour déterminer les effets de la température sur le développement de l'insecte. Le froid hivernal n'est pas un facteur de mortalité particulièrement important pour la tordeuse des bourgeons de l'épinette; cette espèce, qui est strictement univoltine (elle n'a qu'une génération par an), passe l'hiver dans une diapause profonde au début du développement larvaire. Lorsque les plantes hôtes sont disponibles, sa limite septentrionale et altitudinale est déterminée par les étés trop froids pour permettre l'éclosion des œufs avant l'hiver, ce qui laisserait le temps aux larves de trouver un abri hivernal approprié. Ainsi, la probabilité d'une éclosion des œufs avant l'arrivée de l'hiver est un bon facteur d'estimation de la capacité de l'insecte à subsister dans un lieu donné. Les modèles décrivent avec précision la répartition actuelle de l'insecte dans l'est du Canada. Lorsque le climat change, cette aire de répartition devrait se



3
Risques que le dendroctone du pin ait un cycle de vie univoltin (une génération) et un taux plus élevé de survie hivernale au Canada, dans les conditions climatiques récentes et celles prédites pour l'avenir

déplacer lentement vers des latitudes plus septentrionales et des altitudes majeures, et n'être limitée que par la disponibilité d'arbres hôtes adaptés (figure 1). Il est prouvé que ce phénomène s'avère déjà, car une nouvelle infestation se manifeste actuellement à des latitudes anormalement élevées sur la rive septentrionale du fleuve Saint-Laurent au Québec. Des infestations plus graves et prolongées peuvent donc être escomptées dans des zones qui ont normalement échappé à ces dommages dans le passé grâce au climat inclément.

La spongieuse (*Lymantria dispar*) venue d'Europe s'est introduite dans le nord-est des États-Unis en 1869 et s'y est propagée à l'ouest et au sud, ainsi qu'au nord jusqu'au Canada où elle a atteint désormais sa limite septentrionale établie par les conditions climatiques défavorables. À l'heure actuelle, la spongieuse est confinée à l'est du lac Supérieur (figure 2). Un modèle de la saisonnalité de l'insecte a été utilisé pour prédire la probabilité de son établissement au Canada (Régnière, Nealis et Porter, 2009). Le modèle a prédit que cette espèce, qui est fortement polyphage (elle a beaucoup de plantes hôtes), menacera un nombre considérable de forêts feuillues à mesure que les changements climatiques lui permettront de s'étendre plus au nord et à l'ouest jusqu'au Canada. On a estimé que la proportion des forêts décidues du Canada qui risquent d'être endommagées par la spongieuse passera de 15 pour cent actuellement à plus de 75 pour cent d'ici à 2050. La stratégie de gestion visant à

réduire ce risque comprend, dans une large mesure, le monitoring et la surveillance de l'ouest du lac Supérieur, qui a constitué une barrière géographique à l'extension vers le nord de l'itinéraire de l'insecte entre l'Ontario et le Manitoba, conjointement au programme «Slow the Spread» mis en œuvre dans le Midwest des États-Unis pour arrêter sa propagation à partir du sud.

Le dendroctone du pin (*Dendroctonus ponderosae*) est un scolyte originaire d'Amérique du Nord, qui a été confiné à l'ouest du continent par les barrières géographiques constituées par les montagnes Rocheuses et les Grandes Plaines. Un ample bagage d'informations est disponible sur les réactions physiologiques de l'insecte à la température, tant en termes de développement (Bentz, Logan et Amman, 1991) que de tolérance au froid (Régnière et Bentz, 2007). Des modèles ont été utilisés pour déterminer la zone du Canada la plus adaptée à cet insecte. Exactement une génération par an est idéale pour cette espèce sans diapause. Des cartes des risques ont été dressées pour le pays avec superposition des probabilités que l'insecte puisse mener à bien une saisonnalité adaptative et qu'il puisse survivre dans le froid extrême de l'hiver canadien, sous les climats actuels aussi bien que futurs. (figure 3). Ces cartes laissent entendre que le Canada à l'est des montagnes Rocheuses restera longtemps inhospitalier pour cet insecte à l'avenir, à l'exception de certaines parties du nord-ouest de l'Alberta et de la côte atlantique. Toutefois, le risque d'infestations du dendroctone du pin dans l'ouest du pays augmentera sans doute de façon spectaculaire aux latitudes et altitudes plus élevées, mais diminuera aux latitudes et altitudes inférieures. Cette information, conjuguée aux connaissances sur la susceptibilité des différentes espèces de pin (*Pinus*) dans la forêt boréale du

Canada, a permis à ce pays de concevoir une stratégie contre les risques pour la gestion d'une infestation sans précédent du dendroctone du pin en Colombie-Britannique et dans l'Alberta (Nealis et Peter, 2008). [NDLR: voir l'article de Konkin et Hopkins dans ce numéro.]

CONCLUSIONS

La littérature met en évidence une perte de biodiversité chez les insectes des zones tropicales de la planète, à mesure que des espèces hautement spécifiques font face à la disparition des climats et des hôtes adaptés. Aux latitudes moyennes, les déplacements de la répartition vers les latitudes et altitudes supérieures semblent prévaloir, notamment chez les espèces polyphages et fortement mobiles.

Des modèles détaillés des réactions au climat de chaque espèce d'insecte sont nécessaires pour prédire les changements de répartition avec un minimum de précision. Cependant, il paraît difficile de formuler des prédictions générales quant aux réactions des principales espèces d'insectes forestiers nuisibles du point de vue de la sévérité et de la fréquence des infestations dans leur aire de répartition actuelle. On observe un risque croissant d'«invasion» des écosystèmes tempérés de plus en plus hospitaliers par les espèces particulièrement mobiles. Toutefois, les modèles donnent à penser que l'aire de répartition des insectes ne devrait pas s'étendre, mais plutôt se déplacer vers des latitudes et altitudes majeures. C'est pourquoi il n'est pas dit qu'un monde plus chaud soit nécessairement un monde plus peuplé de ravageurs. ♦



Bibliographie

- Andrew, N.R. et Hughes, L. 2005. Diversity and assemblage structure of phytophagous Hemiptera along a latitudinal gradient: predicting the potential impacts of climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 14: 249–262.
- Battisti, A., Stastny, M., Buffo, E. et Larsson, S. 2006. A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology*, 12: 662–671.
- Bentz, B.J., Logan, J.A. et Amman, G.D. 1991. Temperature-dependent development of the mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) and simulation of its phenology. *The Canadian Entomologist*, 123: 1083–1094.
- Burke, S., Pulin, A.S., Wilson, R.J. et Thomas, C.D. 2005. Selection of discontinuous life-history traits along a continuous thermal gradient in the butterfly *Aricia agestis*. *Ecological Entomology*, 30: 613–619.
- Calosi, P., Bilton, D.T., Spicer, J.I. et Atfield, A. 2008. Thermal tolerance and geographical range size in the *Agabus brunneus* group of European diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae). *Journal of Biogeography*, 35: 295–305.
- Conrad, K.F., Woivod, I.P., Parsons, M., Fox, R. et Warren, M.S. 2004. Long-term population trends in widespread British moths. *Journal of Insect Conservation*, 8: 119–136.
- Coulson, S.J., Hodkinson, I.D., Webb, N.R., Mikkola, K., Harrison, J.A. et Pedgley, D.E. 2002. Aerial colonization of high Arctic islands by invertebrates: the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a potential indicator species. *Diversity and Distributions*, 8: 327–334.
- Currano, E.D., Wilf, P., Wing, S.L., Labandeira, C.C., Lovelock, E.C. et Royer, D.L. 2008. Sharply increased insect herbivory during the paleocene-eocene thermal maximum. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 1960–1964.
- DeLucia, E.H., Casteel, C.L., Nabity, P.D. et O'Neill, B.F. 2008. Insects take a bigger bite out of plants in a warmer, higher carbon dioxide world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 1781–1782.
- Esper, J., Büntgen, U., Frank, D.C., Nievergelt, D. et Liebhöf, A. 2007. 1200 years of regular outbreaks in alpine insects. *Proceedings of the Royal Society Series B*, 274: 671–679.
- Eveleigh, E.S., McCann, K.S., McCarthy, P.C., Pollock, S.J., Lucarotti, C.J., Morin, B., McDougall, G.A., Strongman, D.B., Huber, J.T., Umbanhowar, J. et Faria, L.B.D. 2007. Fluctuations in density of an outbreak species drive diversity cascades in food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104: 16976–16981.
- Franco, A.M.A., Hill, J.K., Kitschke, C., Collingham, Y.C., Roy, D.B., Fox, R., Huntley, B. et Thomas, C.D. 2006. Impacts of climate warming and habitat loss on extinctions at species' low-latitude range boundaries. *Global Change Biology*, 12(8): 1545–1553.
- Harrington, R., Fleming, R.A. et Woivod, I.P. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology*, 3: 233–240.
- Hill, J.K., Thomas, C.D. et Blakeley, D.S. 1999. Evolution of flight morphology in a butterfly that has recently expanded its geographic range. *Oecologia*, 121: 165–170.
- Jepsen, J.U., Hagen, S.B., Ims, R.A. et Yoccoz, N.G. 2008. Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology*, 77: 257–264.
- Kopper, B.J. et Lindroth, R.L. 2003. Effects of elevated carbon dioxide and ozone on the phytochemistry of aspen and performance of an herbivore. *Oecologia*, 134: 95–103.
- Lewis, S.L. 2006. Tropical forests and the changing earth system. *Philosophical transactions of the Royal Society B*, 361: 195–210.
- Logan, J.A., Régnière, J. et Powell, J.A. 2003. Assessing the impact of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers of Ecology and the Environment*, 1(3): 130–137.
- Moore, B. et Allard, G. 2008. *Climate change impacts on forest health*. Document de travail sur la santé des forêts et la biosécurité FBS/34E. Rome, Italie, FAO.
- Nealis, V. et Peter, B. 2008. *Risk assessment of the threat of mountain pine beetle to Canada's boreal and eastern pine forests*. Information Report BC-X-417. Victoria, Colombie-Britannique, Canada, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique.
- Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammari, T., Tennent, W.J., Thomas, J.A. et Warren, M. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399: 579–583.
- Rank, N.E. et Dahloff, E.P. 2002. Allele frequency shifts in response to climate change and physiological consequences of allozyme variation in a montane insect. *Evolution*, 56: 2278–2289.
- Régnière, J. et Bentz, B. 2007. Modeling cold tolerance in the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae*. *Journal of Insect Physiology*, 53: 559–572.
- Régnière, J., Nealis, V. et Porter, K. 2009. Climate suitability and management of the gypsy moth invasion into Canada. *Biological Invasions*, 11: 135–148.
- Régnière, J. et St-Amant, R. 2008. *BioSIM 9 – Manuel de l'utilisateur*. Rapport d'information LAU-X-134. Québec, Canada, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides.
- Simard, I., Morin, H. et Lavoie, C. 2006. A millennial-scale reconstruction of spruce budworm abundance in Saguenay, Québec, Canada. *The Holocene*, 16: 31–37.
- Stireman, J.O. III, Dyer, L.A., Janzen, D.H., Singer, M.S., Lill, J.T., Marquis, J.R., Ricklefs, R.E., Gentry, G.L., Hallwachs, W., Coley, P.D., Barone, J.A., Greemey, H.F., Connahs, H., Barbosa, P., Morais, H.C. et Diniz, I.R. 2005. Climatic unpredictability and parasitism of caterpillars: implications of global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102: 17384–17386.
- Thomas, C.D., Bodsworth, E.J., Wilson, R.J., Simmons, A.D., Davies, Z.G., Musche, M. et Conradt, L. 2001. Ecological and evolutionary processes at expanding range margins. *Nature*, 411: 577–581.
- Thomas, J.A. 2005. Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360: 339–357.
- Tran, J.K., Ylloja, T., Billings, R.F., Régnière, J. et Ayres, M.P. 2007. Impact of minimum winter temperatures on the population dynamics of *Dendroctonus frontalis*. *Ecological Applications*, 17: 882–899.
- Trotter, R.T. III, Cobb, N.S. et Whitham, T.G. 2008. Arthropod community diversity and trophic structure: a comparison between

- extremes of plants stress. *Ecological Entomology*, 33: 1–11.
- van Asch, M. et Visser, M.E.** 2007. Phenology of forest caterpillars and their host trees: the importance of synchrony. *Annual Review of Entomology*, 52: 37–55.
- Williams, S.E., Bolitho, E.E. et Fox, S.** 2003. Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 270: 1887–1892.
- Wolf, A., Kozlov, M.V. et Callaghan, T.V.** 2008. Impact of non-outbreak insect damage on vegetation in northern Europe will be greater than expected during a changing climate. *Climatic Change*, 87: 91–106. ♦

Le dépérissement des forêts dû au climat: un phénomène planétaire croissant?

C.D. Allen

Une introduction à de nouveaux modèles mondiaux de mortalité des forêts due au climat.

Les forêts, qui couvrent aujourd'hui 30 pour cent des terres émergées de la planète (FAO, 2006), sont transformées rapidement et directement, dans de nombreux endroits, par les impacts de la croissance démographique et de l'essor des économies. Moins évidents sont les effets profonds des changements climatiques en cours sur l'état et la situation des forêts du monde. Des exemples récents de stress et de dépérissement des forêts (défini ici comme un taux de mortalité des arbres clairement plus élevé que les taux habituels), liés à la sécheresse et à la chaleur, font l'objet de documentation dans tous les continents boisés, ce qui permet de commencer à détecter des modèles mondiaux. Le présent article introduit ces modèles et envisage la possibilité que de nombreuses forêts et terres boisées soient menacées aujourd'hui de façon croissante de dépérissement dû au climat. Un article plus exhaustif (Allen *et al.*, 2009) traite de la question de façon beaucoup plus détaillée.

Bien que les événements climatiques puissent endommager les forêts de multiples façons, allant des tempêtes de verglas aux tornades et aux ouragans, l'accent est mis ici sur le stress hydrique climatique, provoqué par la sécheresse et les températures élevées.

LE CLIMAT COMME MOTEUR DE LA CROISSANCE ET DE LA MORTALITÉ DES FORÊTS

Il est reconnu que le climat de la planète subit des changements significatifs causés par l'homme; la température moyenne globale a désormais dépassé la fourchette des températures des 1 300 dernières années au moins (GIEC, 2007). Des variations des modèles de climat bien plus marquées sont prévues pour les décennies à venir dans de nombreuses régions, y compris des températures beaucoup plus élevées

et des modèles altérés des précipitations qui assurent la disponibilité d'eau pour les plantes.

Comme la plupart des forêts du monde sont situées dans des zones où la température, la lumière et les éléments nutritifs limitent la croissance et la productivité des arbres, le réchauffement récent de la planète, les changements de la composition atmosphérique (c'est-à-dire des concentrations accrues de composés azotés et d'anhydride carbonique provenant d'émissions massives d'origine humaine) et les augmentations locales de l'ensoleillement et des précipitations ont favorisé la croissance de nombreuses forêts, au cours des dernières décennies, dans des lieux ne souffrant pas de pénurie d'eau (Boisvenue et Running, 2006).

Par ailleurs, le tiers environ des terres émergées du globe sont actuellement trop arides pour soutenir la croissance d'arbres, et des superficies étendues de forêts et de terres boisées se situent dans des zones climatiques marginales, où la productivité nette de la végétation primaire est fortement limitée par la pénurie d'eau (Boisvenue et Running, 2006). Dans ces zones semi-arides, les forêts peuvent accuser de fortes baisses de croissance ou des augmentations de mortalité dues à la sécheresse ou aux températures en hausse (Peñuelas, Lloret et Montoya, 2001, par exemple), comme c'est le cas pour les espèces forestières aux extrémités les plus arides de leur aire de répartition (Jump, Hunt et Peñuelas, 2006, par exemple).

Cependant, la croissance et la mortalité dans les forêts plus humides du globe – des forêts tropicales humides aux systèmes boréaux – sont aussi très dépendantes de la sécheresse (Clark, 2004; Nepstad *et al.*, 2007; Soja *et al.*, 2007). Les forêts tempérées présentes sur des sites productifs pourraient manifester des baisses

Craig D. Allen travaille avec l'United States Geological Survey, Fort Collins Science Center, Jemez Mountains Field Station, Los Alamos, Nouveau-Mexique (États-Unis).

majeures de croissance, des niveaux élevés de mortalité et des effets pluriannuels retardés en raison de l'extrême sécheresse et du stress thermique, comme on l'a observé partout en Europe depuis la sécheresse et la vague de chaleur de 2003 (Ciais *et al.*, 2005; Breda *et al.*, 2006). Les températures plus élevées peuvent, à elles seules, augmenter le stress hydrique des forêts, indépendamment du volume des précipitations (Barber, Juday et Finney, 2000; Angert *et al.*, 2005). Cela étant, il semble qu'aucune forêt au monde n'échappe aux impacts de la sécheresse.

La mortalité des arbres dépend normalement de multiples facteurs interactifs, allant de la sécheresse aux attaques d'insectes nuisibles et aux maladies, rendant

souvent irréaliste la recherche d'une cause unique. Toutefois, ce sont les facteurs de stress abiotiques qui sont normalement à la base des problèmes de santé de la forêt, le stress climatique étant considéré comme le principal facteur de déclenchement de nombreuses grandes attaques d'insectes et de maladies (Desprez-Loustau *et al.*, 2006; Raffa *et al.*, 2008).

Le stress hydrique déterminé par le climat peut provoquer directement la mortalité des arbres par des effets aigus à court terme, comme la rupture irréversible des colonnes d'eau dans le fût et les feuilles de l'arbre (cavitation). Les espèces arborescentes présentent des variations marquées aux plans de leur résistance et de leur vulnérabilité à la cavitation, un facteur

déterminant de la résistance à la sécheresse. Sous l'effet du stress hydrique, les arbres réduisent au minimum le risque de cavitation par la fermeture des stomates, ce qui diminue les pertes d'eau et la tension consécutive à l'intérieur du xylem. La fermeture des stomates a toutefois son prix, car elle empêche la diffusion du CO₂ dans le feuillage, réduisant par là même la photosynthèse. Le stress hydrique chronique sur de longues périodes affaiblira l'arbre et finira par le tuer, soit directement par la privation de carbone, soit indirectement par les attaques de ravageurs comme les scolytes qui abattent les défenses décroissantes d'arbres frappés de privation chronique (McDowell *et al.*, 2008). Les conditions climatiques influencent aussi directement la dynamique des populations d'insectes et d'agents pathogènes mycosiques (Hicke *et al.*, 2006, par exemple). Ainsi, certaines infestations massives d'insectes forestiers tueurs d'arbres pourraient être attribuées à des facteurs climatiques (Raffa *et al.*, 2008). Indépendamment du mécanisme précis, le dépérissement est souvent un processus non linéaire; il peut se manifester soudainement à l'échelle régionale lorsque les conditions climatiques dépassent les seuils physiologiques de tolérance de l'espèce, ou déclencher des infestations d'insectes nuisibles (Allen, 2007).

De nombreux rapports relient la mortalité accrue des forêts à diverses combinaisons climatiques comprenant la chaleur et/ou la sécheresse, par exemple la sécheresse qui a sévi dans les zones tropicales à la suite d'événements graves liés au phénomène El Niño en 1988 et 1997-1998, le réchauffement persistant et diffus d'une grande partie de l'ouest de l'Amérique du Nord depuis les années 1990, et la sécheresse et vague de chaleur extrêmes de l'été 2003 en Europe occidentale.

MODÈLES MONDIAUX DE DÉPÉRISSEMENT RÉCENT DES FORÊTS

La mortalité des forêts associée à la sécheresse a fait récemment l'objet de documentation dans tous les continents boisés (figure, p. 46); elle concerne divers types de forêts et de zones climatiques. Le dépérissement des forêts généralement communiqué a lieu près des marges géographiques ou altitudinales d'un type de forêt ou d'une espèce forestière (Jump, Hunt et Peñuelas, 2006), vraisemblablement près des seuils

Exemples de mortalité imputable à la sécheresse à l'échelle mondiale

Région/pays	Type de forêt
Afrique	
Algérie	<i>Cedrus atlantica</i>
Namibie	<i>Aloe dichotoma</i>
Sénégal	Espèces d' <i>Acacia</i> , <i>Cordyla</i> , <i>Nauclea</i> et <i>Sterculia</i>
Afrique du Sud	Espèces de <i>Dichrostachys</i> , <i>Pterocarpus</i> et <i>Strychnos</i> dans le nord-est
Ouganda	Espèces d' <i>Uvariopsis</i> et <i>Celtis</i> dans la forêt tropicale humide
Asie et Pacifique	
Australie	Espèces d' <i>Eucalyptus</i> et <i>Corymbia</i> dans le nord-est
Chine	<i>Pinus tabulaeformis</i> dans les régions centrales et de l'est, <i>Pinus yunnanensis</i> dans le sud-ouest
Inde	Espèces d' <i>Acacia</i> , <i>Terminalia</i> et <i>Emblia</i> dans le nord-ouest
Malaisie	Diptérocarpacées dans les forêts tropicales humides de Bornéo
République de Corée	<i>Abies koreana</i>
Fédération de Russie	Espèces de <i>Picea</i> et <i>Pinus</i> dans les forêts tempérées et boréales de Sibérie
Europe	
France	Espèces d' <i>Abies</i> , <i>Fagus</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> et <i>Quercus</i>
Grèce	<i>Abies alba</i> dans le nord
Norvège	<i>Picea abies</i> dans le sud-est
Fédération de Russie	<i>Picea obovata</i> dans le nord-ouest
Espagne	Espèces de <i>Fagus</i> , <i>Pinus</i> et <i>Quercus</i>
Suisse	<i>Pinus sylvestris</i>
Amérique latine et Caraïbes	
Argentine	Espèces d' <i>Austrocedrus</i> et <i>Nothofagus</i> en Patagonie
Brésil	Forêt atlantique tropicale semi-décidue dans le sud-est
Costa Rica	Forêt tropicale humide
Panama	Forêt tropicale humide
Proche-Orient	
Turquie	Espèces de <i>Pinus</i> et <i>Quercus</i> dans la région centrale
Arabie saoudite	<i>Juniperus procera</i>
Amérique du Nord	
Canada	Espèces d' <i>Acer</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> et <i>Populus</i>
États-Unis	Espèces d' <i>Abies</i> , <i>Fraxinus</i> , <i>Juniperus</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Populus</i> , <i>Pseudotsuga</i> et <i>Quercus</i>

Source: Allen *et al.*, 2009 (qui contient des références complètes).

historiques de son adaptation climatique, où on peut s'attendre à la sensibilité la plus marquée aux fluctuations climatiques.

Quelques exemples de mortalité des forêts provoquée par le stress climatique hydrique et thermique depuis 1970, sur la base d'un examen de plus de 120 exemples mondiaux documentés (Allen *et al.*, 2009), sont présentés dans le tableau. Bien que le dépérissement des forêts soit couramment noté dans des régions semi-arides où les arbres sont proches des limites physiologiques de la sécheresse pour la croissance des plantes ligneuses (Fensham, Fairfax et Ward, 2009, par exemple), il est clair que la sécheresse et le stress thermique provoqués par le climat peuvent causer le dépérissement des forêts dans une vaste gamme de types de forêts et de terres boisées dans le monde. Sont particulièrement bien documentés des exemples concernant les zones méridionales d'Europe (Peñuelas, Lloret et Montoya, 2001; Breda *et al.*, 2006) et les forêts tempérées et boréales de l'ouest de l'Amérique du Nord, où les taux de mortalité communiqués ont augmenté rapidement au cours des dernières décennies (van Mantgem *et al.*, 2009) et où la mort diffuse de nombreuses espèces d'arbres dans de multiples types de forêts a touché plus de 10 millions d'hectares depuis 1997 (Breshears *et al.*, 2005; Raffa *et al.*, 2008).

CONSEQUENCES D'UNE MORTALITÉ À GRANDE ÉCHELLE DES FORÊTS

Il est fondamental d'évaluer les possibilités et les conséquences des dépérissements très étendus des forêts provoqués par le climat, car les arbres poussent assez lentement mais peuvent vite mourir. Un arbre de 100 ans pourrait être tué par une sécheresse grave en l'espace de quelques mois à quelques années. De ce fait, la mortalité des forêts déclenchée par la sécheresse peut déterminer des changements rapides de l'écosystème sur d'immenses superficies bien plus rapidement que les transitions progressives qui ont lieu grâce à la régénération et à la croissance de l'arbre. Les impacts sur les utilisations des terres, comme les incendies allumés par l'homme et la fragmentation des forêts, interagissant avec le stress dû au climat, sont susceptibles d'amplifier le dépérissement de la forêt dans certaines régions, par exemple dans le bassin amazonien (Nepstad *et al.*, 2008). Si les écosystèmes forestiers actuels sont forcés

de s'adapter brusquement à de nouvelles conditions climatiques du fait d'un dépérissement massif de la forêt, il en résultera de nombreuses conséquences écologiques et sociales profondes et persistantes, provoquées par la perte de produits forestiers et de services écosystémiques – y compris le piégeage du carbone atmosphérique.

L'une des conséquences d'un dépérissement marqué est la redistribution des réservoirs de carbone au sein de l'écosystème et la libération rapide du carbone dans l'atmosphère. Par exemple, les effets du dépérissement des forêts dus au climat et leur mortalité causée par les insectes et les maladies, ainsi que les impacts des incendies, ont récemment transformé les forêts tempérées et boréales du Canada, autrefois un puits net de carbone, en une source nette de carbone (Kurz *et al.*, 2008). De même, il est possible qu'un effondrement diffus des forêts dû à la sécheresse transforme les forêts tropicales humides de la terre en une vaste source nette de carbone au cours de ce siècle, alors qu'elles étaient un puits net dans le passé (Lewis, 2005).

Vu les risques potentiels du dépérissement des forêts provoqué par le climat, on peut s'attendre à ce que la gestion accorde une attention particulière aux systèmes d'adaptation visant à accroître la résistance et la résilience des forêts à des stress climatiques prévus; citons par exemple la réduction de la densité des peuplements à l'aide de coupes d'éclaircie pour affaiblir la concurrence, l'amélioration de différents génotypes (résistance à la sécheresse) ou le déplacement des espèces pour les adapter aux changements climatiques attendus.

LE DÉPÉRISSEMENT DES FORÊTS – UNE NOUVELLE TENDANCE MONDIALE?

Les forestiers et les écologistes savent de longue date que le stress climatique a des effets prononcés sur la santé des forêts. La prise de conscience de ces questions et l'intérêt porté au dépérissement des forêts produit par le climat ne sont pas nouveaux (Auclair, 1993; Ciesla et Donaubauer, 1994). Il est notoire que la variation naturelle du climat a déclenché dans le passé des épisodes de mortalité répandue des forêts (Swetnam et Betancourt, 1998). On pourrait donc se demander si quelque chose de nouveau ou de différent a lieu maintenant. Certes, la Terre connaît à l'heure actuelle un changement climatique

marqué, rapide et directionnel, impulsé par des altérations humaines considérables et profondes de l'atmosphère et de la superficie des terres et des eaux de la planète (GIEC, 2007). En même temps que ces changements, la mortalité des forêts liée au climat augmente apparemment dans de nombreuses parties du monde. Bien que les preuves disponibles ne soient pas encore concluantes, il est possible que les notifications croissantes de dépérissement ne représentent que le début de fortes intensifications des problèmes mondiaux relatifs à la santé et au dépérissement des forêts. Étant donné les signes de dépérissement déjà communiqués dans le cadre des hausses récentes relativement modestes de la température mondiale moyenne (environ 0,5 °C depuis 1970) et du climat plus sec dans certaines zones (Seager *et al.*, 2007, par exemple), on peut s'attendre à des risques de stress et de mortalité chroniques bien plus importants dans les forêts, car des augmentations beaucoup plus fortes de la température moyenne (de 2 à 4 °C dans l'ensemble et davantage dans certains endroits) et de graves sécheresses régionales et à long terme dans certaines zones sont prévues d'ici à 2100 (GIEC, 2007). Au-delà des variations des conditions climatiques moyennes, d'autres changements climatiques tels que des sécheresses extrêmes, la hausse des températures maximales et des vagues de chaleur prolongées, qui devraient augmenter en fréquence et intensité (GIEC, 2007), pourraient aggraver le dépérissement des forêts.

À l'heure actuelle, un certain nombre d'incertitudes scientifiques et de lacunes dans l'information limitent les conclusions qui peuvent être tirées quant aux tendances de la mortalité des forêts et aux prévisions qu'on peut formuler sur le dépérissement futur des forêts déclenché par le climat. On observe tout d'abord, malgré de nombreux efforts mondiaux et même régionaux de monitoring des forêts, une absence de données mondiales adéquates sur l'état de santé des forêts (FAO, 2006). Il faudrait une surveillance fiable à long terme de la santé des forêts à l'échelle de la planète, associée à des mesures prises par télédétection et sur le terrain, pour déterminer avec précision l'état et les tendances du stress et de la mortalité des forêts du monde, ainsi que pour comprendre les réactions de l'écosystème après des événements causant le dépérissement.

Lieux où sévit une mortalité accrue des forêts liée au stress climatique provoqué par la sécheresse et les températures élevées

Grave mortalité de l'étage dominant du tremble (*Populus tremuloides*), suite à la sécheresse de 2001–2002 dans la zone de la forêt-parc du Saskatchewan, Canada (août 2004)



M. MICHAELIAN

Mortalité de *Pinus sylvestris* due à la sécheresse, Andalousie, Espagne (avril 2006)



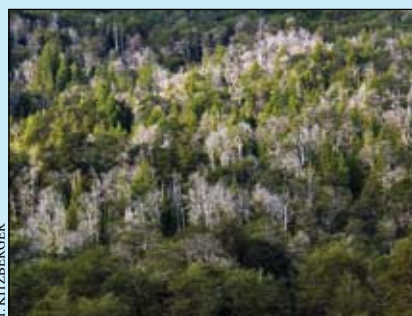
R. NAVARRO



C.D. ALLEN

C.D. ALLEN

Mortalité après une sécheresse chaude au début des années 2000, montagnes de Jemez, Nouveau-Mexique, États-Unis: à gauche, mortalité de *Pinus ponderosa* (juillet 2006); à droite, mortalité massive de *Pinus edulis* et survivants clairsemés de *Juniperus monosperma* (mai 2004)



T. KITZBERGER

Mortalité de *Nothofagus dombeyi*, dans un peuplement mixte composé de *N. dombeyi*–*Austrocedrus chilensis*, due à une sécheresse chaude en 1998–1999, nord de la Patagonie, Argentine (septembre 2004)

Une tempête de poussière souffle à travers un peuplement d'*Acacia albida* dans le Sahel sénégalais, où le dépérissement a fait l'objet de documentation pendant la seconde moitié du XX^e siècle (1993)



P. GONZALEZ

Note: Seuls les lieux indiqués dans le tableau sont présentés; de nombreux autres lieux sont détaillés dans Allen *et al.*, 2009.

Mortalité de *Pinus sylvestris* due au climat,
Valais, Suisse (1999)



A. RIGLING

Mortalité observable dans
un peuplement de *Pinus
yunnaensis*, Province du
Yunnan, Chine, due à une
sécheresse qui a provoqué
des infestations des scolytes
Tomicus yunnanensis et
Tomicus minor entre 2003 et
2005 (juillet 2005)



Z. ZHANG

Mortalité d'*Acacia aneura* due à la
sécheresse, Australie orientale (2007)



R. FENSHAM



H. CHENCHOUNI ET M. BENSACI

A. BRIKI

Mortalité de *Cedrus atlantica* causée par la sécheresse, parc national de Belezma,
Algérie, avec sous-bois survivant comprenant *Quercus ilex* (2007)



FAO/FO-6298/G. ALLARD

Dépérissement et déclin de *Juniperus
procera*, Arabie saoudite (mars 2006)

En deuxième lieu, des données quantitatives adéquates sur les seuils physiologiques de la mortalité d'arbres individuels due au stress hydrique chronique ou aigu ne sont disponibles que pour quelques espèces d'arbres (McDowell *et al.*, 2008), et la vulnérabilité à la température est largement inconnue. En outre, ne sont guère compris de façon détaillée les séquences propres aux lieux et l'écart entre les conditions climatiques moyennes et extrêmes pouvant déclencher la mortalité d'espèces forestières particulières dans des paysages réels, et entraîner potentiellement le dépérissement à grande échelle de la forêt.

Troisièmement, les scientifiques ne connaissent pas assez les réactions en retour et les interactions non linéaires entre le stress des forêts provoqué par le climat et les autres processus climatiques de perturbation, comme les infestations d'insectes et les incendies, qui peuvent causer la mortalité diffuse de la forêt (Allen, 2007).

Ces incertitudes scientifiques concernant les processus fondamentaux de mortalité des arbres représentent une limitation importante à la modélisation quantitative plus précise du dépérissement futur des forêts dû au climat (Huntingford *et al.*, 2008, par exemple). En conséquence, elles limitent aussi la capacité de prévoir les retombées du dépérissement sur l'aptitude potentielle des forêts mondiales à piéger l'excès de carbone atmosphérique ou, autrement, à devenir des sources de carbone et contribuer ainsi à amplifier les changements climatiques (Lucht *et al.*, 2006).

Dans l'ensemble, une surveillance accrue de la santé des forêts du monde et de nouvelles recherches sont nécessaires pour améliorer la certitude scientifique concernant les dangers d'un dépérissement futur des forêts attribuable au climat, afin de fournir des informations plus précises aux décisions stratégiques et à la gestion des forêts dans le monde. ♦



Bibliographie

- Allen, C.D. 2007. Cross-scale interactions among forest dieback, fire, and erosion in northern New Mexico landscapes. *Ecosystems*, 10: 797–808.
- Allen, C.D., Macalady, A., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Gonzales, P., Hogg, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Fensham, R., Zhang, Z., Kitzberger, T., Lim, J.-H., Castro, J., Running, S.W., Allard, G., Semerci, A. et Cobb, N. 2009. Drought-induced forest mortality: a global overview reveals emerging climate change risks. (à publier)
- Angert, A., Biraud, S., Bonfils, C., Henning, C.C., Buermann, W., Pinzon, J., Tucker, C.J. et Fung, I. 2005. Drier summers cancel out the CO₂ uptake enhancement induced by warmer springs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(31): 10823–10827.
- Auclair, A.N.D. 1993. Extreme climatic fluctuations as a cause of forest dieback in the Pacific Rim. *Water, Air and Soil Pollution*, 66(3–4): 207–229.
- Barber, V.A., Juday, G.P. et Finney, B.P. 2000. Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. *Nature*, 405: 668–673.
- Boisvenue, C. et Running, S.W. 2006. Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12(5): 862–882.
- Breda, N., Huc, R., Granier, A. et Dreyer, E. 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 63: 625–644.
- Breshears, D.D., Cobb, N.S., Rich, P.M., Price, K.P., Allen, C.D., Balice, R.G., Romme, W.H., Kastens, J.H., Floyd, M.L., Belnap, J., Anderson, J.J., Myers, O.B. et Meyer, C.W. 2005. Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(42): 15144–15148.
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogee, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A.D., Friedlingstein, P., Grunwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J.M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J.F., Sanz, M.J., Schulze, E.D., Vesala, T. et Valentini, R. 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437(7058): 529–533.
- Ciesla, W.M. et Donaubauer, M.E. 1994. *Decline and dieback of trees and forests: a global overview*. Étude FAO: Forêts n° 120. Rome, FAO.
- Clark, D.A. 2004. Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 359: 477–491.
- Desprez-Loustau, M.-L., Marçais, B., Nageleisen, L.-M., Piou, D. et Vannini, A. 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science*, 63: 597–612.
- FAO. 2006. *Évaluation des ressources forestières mondiales 2005 – Progrès vers la gestion forestière durable*. Étude FAO: Forêts n° 147. Rome.
- Fensham, R.J., Fairfax, R.J. et Ward, D.P. 2009. Drought-induced tree death in savanna. *Global Change Biology*. (Sous presse)
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2007. *Climate change 2007 – the physical science basis*. Contribution du Groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.
- Hicke, J.A., Logan, J.A., Powell, J. et Ojima, D.S. 2006. Changing temperatures influence suitability for modeled mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) outbreaks in the western United States. *Journal of Geophysical Research*, 111: G02019.
- Huntingford, C., Fisher, R.A., Mercado, L., Booth, B.B.B., Sitch, S., Harris, P.P., Cox, P.M., Jones, C.D., Betts, R.A., Malhi, Y., Harris, G., Collins, M. et Moorcroft, P. 2008. Towards quantifying uncertainty in predictions of Amazon «die-back». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 363(1498): 1857–1864.
- Jump, A., Hunt, J.M. et Peñuelas, J. 2006. Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology*, 12: 2163–2174.
- Kurz, W.A., Stinson, G., Rampley, G.J., Dymond, C.C. et Neilson, E.T. 2008. Risk of natural disturbances makes future contribution of Canada's forests to the global carbon cycle highly uncertain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105: 1551–1555.
- Lewis, S.L. 2005. Tropical forests and the changing earth system. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 361: 195–210.
- Lucht, W., Schaphoff, S., Erbrect, T., Heyder, U. et Cramer, W. 2006. Terrestrial

- vegetation redistribution and carbon balance under climate change. *Carbon Balance and Management*, 1: 6.
- McDowell, N., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T., Sperry, J., West, A., Williams, D. et Yezpez, E.A.** 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? Tansley Review. *New Phytologist*, 178: 719–739.
- Nepstad, D.C., Stickler, C.M., Soares-Filho, B. et Merry, F.** 2008. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 363(1498): 1737–1746.
- Nepstad, D.C., Tohver, I.M., Ray, D., Moutinho, P. et Cardinot, G.** 2007. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. *Ecology*, 88(9): 2259–2269.
- Peñuelas, J., Lloret, F. et Montoya, R.** 2001. Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. *Forest Science*, 47: 214–218.
- Raffa, K.F., Aukema, B.H., Bentz, B.J., Carroll, A.L., Hicke, J.A., Turner, M.G. et Romme, W.H.** 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *Bioscience*, 58(6): 501–517.
- Seager, R., Ting, M., Held, I., Kushnir, Y., Lu, J., Vecchi, G., Huang, H.-P., Harnik, N., Leetmaa, A., Lau, N.-C., Li, C., Velez, J. et Naik, N.** 2007. Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science*, 316: 1181–1184.
- Soja, A.J., Tchepakova, N.M., French, N.H.F., Flannigan, M.D., Shugart, H.H., Stocks, B.J., Sukhinin, A.I., Varfenova, E.I., Chapin F.S. et Stackhouse, P.W. Jr.** 2007. Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations. *Global and Planetary Change*, 56(3-4): 274–296.
- Swetnam, T.W. et Betancourt, J.L.** 1998. Mesoscale disturbance and ecological response to decadal climatic variability in the American Southwest. *Journal of Climate*, 11: 3128–3147.
- van Mantgem, P.J., Stephenson, N.L., Byrne, J.C., Daniels, L.D., Franklin, J.F., Fulé, P.Z., Harmon, M.E., Larson, A.J., Smith, J.M., Taylor, A.H. et Veblen, T.T.** 2009. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. *Science*, 323: 521–524. ♦

Les programmes d'amélioration des arbres pour la santé des forêts – peuvent-ils aller de pair avec les changements climatiques?

A. Yanchuk et G. Allard

Les programmes d'amélioration peuvent-ils conférer aux arbres la résistance «générique», afin de contrecarrer les nouvelles maladies et infestations de ravageurs qui pourraient survenir plus rapidement sous l'effet des changements climatiques?

Lorsque les généticiens forestiers étudient les adaptations physiologiques des populations d'arbres forestiers dans le cadre de différents scénarios de changements climatiques, ils doivent aussi tenir compte des impacts probables des nouvelles introductions d'insectes ravageurs et de maladies, ainsi que de l'augmentation des perturbations naturelles provoquées par des ravageurs indigènes. Quels enseignements peuvent être tirés d'investissements faits dans le passé en matière de recherche sur la résistance aux maladies et aux ravageurs et d'amélioration génétique, notamment face aux défis posés par les scénarios de changements climatiques? Peut-on obtenir une résistance générique et générale accrue pour neutraliser les nouveaux ravageurs et les nouvelles maladies qui se déclareront en moins d'une décennie?

Les principaux programmes d'amélioration commerciaux élaborés à l'échelon mondial ont surtout visé à obtenir une

plus grande productivité dans les quelques premières générations d'amélioration génétique, mais ils ont parfois inclus un élément de résistance à un insecte nuisible ou à une maladie. De nombreux individus résistants aux attaques d'insectes et de maladies, et même des gènes de résistance spécifiques, ont été identifiés dans les espèces forestières, et certains sont actuellement utilisés dans les programmes d'amélioration.

Le présent article résume les résultats d'une recherche mondiale menée récemment sur la résistance aux insectes et aux maladies, qui laisse entendre que, même si certains programmes de résistance ciblés ont eu des impacts sensibles sur l'amélioration de la santé des forêts plantées, la plupart des gains n'ont concerné qu'un nombre limité d'espèces d'intérêt commercial particulier et ont mis des décennies à se concrétiser. L'article émet l'opinion que les approches adoptées dans le passé pourraient ne pas convenir face à des chan-

*Comme on estime que le réchauffement du climat augmente les cas de la maladie des bandes rouges des aiguilles (ici dans un pin tordu, *Pinus contorta*), il convient de poursuivre les recherches sur les mécanismes de résistance susceptibles de réduire l'infection provoquée par plusieurs espèces de champignons*



Alvin Yanchuk travaille à la Section des recherches du Service des forêts de la Colombie-Britannique, Victoria, Colombie-Britannique (Canada).

Gillian Allard est forestière (protection des forêts) à la Division de la gestion des forêts, Département des forêts, FAO, Rome.

Liste partielle d'importants programmes mondiaux d'amélioration prévoyant la préparation et la plantation d'arbres forestiers résistants aux insectes nuisibles et aux maladies

Espèce arborescente	Attaques d'insectes nuisibles ou de maladies	Type	Pays
<i>Pinus monticola</i>	<i>Cronartium ribicola</i>	Champignon	États-Unis
<i>Pinus taeda</i>	Maladie de la rouille fusiforme (<i>Cronartium quercuum</i>)	Champignon	États-Unis
<i>Populus</i> spp.	<i>Melampsora</i> spp.; <i>Venturia populina</i> ; <i>Septoria populicola</i>	Maladies, insectes	États-Unis
		Insectes	Chine
		Maladies, insectes	Europe
<i>Salix</i> spp.	Rouille brune	Maladie	Suède
		Maladies, insectes	États-Unis
<i>Pinus radiata</i>	Maladie des bandes rouges des aiguilles (<i>Mycosphaerella pinii</i>)	Champignon	Nouvelle-Zélande
<i>Picea sitchensis</i>	Puceron de l'épinette (<i>Elatobium abietinum</i>)	Insectes	Danemark
<i>Picea glauca</i> et <i>P. sitchensis</i>	Charançon du pin blanc (<i>Pissodes strobi</i>)	Insectes	Canada

gements climatiques rapides; il identifie aussi cinq futurs défis qui pourraient compromettre la capacité des programmes d'amélioration à renforcer la santé des forêts sous un climat en évolution.

INFLUENCE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ATTAQUES D'INSECTES ET DE MALADIES

Les changements climatiques devraient déterminer ou exiger des mouvements à grande échelle d'espèces, et de populations au sein des espèces, vers des zones climatiques où elles ne sont pas nécessairement présentes actuellement. De nouvelles stratégies audacieuses de gestion forestière devront être élaborées pour compenser le retard d'adaptation des espèces et de leurs populations, afin de maintenir la productivité et la santé des forêts. La vigueur et la productivité des arbres seront la première ligne de défense contre les insectes nuisibles et les maladies.

En outre, l'aire de répartition des insectes (la nonne, *Lymantria monacha*, et la spongieuse, *Lymantria dispar*, par exemple) devrait s'étendre suivant plusieurs scénarios de modélisation des changements climatiques (Vanhanen *et al.*, 2007). Les maladies et les insectes nuisibles continuent d'être introduits et d'envahir ou de menacer des zones hors de leur aire de répartition naturelle (Lovett *et al.*, 2006). On estime que le réchauffement du climat est l'une des principales causes des attaques épidémiques de maladies et des infestations de ravageurs indigènes, dont les

dommages catastrophiques sont relativement nouveaux; parmi les exemples récents figurent la maladie des bandes rouges des aiguilles (Woods, Coates et Hamann, 2005) et le dendroctone du pin (Aukema *et al.*, 2008) dans l'ouest du Canada.

RÉSULTATS À CE JOUR DES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION POUR LA RÉSISTANCE

Une enquête sur les documents existants qui vise à évaluer l'efficacité de la recherche sur l'amélioration des arbres pour la résistance aux maladies et aux ravageurs, menée par la FAO en collaboration avec le Service des forêts de la Colombie-Britannique (Canada), a classé les activités selon quatre niveaux de développement des programmes d'amélioration:

- niveau 1 – grands programmes d'amélioration qui ont abouti à la plantation

opérationnelle de matériel résistant (semences de vergers à graines ou autres types de propagules);

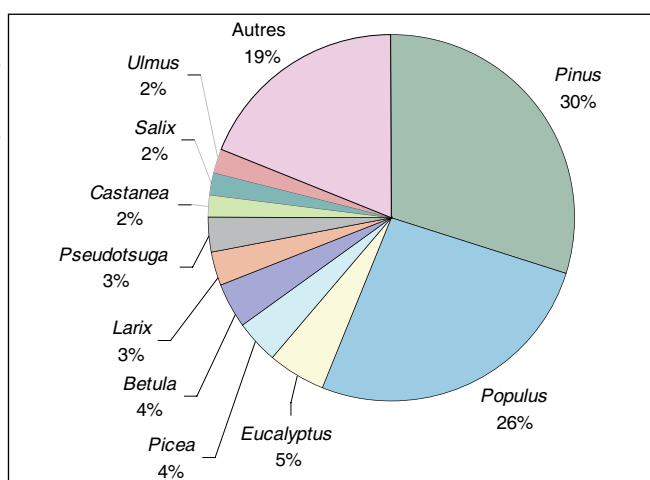
- niveau 2 – grands programmes de recherche ou d'amélioration qui n'ont pas encore abouti à la plantation opérationnelle;
- niveau 3 – grands programmes de recherche ou d'amélioration qui ont identifié une variation génétique de la résistance dans les essais de génétique/provenance;
- niveau 4 – études qui ont identifié une variation génétique de la résistance dans des plantules destinées à la recherche ou à des essais clonaux.

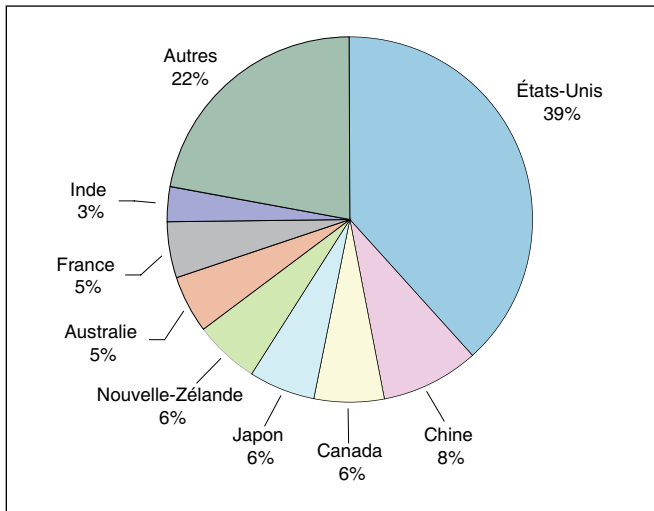
Bien que les approches techniques pouvant être appliquées soient quelque peu prédéterminées par ces niveaux, trois technologies ont également été identifiées pour classer ultérieurement les initiatives:

- méthodes traditionnelles d'amélioration des plantes;
- approches utilisant la biologie moléculaire;
- génie génétique.

Au total, 260 activités relatives à l'amélioration des arbres forestiers pour la résistance aux insectes nuisibles et aux maladies ont été recensées dans cet examen (FAO, 2008). La liste n'avait pas pour objectif de citer toutes les publications sur la résistance d'une espèce donnée, car certains programmes de résistance (à la rouille fusiforme dans *Pinus taeda*, par exemple) ont été décrits dans des centaines de rapports scientifiques. L'intention était plutôt de représenter un échantillon de textes relatifs à chaque domaine du programme. Le tableau résume certains des programmes qui à ce jour ont eu le plus d'impact.

1
Programmes d'amélioration pour la résistance aux insectes ravageurs et aux maladies, par genre d'arbre





2 Programmes d'amélioration pour la résistance aux insectes ravageurs et aux maladies, par pays

Sommaire de l'enquête

Par espèce d'arbre forestier. Trente-six genres d'arbres ont été représentés. Les pins (*Pinus* spp.) et les peupliers (*Populus* spp.) étaient les deux genres qui ont fait l'objet de plus de recherches, représentant ensemble plus de la moitié des activités citées (figure 1).

Les essences forestières les plus étudiées comprenaient *Pinus radiata* (16 activités), *P. taeda* (neuf activités), et *P. monticola* et *P. ponderosa* var. *ponderosa* (six activités chacune). D'autres espèces faisant l'objet d'au moins quatre activités étaient *Picea abies*, *Pinus contorta*, *Betula pendula*, *Cryptomeria japonica*, *Eucalyptus globulus*, *Hevea brasiliensis*, *Pinus lambertiana* et *Populus deltoides*.

Par type et espèce de ravageur. Environ 54 pour cent des activités citées ont étudié la résistance des arbres à des espèces de maladies, 36 pour cent ont ciblé des insectes forestiers nuisibles, et 6 pour cent ces deux espèces de ravageurs. Six activités seulement ont été consacrées à la résistance aux mammifères (environ 2 pour cent), et une activité a eu pour objet la résistance aux nématodes.

Les espèces d'insectes nuisibles le plus couramment ciblées comprenaient *Chrysomela scripta* (cinq activités) et *Pissodes strobi* et *Thecodiplosis japonensis* (quatre activités chacune). Les maladies le plus souvent ciblées comprenaient *Cronartium ribicola* (18 activités) et *Cronartium quercuum* (sept activités). Quatre activités ont concerné chacune *Diplodia pinea*, *Heterobasidion annosum*, *Melampsora larici-populina* et *Ophiostoma ulmi*.

Par pays. La plupart des activités de recherche sont publiées dans les pays développés, avec en tête les États-Unis auxquels sont imputables près de 39 pour cent de toutes les activités (figure 2), bien que certains pays en développement émergents, comme la Chine (8 pour cent environ), l'Inde (3 pour cent) et le Brésil (1 pour cent), soient actifs ou qu'ils aient au moins publié et diffusé quelques résultats.

Par approche. Environ 68 pour cent de la recherche ont concerné les méthodes traditionnelles d'amélioration des plantes. Le génie génétique était le point de presque 15 pour cent des activités, et la biologie moléculaire d'environ 13 pour cent. Près de 5 pour cent des activités avaient utilisé une combinaison des trois approches.

Par niveau du programme d'amélioration.

Environ 63 pour cent de toutes les activités de recherche appartiennent au niveau 4; 22 pour cent au niveau 3; et 6 pour cent seulement au niveau 2. À peine 9 pour cent des activités mentionnées relevaient du niveau 1, c'est-à-dire du niveau de la plantation opérationnelle de matériel résistant; en outre, un grand nombre de ces activités, bien que mises en œuvre par différentes organisations, représentent des travaux réalisés sur les mêmes espèces forestières et concernant les mêmes dommages causés par des ravageurs ou des maladies.

Impact des travaux sur la résistance réalisés dans les forêts plantées

D'une manière générale, l'enquête montre clairement que, malgré le grand nombre de recherches publiées en plus de 50 ans, tirées de centaines d'initiatives ou de programmes de recherche réalisés à l'échelle mondiale, relativement rares sont les programmes qui ont mis au point du matériel résistant adapté à la plantation opérationnelle. Les impacts pratiques des programmes d'amélioration pour la résistance n'ont été documentés que pour quatre ou cinq graves problèmes de ravageurs et de maladies d'intérêt commercial.

Un programme relativement réussi de résistance à la rouille vésiculeuse du pin blanc (*Cronartium ribicola*) en Amérique du Nord; une réaction complexe de l'écorce tue le tissu entourant l'infection dans un arbre de *Pinus strobus* tolérant à la maladie



A. VANCHUK



Sacs d'isolement sur un cèdre rouge de l'ouest (*Thuja plicata*) pour la pollinisation contrôlée servant aux études de résistance au broutage des cerfs

En ce concerne la résistance aux maladies, les deux programmes qui ont eu le plus de succès paraissent être celui qui concerne l'amélioration pour la résistance à la rouille fusiforme dans *Pinus taeda* et *Pinus elliotii* dans le sud des États-Unis, et les programmes de résistance à la rouille vésiculeuse du pin blanc dans la région de «l'empire interne» du sud de la Californie et le Pacifique Nord-Ouest en Amérique du Nord. La résistance de *Pinus lambertiana* à la rouille vésiculeuse en Californie et dans le sud de l'Orégon aux États-Unis est également notable. La documentation la plus ample en termes de succès a concerné la résistance à la rouille fusiforme; la valeur moyenne des plantations établies avec *P. taeda* résistant à la maladie a augmenté, passant de 6 à 40 pour cent, par rapport aux plantations établies avec du matériel susceptible, alors que les améliorations pour *P. elliotii* allaient de 40 à 90 pour cent (Brawner *et al.*, 1999).

Les gains obtenus grâce aux programmes de première génération utilisant du matériel avec un gène de résistance moins marqué dans *Pinus strobus* vont de 3 à 70 pour cent de survie (avec un des rares exemples de gène de résistance dans *Pinus lambertiana* et *P. monticola* en supposant 100 pour cent de survie dans la situation la plus simple [Kinloch *et al.*, 1999]). Il est possible que ces chiffres soient sous-estimés car le taux de survie du matériel planté plus récemment pourrait être supérieur; néanmoins, les résultats indiquent clairement que les gains génétiques sont réalisables et importants.

Plusieurs programmes (résistance à la flétrissure du châtaigner, par exemple)

paraissent sur le point d'avoir de nouveaux matériels prêts à l'emploi; toutefois, il faudra beaucoup de temps avant que leurs impacts écologiques ou économiques puissent être évalués. Des lignées résistantes à la maladie des bandes rouges des aiguilles dans *Pinus radiata* ont été développées, mais le problème a été largement traité dans le cadre de pratiques sylvicoles (Mead, 2005).

Par rapport aux programmes de résistance aux maladies, les programmes concernant les ravageurs sont moins bien développés et ont produit moins de matériel utilisable dans les grands projets de reboisement, bien que beaucoup de travail ait été réalisé dans ce domaine (comme le montre le tableau). L'enquête n'a indiqué que deux programmes utilisant des méthodes traditionnelles d'amélioration des plantes pouvant appartenir au niveau 1, l'un pour la résistance au puceron de l'épinette

(*Elatobium abietum*) (Harding, Rouland et Wellendorf, 2003) en Europe, et l'autre pour la résistance au charançon de l'épinette (*Pissodes strobi*) en Colombie-Britannique (Canada) (King *et al.*, 1997). Les travaux utilisant du matériel transgénique pour la résistance aux insectes foreurs des tiges et phytophages vont en augmentant; la plantation opérationnelle de ce matériel n'en est encore qu'à ses débuts, mais elle a été mentionnée pour les peupliers en Chine (Ewald, Hu et Yang, 2006). Les travaux sur la résistance d'*Eucalyptus* à un certain nombre d'insectes phytophages se multiplient, mais, à la connaissance des auteurs, la résistance n'a pas été incorporée dans le matériel planté à des fins commerciales.

Beaucoup de temps et de ressources ont été investis pour obtenir des génotypes résistants, acquérir de l'expérience dans leur utilisation et exercer des impacts sur la santé des plantations. Le démarrage d'un programme d'amélioration pour une espèce arborescente, ne fût-ce que pour quelques caractéristiques simples, exige un nombre bien plus élevé d'années que pour une espèce cultivée. Vu la longueur du processus comprenant la sélection du matériel génétique destiné aux essais de terrain, la production du matériel d'essai, l'établissement de l'essai et les mesures à prendre à des âges appropriés, la sélection du matériel le plus adapté et l'établissement dans des vergers à graines, il n'est guère surprenant que les programmes réussis aient mis une ou deux décennies, voire davantage, pour identifier et obtenir la résistance génétique utile du point de vue sylvicole.

Les larves du charançon de l'épinette (*Pissodes strobi*) migrent le long de la pousse apicale pour anneler et tuer la cime de l'arbre; un programme d'amélioration contre ce ravageur, dans l'ouest du Canada, est l'un des rares programmes élaborés pour la résistance aux insectes qui ait atteint le stade de la plantation opérationnelle





Quelques pins tordus survivant au dendroctone du pin dans un essai sur une famille jeune (20 ans); les hauts niveaux d'attaque dans les opérations de recherche sur le terrain à si long terme représentent normalement un important premier «criblage génétique» pour la résistance aux insectes mangeurs d'écorce

OBTENIR DES RÉSULTATS EFFICACES DANS UN CLIMAT EN ÉVOLUTION: LES DÉFIS

Difficulté à trouver des mécanismes particuliers qui expliquent la résistance des plantes ou des arbres

Bien que de nombreuses caractéristiques de résistance aux insectes nuisibles ou aux maladies peuvent être dénombrés assez facilement en observant la présence ou l'absence du ravageur ou de la maladie sur un arbre individuel, des évaluations phénotypiques détaillées de la réaction de l'hôte ou du comportement du ravageur (se posant sur un arbre et le quittant ensuite, par exemple) sont nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes généraux de résistance en jeu.

Des décennies de recherche sur les insectes phytophages dans *Betula pubescens* (Haukioja, 2003, par exemple) ont mis en évidence une large gamme de variations dans le bouleau qui peuvent conférer la résistance. Il y a, par exemple, un grand nombre d'éléments de la feuille qui changent au cours de la période de végétation; le niveau de résistance varie suivant les espèces phytophages; et on a constaté que de simples changements dans les éléments nutritifs, la teneur en eau et la dureté de la feuille étaient aussi importants que n'importe quel profil anatomique ou

chimique plus complexe et détaillé dans les génotypes du bouleau (Riipi *et al.*, 2005). Identifier les mécanismes de la résistance qui peuvent conférer à des classes d'insectes nuisibles ou de maladies quelques résistances générales, et incorporer ces données dans des programmes susceptibles de livrer du matériel génétique résistant, sera difficile mais extrêmement précieux. Le développement de la résistance générale devient d'autant plus important si on ne peut pas prévoir les espèces d'insectes nuisibles ou d'agents pathogènes futurs qui apparaîtront suite aux changements climatiques.

Transférer la recherche sur les arbres sauvages aux arbres de lignée connue dans les programmes d'amélioration génétique

Les études portant sur des arbres dans leur milieu naturel n'aideront pas nécessairement les programmes d'amélioration à produire du matériel génétique plus résistant. Une recherche approfondie sur l'interaction entre les insectes nuisibles ou les maladies et les arbres hôtes dans les espaces naturels est importante à des fins de modélisation (taux de propagation et impacts dans les forêts naturelles, par exemple) et présente un intérêt au plan de l'évolution. Toutefois, il pourrait s'avérer impossible de transférer les résultats à des espèces ou populations qui ont fait l'objet d'une migration artificielle dans le cadre de stratégies d'adaptation aux changements climatiques (Millar, Stephenson et Stephens, 2007). Les travaux qui utilisent du matériel de lignée connue provenant de programmes d'amélioration – si ce matériel est disponible et testé vis-à-vis de différents ravageurs ou maladies – permettraient aussi de fournir les informations de base servant aux modèles d'impact sur le peuplement ou le paysage.

Ressources décroissantes affectées à l'amélioration génétique traditionnelle des arbres forestiers

Malgré les progrès spectaculaires réalisés à ce jour par certains programmes, il est probable qu'une quantité plus limitée de ressources sera affectée à l'avenir à l'étude d'interactions hôte-ravageur particulières dans les programmes classiques d'amélioration. Dans l'ensemble, la formation traditionnelle en matière de génétique quantitative – un ensemble de compéten-

ces nécessaires pour l'amélioration des arbres – a accusé une baisse (Eisen, 2008; Knight, 2003; Morris, Edmeades et Pehu, 2006). En outre, de nombreux programmes, parmi les plus réussis et importants, d'amélioration des arbres ont beaucoup de peine à poursuivre leurs travaux à cause des profonds changements financiers et structurels survenus dans l'industrie forestière (Byram, Miller et Raley, 2006). Les ressources disponibles pour la recherche devront être consacrées à la mise à l'essai, au développement et à l'utilisation de résistances susceptibles de contrecarrer les défis inconnus actuels et futurs. La résistance croisée, c'est-à-dire contre de nombreuses classes d'insectes ou de maladies (Andrew *et al.*, 2007, par exemple), identifiée et testée de façon adéquate, pourrait s'avérer très utile à l'avenir.

Adapter les investissements dans la recherche en matière de biologie moléculaire et de génomique

Les énormes sommes investies dans la biologie moléculaire, dans de nombreux pays, tout en étant d'un grand intérêt scientifique, doivent être mieux corrélées avec les programmes appliqués. L'enquête a constaté que 13 pour cent environ des initiatives utilisaient des techniques de

Test de provenance de pin tordu à l'âge de 30 ans; les essais de terrain comme ceux-ci ont servi à étudier les effets des changements climatiques sur la variation génétique adaptative de la croissance potentielle, et la résistance aux ravageurs et aux maladies de populations d'arbres forestiers





A. YANCHUK

Boutures de Populus trichocarpa prélevées dans une pépinière et destinées à des essais de terrain; les peupliers sont largement utilisés en génomique et pour les essais de modification génétique, mais des études de terrain de base sont encore nécessaires à long terme pour étudier les niveaux naturels de résistance et d'adaptation aux changements climatiques

biologie moléculaire. Les informations dans le domaine de la génomique évoluent rapidement, et de nombreux produits ou outils seront sans doute d'un grand intérêt pour les généticiens. Ainsi, il pourrait être possible de réduire le nombre des éléments clés (familles de gènes, par exemple) intervenant dans la résistance, tels qu'un composé de la biosynthèse et de la production de résines terpénoïdes, les expressions des alcaloïdes, la production de résine traumatique, la formation de canaux résinifères ou de barrières physiques, comme l'épaisseur de l'écorce ou les cellules pierreuses. Cependant, le défi majeur consistera à établir les liens corrects entre les marqueurs, les mesures des expressions géniques et les expressions phénotypiques de la caractéristique dans de grandes populations d'arbres forestiers de lignée connue, puis déterminer comment les réactions ou les caractéristiques des arbres influencent les réactions du ravageur ou de l'agent pathogène.

Rôle des arbres transgéniques

Les techniques de modification génétique peuvent résoudre temporairement quelques problèmes particuliers concernant les ravageurs, mais on ne doit les considérer que comme un seul outil dans des programmes d'amélioration bien développés. Étant donné que les arbres sont plantés à travers les paysages et que les changements climatiques imposeront des complexités supplémentaires, des tests de terrain adéquats dans l'espace et le temps seront nécessaires pour garantir que l'expression génique est stable dans différents génotypes. Cependant, pour des essences

à courte rotation comme le peuplier, il pourrait être possible de gérer les arbres transgéniques à l'aide d'approches semblables à celles qu'on utilise actuellement pour les cultures agricoles.

SOMMAIRE ET CONCLUSIONS

Les résultats de l'enquête mettent en évidence trois questions. Tout d'abord, du moment que le «temps de réaction» nécessaire à la mise au point de solutions génétiques pour la résistance aux insectes nuisibles et aux maladies a été normalement de l'ordre de plusieurs décennies, cette approche sera-t-elle valable dans un monde au climat en évolution rapide? D'après les auteurs, la réponse est probablement négative. Il pourrait donc être nécessaire d'élaborer des stratégies susceptibles de fournir quelques résistances «préemptives» ou générales.

Deuxièmement, en l'absence des délais nécessaires pour savoir quels insectes ou maladies menaceront les forêts à l'avenir, existe-t-il de meilleures formes ou classes «génériques» de résistance qui pourraient être développées à l'avance pour neutraliser diverses catégories d'insectes ou de maladies? Il serait hautement souhaitable, si possible, d'identifier des mécanismes de résistance plus abordables permettant aussi de réduire le cycle de la conception à l'exécution par rapport à la situation actuelle.

Troisièmement, les mécanismes de résistance utilisés aujourd'hui seraient-ils à même d'assurer une protection contre de nouveaux ravageurs ou maladies?

Bien qu'on ne doive pas s'attendre à ce qu'un type général de résistance croisée

fasse normalement partie des mécanismes de résistance (Panda et Khush, 1995; Riipi *et al.*, 2005), il pourrait s'avérer important de chercher à comprendre le niveau de variation actuel dans des arbres parents d'élite choisis produisant les semences et les populations génétiques. La réduction du nombre de génotypes que les chercheurs devraient utiliser, et qu'ils peuvent se permettre, devrait être modérée par la difficulté de contenir davantage de caractéristiques (Verry, 2008), notamment s'il existe des corrélations génétiques négatives entre les caractéristiques recherchées. En outre, la résistance n'entraîne pas nécessairement un coût physiologique (King *et al.*, 1997, par exemple), si bien que les mécanismes de résistance qui sont corrélés positivement avec la croissance seraient aussi désirables.

En résumé, après cinq décennies de recherches sur la résistance des arbres aux insectes nuisibles et aux maladies, l'amélioration pour la résistance a eu d'importants impacts au niveau local; toutefois, les succès concernent essentiellement quelques grands programmes commerciaux qui ont d'importantes ressources et structures permettant d'obtenir des gains.

À l'avenir, les organismes de financement et les chercheurs devront peut-être consacrer des ressources et des capacités de recherche décroissantes à des espèces pour lesquelles les options sylvicoles visant à atténuer les pertes dues aux attaques des ravageurs et des maladies sont limitées. La recherche devrait aussi se focaliser sur les génotypes qui sont déjà présents dans les programmes d'amélioration, ou qui pourraient former la base d'un programme.

Une meilleure concordance entre les programmes de recherche en matière de génétique forestière et de santé des forêts sera nécessaire, si les programmes d'amélioration des arbres traditionnels doivent tirer parti d'investissements antérieurs dans la recherche sur la résistance aux insectes et aux maladies, et contribuer à atténuer les impacts négatifs prévus des changements climatiques sur la productivité et la santé des forêts. Cela pourrait s'avérer impératif vu les prévisions de dangers accrus provoqués à l'avenir par les ravageurs et les maladies. ♦



Bibliographie

- Andrew, R., Wallis, I., Harwood, C., Henson, M. et Foley, W.** 2007. Heritable variation in the foliar secondary metabolite sideroxylonal in *Eucalyptus* confers cross-resistance to herbivores. *Oecologia*, 153(4): 891–901.
- Aukema, B.H., Carroll, A.L., Zheng, Y., Zhu, J., Raffa, K.F., Moore, D., Stahl, K. et Taylor, S.W.** 2008. Movement and outbreak populations of mountain pine beetle: influences of spatiotemporal patterns and climate. *Ecography*, 31: 348–358.
- Brawner, J.T., Carter, D.R., Huber, D.A. et White, T.L.** 1999. Projected gains in rotation-age volume and value from fusiform rust resistant slash and loblolly pines. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 737–742.
- Byram, T.D., Miller, L.G. et Raley, E.M.** 2006. *Fifty-fourth progress report of the cooperative forest tree improvement program*. College Station, Texas, États-Unis, Texas Forest Service, Texas A&M University.
- Eisen, E.J.** 2008. Can we rescue an endangered species? *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 125: 1–2.
- Ewald, D., Hu, J. et Yang, M.** 2006. Transgenic forest trees in China. In M. Fladung et D. Ewald, éd. *Tree transgenics: recent developments*, p. 25–45. Berlin et Heidelberg, Allemagne, Springer-Verlag.
- FAO.** 2008. *Selection and breeding for insect and disease resistance*. Disponible sur Internet: www.fao.org/forestry/26445
- Harding, S., Rouland, H. et Wellendorf, H.** 2003. Consistency of resistance by the spruce green aphid in different ontogenetic stages of Sitka spruce. *Agricultural and Forest Entomology*, 5(2): 107.
- Haukioja, E.** 2003. Putting the insect into the birch–insect interaction. *Oecologia*, 136: 161–168.
- King, J.N., Yanchuk, A.D., Kiss, G.K. et Alfaro, R.I.** 1997. Genetic and phenotypic relationships between weevil (*Pissodes strobi*) resistance and height growth in spruce populations of British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 27: 732–739.
- Kinloch, B.B., Snieszko, R.A., Barnes, G.D. et Greathouse, T.E.** 1999. A major gene for resistance to white pine blister rust in western white pine from the western Cascade Range. *Phytopathology*, 89: 861–867.
- Knight, J.** 2003. Crop improvement: a dying breed. *Nature*, 421: 568–570.
- Lovett, G.M., Canham, C.D., Arthur, M.A., Weathers, K.C. et Fitzhugh, R.D.** 2006. Forest ecosystem responses to exotic pests and pathogens in eastern North America. *Bioscience*, 56: 395–405.
- Mead, D.J.** 2005. Opportunities for improving plantation productivity – how much? how quickly? how realistic? *Biomass and Bioenergy*, 28: 249–266.
- Millar, C.I., Stephenson, N.L. et Stephens, S.L.** 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, 17: 2145–2151.
- Morris, M., Edmeades, G. et Pehu, E.** 2006. The need for plant breeding capacity: what roles for the public and private sectors. *HortScience*, 41: 30–39.
- Panda, N. et Khush, G.S.** 1995. *Host plant resistance to insects*. Wallingford, Royaume-Uni, CAB International.
- Riipi, M., Kause, A., Haukioja, E., Ossipov, V., Ossopova, S. et Pihlaja, K.** 2005. Variable responses of folivorous sawflies to leaf quality of mountain birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: 189–198.
- Vanhanen, H., Veteli, T.O., Pailinen, S., Kellomaki, S. et Niemala, P.** 2007. Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth – a model study. *Silva Fennica*, 41: 621–638.
- Verry, S.D.** 2008. Breeding for wood quality – a perspective for the future. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 38: 5–13.
- Woods, A., Coates, K.D. et Hamann, A.** 2005. Is an unprecedented *Dothistroma* needle blight epidemic related to climate? *Bioscience*, 55: 761–769. ♦

Adaptation aux changements climatiques dans les forêts nationales des États-Unis

G.M. Blate, L.A. Joyce, J.S. Littell, S.G. McNulty, C.I. Millar, S.C. Moser, R.P. Neilson, K. O'Halloran et D.L. Peterson

Un examen des systèmes d'adaptation aux changements climatiques appliqués aux États-Unis offre des informations pratiques aux gestionnaires de ressources, afin de les aider à adapter leurs objectifs et pratiques de gestion forestière aux impacts prévus des changements climatiques.

Les changements climatiques influencent déjà les forêts et d'autres écosystèmes, et on s'attend à de nouveaux impacts probablement encore plus graves (GIEC, 2007; CCSP, 2008a, 2008b). De ce fait, les gestionnaires forestiers cherchent des directives pratiques leur permettant d'adapter leurs systèmes actuels et, le cas échéant, leurs objectifs. L'adaptation des écosystèmes forestiers, qui dans ce contexte se rapporte aux ajustements de la gestion (par opposition à l'adaptation «naturelle»), réduirait théoriquement les impacts négatifs des changements climatiques et aiderait les gestionnaires à profiter des éventuels impacts positifs.

Le présent article résume les points clés d'un examen des systèmes d'adaptation aux changements climatiques utilisés dans

les forêts nationales des États-Unis (Joyce *et al.*, 2008), produit sous les auspices du Programme scientifique des États-Unis sur les changements climatiques (CCSP) (voir l'encadré). L'étude a cherché à fournir aux gestionnaires de ressources des informations pratiques sur des systèmes d'adaptation potentiels en posant les questions suivantes:

- Comment les changements climatiques influenceront-ils la capacité des gestionnaires de ressources à réaliser leurs objectifs de gestion?
- Que pourrait faire un gestionnaire de ressources pour préparer un système de gestion des impacts des changements climatiques, tout en maintenant les objectifs actuels (et en vérifiant constamment si ces objectifs ont besoin d'être modifiés ou réévalués)?

Programme scientifique sur les changements climatiques et systèmes d'adaptation pour les forêts nationales

Le Programme scientifique des États-Unis sur les changements climatiques (CCSP) (voir www.climate-science.gov) vise à faire mieux comprendre l'évolution du climat de la Terre, le rôle de l'homme dans ces changements et les moyens que possède la société pour atténuer leurs impacts et s'y adapter. Il comprend cinq objectifs stratégiques:

- améliorer les connaissances sur le climat passé et actuel;
- améliorer la quantification des facteurs qui déterminent les changements climatiques;
- réduire l'incertitude des projections sur le climat;
- comprendre la sensibilité et l'adaptabilité des systèmes humains aussi bien que des écosystèmes naturels et gérés;
- analyser les utilisations et les limites des connaissances pour gérer les risques et les opportunités inhérents aux changements climatiques.

Pour réaliser ces objectifs, le CCSP a sollicité la préparation de 21 outils de synthèse et d'évaluation. L'outil 4.4, mis en œuvre par l'Agence des États-Unis pour la protection de l'environnement (USEPA), a examiné les adaptations possibles de la gestion pour des écosystèmes et des ressources sensibles au climat. Reconnaissant que le succès de l'adaptation dépendra du contexte, l'outil 4.4 a examiné les options relatives à un ensemble de ressources en terres et en eau soumis à une gestion fédérale: parcs nationaux, forêts nationales, refuges pour la faune sauvage et les poissons, paysages naturels panoramiques de cours d'eau, zones marines protégées et estuaires côtiers.

Geoffrey M. Blate était boursier de l'American Association for the Advancement of Science (AAAS) à l'Agence des États-Unis pour la protection de l'environnement (USEPA) lorsqu'il a rédigé le rapport présenté dans cet article; il travaille actuellement pour le Fonds mondial pour la nature (WWF), Greater Mekong Program, Chulalongkorn University, Bangkok (Thaïlande). L.A. Joyce, S.G. McNulty, C.I. Millar, R.P. Neilson, K. O'Halloran et D.L. Peterson font partie, respectivement, du Service des forêts des États-Unis à Fort Collins, Colorado; Raleigh, Caroline du Nord; Albany, Californie; Corvallis, Oregon; Olympia, Washington; et Seattle, Washington. J.S. Littell travaille pour le Climate Impacts Group, Center for Science in the Earth System (CSES), Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO), University of Washington, Seattle, Washington (États-Unis). Susanne C. Moser possède une compagnie de recherche et consultations à Santa Cruz, Californie, et elle est assistante à la recherche à l'Université de Californie, Santa Cruz (États-Unis).

IMPACTS ATTENDUS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES OBJECTIFS DE GESTION FORESTIÈRE DES ÉTATS-UNIS

Les changements climatiques influenceront directement les services écosystémiques procurés par les forêts nationales, et intensifieront les impacts des facteurs actuels de stress, naturels ou d'origine humaine. Les incendies de forêt, les espèces envahissantes indigènes et exotiques et les événements climatiques extrêmes sont les facteurs de

stress les plus graves que les changements climatiques amplifieront dans les forêts nationales. L'enneigement réduit, la fonte précoce des neiges et l'altération de l'hydrologie, associés à des températures plus élevées et des variations dans le régime des précipitations, compliqueront la gestion des eaux, notamment dans les États de l'ouest, et influenceront d'autres services de l'écosystème que les forêts nationales fournissent (occasions de loisirs d'hiver, par exemple). La sécheresse pourrait être

plus difficile à gérer dans l'ensemble du pays. Bien que l'augmentation de l'anhydride carbonique atmosphérique et la hausse des températures puissent renforcer à court terme la productivité des forêts si l'eau et l'azote ne viennent pas à manquer, l'ozone et d'autres polluants industriels, en combinaison avec l'intensification du stress climatique, diminueront probablement la croissance des arbres et nuiront gravement à l'état des bassins versants.

Pour réaliser ses objectifs de soutien à

Impacts du changement climatique sur les objectifs de gestion forestière du Service des forêts des États-Unis

Objectifs	Résultats souhaités ou visés	Impacts possibles du changement climatique	Systèmes d'adaptation
Restaurer, soutenir et renforcer les forêts nationales	Maintenir la santé, la productivité et la diversité des forêts et leur résistance à de graves perturbations	Périodes de végétation plus longues et plus chaudes Altération des régimes des incendies Saisonnalité modifiée des processus hydrologiques Sécheresses intenses	Réduire les amas de combustibles dans les forêts Utiliser davantage les feux de friches Renforcer la détection rapide et les stratégies de réponse relatives aux espèces envahissantes exotiques
Fournir et maintenir des avantages pour les populations du pays	Assurer des avantages socioéconomiques multiples pour répondre aux besoins à long terme de la société, y compris un approvisionnement fiable en produits forestiers et ressources énergétiques, et la conservation des produits d'intérêt commercial	Interaction du changement climatique avec des facteurs de stress actuels, comme les insectes nuisibles et les maladies, les incendies, l'héritage des gestions précédentes et la pollution atmosphérique Changements dans la composition des espèces forestières Incidence accrue de l'érosion qui compromet les conditions des bassins versants	Redoubler d'efforts pour réduire les facteurs de stress actuels Incorporer les changements climatiques à long terme dans la planification des feux de friches Mettre au point des traitements sylvicoles pour réduire le stress dû à la sécheresse Réviser les lignes d'orientation en matière de génétique pour les opérations de reboisement
Conserver des espaces ouverts	Maintenir les avantages environnementaux, sociaux et économiques procurés par les forêts, en protégeant ces ressources contre leur conversion à d'autres utilisations, et en aidant les propriétaires terriens privés et les communautés à gérer leurs terres comme forêts durables	Dépérissement à grande échelle des forêts ou conversion de la végétation suite à des événements extrêmes plus fréquents Altération des paysages et de la dynamique de succession Augmentation de la fragmentation des écosystèmes forestiers et des habitats de la faune sauvage	Fournir une assistance technique aux forestiers urbains pour l'entretien des arbres des villes Créer des couloirs pour la migration des espèces et la protection des habitats
Soutenir et multiplier les occasions de récréation en plein air	Maintenir des possibilités de récréation en plein air d'une qualité élevée, dans les forêts nationales accessibles au public	Hausse des températures de l'air et des cours d'eau Réduction de l'enneigement Altération du débit des cours d'eau	Évaluer l'impact des loisirs sur les écosystèmes sous un climat en évolution Augmenter les occasions de loisirs pendant les quatre saisons de l'année Tracer à nouveau les routes et les pistes pour faire face à l'intensité accrue des précipitations
Maintenir les capacités de gestion de base du Service des forêts	Établir des structures administratives, des systèmes d'information et des stratégies de gestion des régimes de propriété pour affronter les graves risques qui menacent les ressources naturelles	Accessibilité limitée ou absence d'informations à jour concernant les projections du changement climatique, les impacts sur les écosystèmes et les impacts socioéconomiques sur les communautés locales Incertitude relative à ces informations	Renforcer les connaissances techniques en préparant du matériel pédagogique à l'intention des employés et des parties prenantes Incorporer les changements climatiques dans les processus de planification Renforcer les partenariats de recherche
Promouvoir l'engagement des citoyens urbains	Assurer un meilleur accès aux avantages à long terme environnementaux, sociaux, économiques et autres, fournis par le Service des forêts	Aggravation du stress imposé par les milieux urbains aux écosystèmes du fait de la hausse des températures Risques accrus d'incendies de forêt et de sécheresse dans les paysages environnants, qui pourraient compromettre la capacité de maintenir la qualité et la disponibilité de l'eau	Élargir les programmes d'éducation à la conservation pour y inclure les changements climatiques Chercher des occasions pour fournir aux visiteurs des forêts nationales des informations sur les changements climatiques
Fournir du matériel et des outils scientifiques pour la gestion durable des ressources naturelles	Faire en sorte que les meilleurs outils et connaissances scientifiques soient à la base des décisions du Service des forêts en matière de gestion	Nécessité d'outils de gestion qui incorporent des considérations sur les changements climatiques Nécessité de réviser les pratiques de gestion actuelles, fondées sur des hypothèses concernant les écosystèmes et le climat, qui pourraient ne pas être valables à l'avenir	Resserrer les relations entre les chercheurs scientifiques et les gestionnaires pour aider à identifier les seuils de résilience d'espèces clés et de processus écosystémiques, déterminer quels seuils seront dépassés, accorder la priorité aux projets plus susceptibles de réussir, et identifier les espèces et les formes de végétation tolérantes à de plus fortes perturbations.



Mortalité de la forêt subalpine dans la Sierra Nevada californienne – l'une des «surprises» du changement climatique auxquelles il faut maintenant s'attendre (pin blanc d'Amérique, Pinus albicaulis)

la santé, à la diversité et à la productivité de l'écosystème, en vue de répondre aux besoins des générations présentes et futures, le Service des forêts des États-Unis a identifié sept objectifs stratégiques pour 2007-2012. Les impacts des changements climatiques rendront plus complexe la réalisation de ces objectifs (tableau). En outre, les sept objectifs sont tous reliés d'une façon ou d'une autre aux conditions présentes ou souhaitées de l'écosystème, ce qui à l'avenir pourrait être difficile, voire impossible, à maintenir si les conditions évoluent. La sensibilité de chaque objectif aux changements climatiques dépendra de plusieurs facteurs, y compris le caractère temporel et spatial des changements climatiques, leurs impacts sur des écosystèmes forestiers nationaux particuliers, les effets des activités humaines sur ces écosystèmes et la mesure dans laquelle les systèmes de gestion forestière actuels se fondent sur des hypothèses dépassées concernant le climat.

SYSTÈMES D'ADAPTATION

Des approches réactives et proactives peuvent être adoptées pour affronter les impacts des changements climatiques dans les forêts nationales. Une approche réactive peut se justifier si l'incertitude ou les coûts sont estimés très élevés par rapport aux impacts et risques prévus, ou bien si on estime que des économies et

avantages importants se réaliseraient si les interventions n'étaient entreprises qu'après la venue d'une perturbation due au climat (par exemple, reboisement d'une zone à l'aide d'essences plus résistantes au feu ou à la sécheresse, après un incendie ou une infestation d'insectes attribuable à la sécheresse).

Cependant, dans de nombreux cas, les approches proactives – qui incorporent des systèmes d'adaptation dans les processus de gestion et de planification avant que des événements liés au climat ne provoquent de profonds changements dans l'écosystème – pourraient s'avérer moins coûteuses et plus aptes à réaliser les objectifs actuels de la gestion des forêts. Les éléments clés d'une approche proactive de l'adaptation aux changements climatiques sont notamment les suivants :

- réexaminer ou identifier – et modifier le cas échéant – les objectifs de la gestion des forêts;
- évaluer les contraintes imposées par les changements climatiques à la réalisation de ces objectifs et à la mise en œuvre des activités planifiées à cette fin;
- surveiller les écosystèmes et les réactions de la gestion forestière pour fournir des informations sur lesquelles fonder l'évaluation de la vulnérabilité et du risque;

- incorporer l'élément d'incertitude quant aux impacts précis des changements climatiques dans les approches de la gestion des forêts;
- préparer un dossier ou une boîte à outils de stratégies de gestion des forêts.

Ce type d'approche exige le renforcement de la coordination et des contributions des institutions et des parties prenantes, à cause notamment des modèles irréguliers du régime de propriété dans les forêts nationales des États-Unis et aux alentours (figure), du haut niveau de fragmentation du paysage et du fait que le quart de toutes les forêts nationales sont affectées légalement à des utilisations portant plus spécifiquement sur la gestion des espaces naturels ou des paysages naturels panoramiques de cours d'eau. D'autres approches proactives devront être évaluées continuellement à mesure que le climat évolue et que les systèmes écologiques y répondent; ces changements constants pourraient aussi imposer la modification des objectifs de la gestion forestière.

Un dossier de stratégies de gestion des forêts sera nécessaire, afin que soit utilisé l'outil approprié au contexte particulier de la gestion. Vu la diversité des écosystèmes dans les forêts nationales, un seul système d'adaptation ne suffira pas. Le dossier

Des propriétés fragmentées dans les forêts nationales des États-Unis et aux alentours soulignent l'importance d'une coordination renforcée des parties prenantes et de l'adoption d'approches proactives en matière d'adaptation aux changements climatiques, par exemple pour garantir un paysage continu permettant la migration des espèces





Un enneigement réduit, des températures plus chaudes et un régime changeant des précipitations compliqueront la gestion des eaux; une situation typique de la fin de juillet ou du début d'août était observable en Californie dès le début de juin 2007 (année extrêmement sèche), en amont du bassin de drainage de Tuolumne, la source d'approvisionnement municipal en eau de San Francisco

devrait inclure des systèmes d'adaptation à court et à long terme, dont beaucoup sont des modifications des pratiques et outils de gestion déjà utilisés par le Service des forêts.

Adaptations à court terme: créer la résistance et la résilience aux changements climatiques

Les adaptations à court terme ont pour objectif de créer la résistance et la résilience des écosystèmes et des ressources naturelles, afin qu'ils puissent mieux supporter les changements climatiques. L'augmentation de la résistance pourrait être le seul système ou le plus adapté à des ressources de valeur élevée comme les plantations forestières proches de la fin de leur rotation, ou à des ressources rares comme les habitats d'espèces fragiles (c'est-à-dire des espèces pour lesquelles la viabilité de la population est menacée) dans des zones où les décisions de gestion concernant le futur n'ont pas encore été prises (Millar, Stephenson et Stephens, 2007). Les pratiques visant à améliorer la résistance de ressources de valeur élevée prévoient leur exposition limitée aux impacts des changements climatiques comme la sécheresse, le feu et les insectes. Par exemple, les traitements à l'échelle du paysage, comportant des éclaircies et la réduction des matières combustibles, peuvent diminuer les risques de feux de cimes anormaux, la susceptibilité à la sécheresse et les infestations d'insectes. Des pare-feux placés de façon stratégique, ainsi que d'autres traitements de la zone visant à interrompre la continuité de la litière de débris, seront particulièrement

importants près des zones résidentielles, des bassins versants municipaux et des habitats estimés fondamentaux pour la survie et la récupération d'espèces menacées ou en danger.

Les écosystèmes résilients peuvent non seulement supporter des changements progressifs, mais aussi retourner à leur état précédent après la perturbation (Holling, 1973, 2001). Outre les adaptations visant à créer la résistance, celles qui renforcent la résilience soulignent l'importance de la gestion de la régénération. Ces systèmes d'adaptation cherchent à accroître la taille de la population, à augmenter le nombre (ou la diversité) des lieux où les populations individuelles, les espèces et les habitats sont gérés, et à restaurer l'état et les processus d'écosystèmes importants après la perturbation.

La réduction des facteurs de stress actuels (pollution, espèces envahissantes exotiques, fragmentation de l'habitat et impacts des activités d'extraction actuelles et passées) est peut-être la mesure la plus apte à créer la résilience de l'écosystème. Des efforts et une coordination accrus de la part des organismes de gestion foncière et des propriétaires terriens privés, visant à réduire les facteurs de stress actuels, favoriseraient dès maintenant les écosystèmes et réduiraient les futurs impacts potentiels des changements climatiques. Par exemple, un système de réponse et de détection rapides pour les espèces envahissantes aide le Service des forêts à intervenir immédiatement si l'ampleur du problème le permet. Une telle approche pourrait être appliquée à d'autres perturbations dues aux changements climatiques qui exercent des impacts

défavorables sur les écosystèmes, comme les inondations et les tempêtes de vent d'une plus forte intensité qui accélèrent l'érosion.

Un autre système d'adaptation immédiate consiste à réviser les plans existants de gestion des forêts, en vue d'identifier les faiblesses des mesures prises pour affronter les événements extrêmes liés au climat (sécheresse, incendies, inondations, par exemple), et pour gérer l'utilisation de l'eau, les loisirs et l'extraction du bois, du fourrage et d'autres ressources naturelles avant, pendant et après ces perturbations. Un tel examen pourrait aussi révéler les impacts possibles d'événements liés au climat d'une intensité encore plus forte à l'avenir. Les plans de gestion forestière pourraient alors être modifiés sur la base des variations attendues dans les schémas de la pluviométrie, les régimes des incendies, la phénologie (époque où des processus écologiques ont lieu, tels le bourgeonnement et l'arrivée d'espèces migratrices) et la composition, la structure et les processus des écosystèmes. Les informations recueillies grâce à cet examen pourraient aider les gestionnaires à élaborer des plans visant à altérer la trajectoire de succession des écosystèmes après des incendies ou des vents particulièrement violents, et à établir les conditions les plus susceptibles de viabilité sous le futur climat.

Adaptations à long terme: gérer en prévision de changements quand les seuils de résilience sont dépassés

Les seuils de résilience pour de nombreux écosystèmes sont susceptibles d'être dépassés à long terme (plus de 50 ans), à moins que les émissions de gaz à effet de serre ne soient brusquement et rapidement réduites (en moins de 20 ans) (GIEC, 2007). Il est donc nécessaire d'avoir des systèmes d'adaptation à plus long terme, qui aideront au fil du temps les écosystèmes et les espè-



Les traitements d'éclaircie et de réduction des matières combustibles à l'échelle du paysage représentent une adaptation à court terme qui sert à améliorer la résistance au feu: en 2006, un incendie sur 70 000 ha dans la forêt nationale d'Okanogan-Wenatchee, dans l'État de Washington, a causé une mortalité de 100 pour cent dans un peuplement mixte de conifères à haute densité (à gauche), alors qu'un peuplement éclairci dont la litière de combustibles a été éliminée par brûlage dirigé n'a subi qu'un roussissement de la base et une mortalité minimale de l'étage dominant (à droite)

ces à réagir aux changements climatiques, et permettront d'éviter les passages abrupts et traumatisants d'un état à un autre de l'écosystème (de la forêt aux formations arbustives, par exemple). La connexion des paysages est fondamentale à cet égard, pour faciliter la migration et la dissémination des espèces (Halpin, 1997; Holling, 2001; Noss, 2001). De même, l'accroissement de la taille des populations, la protection ou la restauration de multiples écosystèmes et la promotion de peuplements forestiers hétérogènes et inéquiens enrichiront la diversité biologique à des multiples niveaux d'organisation (des gènes aux paysages) et augmenteront dès lors les possibilités d'adaptation naturelle.

La mise en œuvre de quelques adaptations dépendra partiellement du niveau de certitude quant à la trajectoire du changement climatique. S'il règne un certain degré d'incertitude, il semble logique d'assurer que, quand de nouveaux arbres sont plantés, le matériel de reproduction comprend une ample diversité génétique. Lorsque la certitude des changements climatiques prévus augmente, les gestionnaires pourraient

intervenir activement pour faciliter les transitions et les mouvements particuliers dans les aires de répartition des espèces.

Mettre les conditions écologiques gravement perturbées en mesure de s'adapter aux climats actuels et futurs pourrait être un bon choix, lorsque les seuils de résilience sont dépassés et que le retour aux conditions antérieures est estimé écologiquement trop complexe, trop coûteux ou politiquement irréalisable. Ce type d'adaptation a été appliqué au lac Mono, en Californie; après une médiation imposée par le tribunal entre les parties prenantes, les objectifs de restauration ont été révisés pour tenir compte des incertitudes climatiques présentes et futures, afin de déterminer le niveau du lac le plus adapté aux conditions actuelles et prévues (Millar, Stephenson et Stephens, 2007).

CONCLUSIONS

Si les changements climatiques continuent d'influencer la structure, la composition et les processus des écosystèmes, il sera extrêmement difficile de s'attaquer à chaque impact.

Les gestionnaires forestiers devront s'attacher à obtenir des résultats réalistes. L'établissement d'une relation plus forte entre la recherche scientifique et la gestion des forêts sera utile à cet égard; elle aidera à:

- identifier les seuils de résilience d'espèces clés et de processus écosystémiques;
- déterminer quels seuils sont susceptibles d'être dépassés;
- donner la priorité aux projets ayant de fortes probabilités de succès;
- identifier les espèces et les formes de végétation tolérantes à des perturbations accrues.

Les systèmes d'adaptation et d'atténuation sont considérés de façon croissante comme un ensemble de stratégies nécessaires pour minimiser les impacts négatifs potentiels et profiter des impacts positifs éventuels du changement climatique. Les systèmes d'atténuation pourraient avoir des conséquences écologiques néfastes à l'échelle locale à régionale, et les systèmes d'adaptation risquent d'augmenter les

Des systèmes d'adaptation à plus long terme sont nécessaires car ils aideront au fil du temps les écosystèmes et les espèces à réagir aux changements climatiques; par exemple, l'altération récente des conditions de la forêt nationale de Tahoe, en Californie, permet le brûlage dirigé pendant les mois d'hiver, une nouvelle pratique qui contribuera à réduire les risques d'incendies catastrophiques



G. HILDES



Bibliographie

émissions de gaz à effet de serre. Il sera donc important pour les gestionnaires d'évaluer le pour et le contre, et d'identifier des stratégies qui réalisent des avantages synergiques entre l'atténuation et l'adaptation.

Les gestionnaires devront aussi décider ce qui peut être fait et ce qui ne peut pas l'être, au regard de ressources financières et humaines limitées. Quel que soit le plan choisi pour l'établissement des priorités, il importe d'élaborer des critères pour la prise de décisions et pour la participation à ces décisions, à l'aide d'un processus délibératif et consultatif qui garantit la prise en compte des intérêts de toutes les parties prenantes. ♦

CCSP (Programme scientifique des États-Unis sur les changements climatiques).

2008a. *The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity*. Synthesis and Assessment Product 4.3. Washington, DC, États-Unis, Agence des États-Unis pour la protection de l'environnement (USEPA).

CCSP. 2008b. *Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources*. Assessment Product 4.4. Washington, DC, États-Unis, USEPA.

GIEC (Grouped'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2007. *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution du Groupe de travail II au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.

Halpin, P.N. 1997. Global climate change and natural-area protection: management responses and research directions. *Ecological Applications*, 7: 828–843.

Holling, C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 1–23.

Holling, C.S. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4: 390–405.

Joyce, L.A., Blate, G.M., Littell, J.S., McNulty, S.G., Millar, C.I., Moser, S.C., Neilson, R.P., O'Halloran, K. et Peterson, D.L. 2008. National forests. In CCSP, éd. *Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources*, p. 3-1 à 3-127. Washington, DC, États-Unis, USEPA.

Millar, C.I., Stephenson, N.L. et Stephens, S.L. 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, 17(8): 2145–2151.

Noss, R.F. 2001. Beyond Kyoto: forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology*, 15(3): 578–590. ♦

Rôle des aires protégées forestières dans l'adaptation aux changements climatiques

S. Mansourian, A. Belokurov et P.J. Stephenson

Dans un monde au climat en évolution, les aires protégées revêtent une importance particulière pour la conservation de la biodiversité et les moyens d'existence humains.

Les relations entre les forêts et les changements climatiques sont complexes. D'une part, les forêts peuvent atténuer ces changements en absorbant le carbone, mais, d'autre part, elles peuvent y contribuer si elles sont dégradées ou détruites. Les changements climatiques, quant à eux, pourraient provoquer la dégradation ou la perte des forêts, exacerbant par là même leur fréquence.

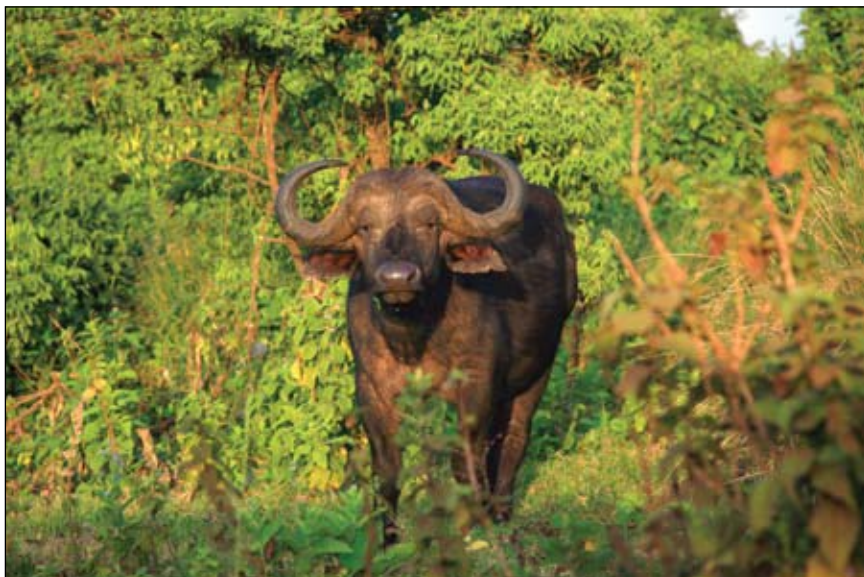
Une aire protégée est définie comme: «un espace géographique clairement défini, reconnu, consacré et géré, par tout moyen efficace, juridique ou autre, afin d'assurer à long terme la conservation de la nature ainsi que les services écosystémiques et les valeurs culturelles qui lui sont associées» (Dudley, 2008). Les aires protégées forestières aident à conserver les écosystèmes qui fournissent un habitat, un abri, des aliments, des matières premières, du matériel génétique, une barrière contre les catastrophes naturelles, une source stable de ressources et de nombreux autres biens et services propres à l'écosystème. Elles jouent dès lors un rôle important en aidant

les espèces, les populations et les pays à s'adapter aux changements climatiques. En vertu de leur fonction de protection, ces forêts devraient rester exemptes de toute intervention humaine destructive. Elles pourront ainsi continuer à servir de réservoir naturel de biens et de services pour l'avenir.

De nos jours, les changements climatiques sont l'un des principaux nouveaux dangers qui menacent la biodiversité. Le quart environ des espèces de mammifères (environ 1 125) (GIEC, 2002) et à peu près 20 pour cent des espèces aviaires (environ 1 800) (GIEC, 2007) risquent de disparaître de la planète à cause des changements climatiques.

Les aires protégées établies pour sauvegarder la biodiversité et les processus écologiques seront probablement influencées de nombreuses façons par l'évolution du climat. Ces changements devraient pousser les espèces à migrer vers des zones dotées de températures et de précipitations plus favorables. Il est très probable que des espèces concurrentielles, parfois

*Dans un climat en évolution, les aires protégées revêtiront une nouvelle importance comme refuges sûrs pour la biodiversité, en offrant des habitats de bonne qualité, moins vulnérables aux conditions climatiques extrêmes (buffle africain, *Syncerus caffer* – une espèce vulnérable à la sécheresse – dans l'aire de conservation de Ngorongoro, République-Unie de Tanzanie)*



Stephanie Mansourian est consultante, Gingins (Suisse).

Alexander Belokurov est directeur, Landscape Conservation, et **Peter J. Stephenson** est directeur, Conservation Strategy and Performance, Fonds mondial pour la nature (WWF), Gland (Suisse).

envahissantes, mieux adaptées au nouveau climat s'introduiront. En raison de ces mouvements, des aires pourront se retrouver avec des habitats et des espèces autres que ceux qu'elles avaient initialement la fonction de sauvegarder. Scott (2005), par exemple, a estimé irréaliste l'un des objectifs déclarés du parc national Prince Albert au Saskatchewan (Canada), à savoir protéger son intégrité écologique «pour l'éternité», car tous les scénarios qui existent sur le climat prévoient la perte, un jour, des forêts boréales et de leur biodiversité dans cette aire. On prévoit que les changements climatiques stimuleront les foyers d'infection, les ravageurs devenant plus résistants ou survivant plus longtemps, et de nouvelles espèces nuisibles envahissant les aires protégées. C'est ainsi qu'il y a près de deux décennies Pounds *et al.* (2006) avaient attribué l'extinction aujourd'hui largement proclamée de la grenouille arlequin (*Atelopus* sp.) et du crapaud doré (*Bufo perigrinus*) présents dans la forêt de Monteverde, au Costa Rica, au réchauffement des zones tropicales américaines, qui aurait, selon les dires, favorisé un champignon particulier qui a infecté les amphibiens. Les changements climatiques pourraient également accroître l'incidence des incendies dans certaines situations et des inondations dans d'autres (GIEC, 2007).

Dans de nombreux cas, les effets préjudiciables de l'altération du climat sur les aires protégées se conjugueront à d'autres formes de stress, notamment d'origine humaine, en raison par exemple de la surconsommation, de la pollution ou de l'avancée de l'urbanisation. La biodiversité dans les aires protégées, qui pourrait s'avérer déjà menacée par l'activité humaine, risque un appauvrissement plus rapide et plus grave dû aux changements climatiques.

À cause de ces modifications et d'autres modifications probables, il faudra réviser la gestion des aires protégées existantes, si l'on veut qu'elles remplissent leur rôle de conservation de la biodiversité et soutiennent l'adaptation aux changements climatiques.

Le présent article évalue l'importance écologique, sociale et économique des aires protégées forestières, et tire parti d'exemples d'activités entreprises partout dans le monde par le Fonds mondial pour la nature (WWF) dans le cadre des

changements climatiques. Il se concentre sur le contexte spatial élargi et les paysages à l'intérieur desquels se situent des aires protégées. Il propose ensuite une série de modes de gestion et de stratégies pour faire en sorte que ces aires protégées forestières continuent à fournir leur appui à la conservation de la biodiversité face aux changements climatiques.

IMPORTANCE DES AIRES PROTÉGÉES FORESTIÈRES FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Pendant plusieurs décennies, les aires protégées ont été considérées comme un outil essentiel pour la conservation de la biodiversité. Les impacts des changements climatiques leur attribuent maintenant un rôle renouvelé comme outils d'adaptation à l'altération du climat. Elles ont une triple fonction à remplir à cet égard :

- aider les espèces à s'adapter aux schémas de changements climatiques et aux événements climatiques soudains, en fournissant des refuges et des couloirs de migration;
- protéger les populations contre les événements climatiques soudains et réduire la vulnérabilité aux inondations, aux sécheresses et à d'autres catastrophes liées au climat;
- aider indirectement les économies à s'adapter aux changements climatiques par la réduction des coûts découlant des effets préjudiciables d'événements climatiques.

Rôle écologique

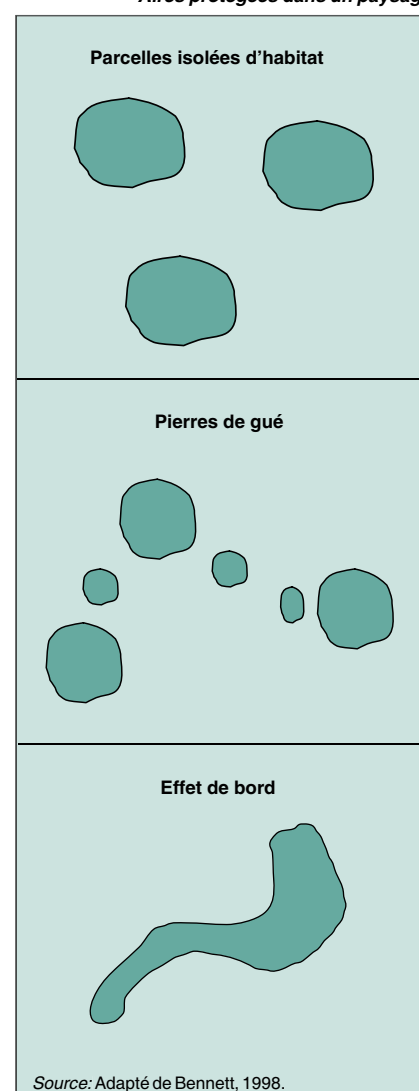
Le monde possède désormais plus de 100 000 aires protégées; celles qui consistent en terres émergées couvrent 12,2 pour cent de la superficie du globe (PNUE-WCMC, 2008). Les aires protégées figurent parmi les outils les plus efficaces pour protéger les espèces contre l'extinction et l'impact des menaces d'origine humaine. Bien planifiées et gérées, elles peuvent contribuer à conserver la biodiversité en :

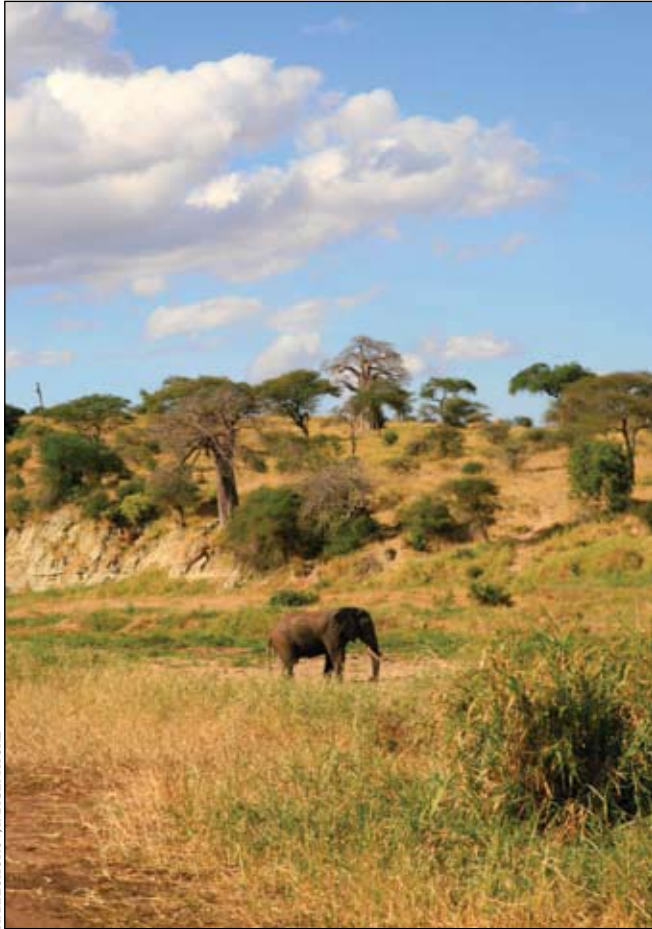
- représentant des communautés naturelles distinctes dans des paysages voués à la conservation et des réseaux d'aires protégées;
- préservant les processus écologiques et évolutionnaires qui créent et soutiennent la biodiversité;
- maintenant des populations viables d'espèces;

- conservant des ensembles d'habitats naturels assez étendus pour résister à des perturbations à grande échelle et à des changements à long terme (Noss, 1992).

Jusqu'à ce jour, on a établi la plupart des aires protégées et identifié les sites représentatifs d'habitats et d'espèces en supposant la permanence d'un climat relativement stable (Hannah *et al.*, 2007). Toutefois, à mesure que le climat évolue, il faudra remettre en question les plans et les hypothèses concernant les aires protégées (McCarty, 2001). On devra évaluer des zones à destiner à de futures interventions de conservation en fonction de différents scénarios de changement climatique, et le réseau actuel d'aires protégées devra être révisé, afin qu'il puisse produire les résultats attendus au plan de la conservation et contribuer à atténuer les effets défavorables des changements climatiques.

Aires protégées dans un paysage





A. BELOKUROV, IMAGENATURE

Pour réduire la menace supplémentaire que posent les changements climatiques aux éléphants africains et à leur habitat, le Plan d'action du WWF pour les éléphants africains comprend des évaluations de la vulnérabilité au climat des populations de ces animaux (parc national de Tarangire, République-Unie de Tanzanie)

Dans un climat en évolution, les aires protégées revêtiront une nouvelle importance comme refuges sûrs pour la biodiversité, en offrant des habitats de bonne qualité et moins vulnérables aux conditions climatiques extrêmes, en fournissant des abris pour les espèces menacées et en conservant d'importantes réserves génétiques. Il deviendra aussi plus important de protéger les paysages de référence – écosystèmes sur lesquels se fonde la planification de la restauration et qui servent de base pour en évaluer le succès (Sayer, 2005).

Les réseaux d'aires protégées compris dans de grands paysages contribueront à remplir la fonction du quatrième point ci-dessus, à savoir fournir une résistance aux changements climatiques. Les planificateurs de paysages peuvent aider la biodiversité à s'adapter à des conditions en évolution, en définissant et gérant soigneusement les connexions ou les couloirs reliant les aires protégées, en éliminant ou évitant les barrières comme les routes ou les plantations en monoculture d'arbres ou les cultures agricoles, et en créant des «pierres de gué» pour des espèces particulières (figure).

Pour assurer la survie d'importantes espèces animales et végétales que l'on souhaite conserver, il faudra obtenir de nouvelles informations sur les aspects suivants :

- sensibilité aux bouleversements (par les routes, les activités agricoles, les établissements humains);
- sensibilité à l'effet de bord, c'est-à-dire le rapport entre le périmètre et l'aire (en général, plus le rapport est grand, plus forte est la sensibilité aux perturbations venant de l'extérieur du périmètre);
- spécialisation et disponibilités alimentaires;
- qualité requise de l'habitat (forêt primaire ou secondaire, par exemple);
- mouvements, notamment en conditions de stress;
- habitudes migratoires et routes empruntées;
- relations avec les communautés humaines locales et avec d'autres espèces (Mansourian, 2006).

Ces informations peuvent être superposées aux scénarios de prévision climatique pour permettre la prise de mesures aptes à sauvegarder la biodiversité.

Pour donner un exemple, à cause de la menace supplémentaire que pose le climat aux éléphants africains et à leur habitat, la mise en œuvre du Plan d'action du WWF pour les éléphants africains (Stephenson, 2007) comprendra des évaluations de la vulnérabilité au climat des populations de ces animaux à l'aide des outils d'évaluation disponibles (Hannah, 2003). Les résultats serviront à formuler et à mettre en œuvre des stratégies d'adaptation aux changements climatiques applicables aux paysages estimés à risque élevé qui sont fréquentés par les éléphants. La biodiversité exceptionnelle de l'Amazonie risque aussi de subir les effets néfastes des changements climatiques; la perte de viabilité de nombreuses espèces végétales, notamment dans le nord-est de l'Amazonie, est prévue d'ici à 2095 dans tous les scénarios climatiques (Miles, 2002).

Rôle social

Les aires protégées pourraient fournir des services propres à l'écosystème tels que la disponibilité d'eau potable, le stockage du carbone et la stabilisation des sols, contenir des sites considérés comme sacrés par certains groupes confessionnels, et renfermer d'importants réservoirs de gènes utilisables en médecine, agriculture et foresterie. Face aux changements climatiques, les rôles que jouent les aires protégées en renforçant les capacités des populations locales à s'adapter aux changements climatiques acquièrent une nouvelle importance (Simms, 2006).

En contribuant au maintien des écosystèmes naturels, les aires protégées peuvent représenter une protection matérielle contre les grandes catastrophes, dont le nombre devrait augmenter avec l'évolution du climat (Scheuren et al., 2007). Bien que l'envergure des catastrophes dépende normalement d'un ensemble de facteurs (normes de construction, utilisation du sol, par exemple), dans de nombreux cas le maintien de l'écosystème et la protection de la forêt peuvent réduire considérablement leurs impacts. Les mangroves côtières, les récifs de corail, les plaines inondables et les forêts peuvent servir aux terres, aux communautés et aux infrastructures de zones tampons contre les catastrophes naturelles. Pendant le raz-de-marée de l'océan Indien en 2004, par exemple, les dunes de sable côtières recouvertes de végétation dans les parcs nationaux de Yala et de Bundala,



La protection des mangroves côtières peut contribuer à renforcer leur rôle de défense matérielle contre les grandes catastrophes, dont la fréquence devrait s'intensifier sous l'effet des changements climatiques (parc national des Sundarbans, Bangladesh)

à Sri Lanka, ont entièrement stoppé les vagues et protégé les terres à l'arrière (Caldecott et Wickremasinghe, 2005). Certaines aires protégées encouragent aussi la restauration active ou passive des pratiques traditionnelles d'utilisation des terres, comme l'agroforesterie et les cultures en terrasses, qui peuvent contribuer à atténuer les impacts des événements climatiques extrêmes sur les terres arides, par exemple en réduisant le risque d'érosion et en maintenant la structure des sols (Stolton, Dudley et Randall, 2008).

En outre, la gestion des aires protégées permet de responsabiliser des populations humaines marginalisées ou certains groupes communautaires. De nouvelles formes de gouvernance des aires protégées, comme la conservation communautaire ou la cogestion, sont mises en œuvre à l'heure actuelle pour réduire les conflits d'ordre foncier et promouvoir le maintien à long terme des aires protégées au profit des parties prenantes. Un bon exemple de cela est la création de «parcs avec les gens», politique formulée en Bolivie en 2005 pour encourager les communautés autochtones à gérer les aires protégées (Peredo-Videa, 2008).

Rôle économique

Si l'habitat naturel d'un pays est ravagé par les impacts de l'altération du climat, son économie en souffrira. Dans une étude récente (Dasgupta *et al.*, 2007), les auteurs ont constaté que le produit intérieur brut (PIB) d'un certain nombre de pays, le Viet Nam en tête, pouvait être négativement influencé par la hausse du niveau de la

mer, l'intrusion d'eau salée et des catastrophes naturelles attribuées aux changements climatiques. En contribuant à préserver les habitats naturels, les aires protégées aident à soutenir indirectement l'économie nationale.

En outre, ces aires sont à même de fournir des moyens directs de relever les revenus, grâce non seulement au tourisme, mais aussi aux produits de valeur qu'elles renferment et aux services qu'elles rendent. C'est ainsi que la Réserve de biosphère maya, au Guatemala, assure des emplois à plus de 7 000 personnes et produit un revenu annuel d'environ 47 millions de dollars EU (PCLG, 2002). À Madagascar, d'après une étude réalisée sur 41 réserves, le taux de rendement économique du système d'aires protégées s'élevait à 54 pour cent et provenait pour une large part de la protection des bassins versants et, dans une mesure moindre, de l'écotourisme (Naughton-Treves, Buck Holland et Brandon, 2005). Les aires protégées offrent donc un dispositif de sécurité qui peut être précieux en période de stress, par exemple lors d'événements climatiques extrêmes.

La perte de ces aires pourrait entraîner des coûts notables, pour compenser entre autres les dommages aux infrastructures et les tragédies humaines causés par la désertification ou les raz-de-marée, ou la perte des revenus tirés du tourisme. En outre, on a estimé que l'abattage de grands massifs forestiers, comme ceux d'Amazonie, a influencé les régimes mondiaux de précipitations, nuisant ainsi à l'agriculture et, partant, aux moyens d'existence de millions de personnes (Nepstad, 2007).

Dès lors, les aires protégées non seulement aident à sauvegarder la biodiversité, mais contribuent aussi indirectement à la sécurité alimentaire de la planète.

GESTION DES AIRES PROTÉGÉES ET STRATÉGIES

Les gestionnaires des aires protégées et la communauté des écologistes devront tenir compte des changements climatiques dans l'élaboration des futures mesures de gestion. Déjà, la plupart des organisations écologistes se sont convaincues de la nécessité d'incorporer le facteur climat dans leur planification. C'est ainsi qu'en 2008 le WWF a adopté une nouvelle stratégie de conservation mondiale (WWF, 2008a), qui, outre les objectifs relatifs à la biodiversité, a mis fortement l'accent sur l'«empreinte écologique» de l'homme (exigences imposées à la biosphère en termes de surfaces terrestres et maritimes biologiquement productives, nécessaires à la fourniture des ressources utilisées et à l'absorption des déchets produits par la société). S'attaquer aux changements climatiques est un objectif clé.

Tout en utilisant le nombre d'aires protégées établies et d'hectares d'habitats menacés mis sous protection comme indicateurs des progrès accomplis dans la réalisation des objectifs de conservation, la gestion des aires protégées devra incorporer les nouvelles dimensions suivantes pour contrecarrer les changements climatiques.

Création d'aires protégées dans les paysages

Un réseau bien planifié d'aires protégées doit permettre aux espèces présentes dans quelques rares parcelles fragmentées d'habitat, en nombre limité ou à l'extrémité de leur aire de répartition, de s'adapter aux changements liés au climat. La taille, la forme et les gradients d'altitude contribuent tous à la résistance à l'altération du



A. BELOKUROV IMAGINATURE

La perte potentielle d'aires protégées risque d'entraîner la perte de revenus tirés du tourisme (parc national des chutes de l'Iguazu, à la frontière entre le Brésil et l'Argentine, l'un des lieux les plus recherchés d'Amérique du Sud, qui attire près de 2 millions de touristes par an)

climat d'une aire protégée et à la liberté de mouvement des espèces qui y résident. Bien conçus, les réseaux d'aires protégées devraient réduire les barrières et les obstacles entre ces dernières. Ils devraient inclure des zones tampons, des connexions, des couloirs et des pierres de gué pour assurer le mouvement des espèces animales à travers le paysage et d'abondants habitats favorables à travers une vaste gamme d'altitudes, afin qu'en période de stress les animaux puissent se déplacer vers des environnements plus propices dans la sécurité relative d'une aire protégée. À Bornéo, par exemple, le WWF et ses partenaires s'emploient à construire un réseau d'aires protégées dans un paysage de 240 000 km², avec un gradient d'altitude de plus de 4 000 m, pour permettre aux espèces de se déplacer entre différents types d'habitat (WWF, 2008b).

Extension du réseau d'aires protégées

En cherchant à maintenir un réseau d'écosystèmes représentatif, il n'est plus prudent de supposer que toute l'aire de répartition historique d'une espèce restera adaptée malgré les changements climatiques. Comme noté plus haut, dans des scénarios climatiques futurs un grand nombre des

aires protégées actuelles ne seront plus à même de remplir leur rôle de protection d'habitats représentatifs pour les espèces à conserver. Une étude de modélisation entreprise au Mexique, dans la région du Cap en Afrique du Sud, et en Europe occidentale, a montré qu'avec une hausse modérée de la température il faudra établir de nouvelles aires protégées d'une grande étendue pour obtenir la représentativité voulue (Hannah *et al.*, 2007). À cet égard, le Programme de travail sur les aires protégées de la Convention sur la diversité biologique (CDB, 2004) a recommandé avec insistance que soit amplifié le réseau mondial d'aires protégées pour garantir la représentativité à long terme des écosystèmes et pour aider les espèces à s'adapter aux changements climatiques. Au fil des ans, les aires protégées de la planète ont connu une progression exponentielle, mais elle doit se poursuivre.

Dans un avenir stressé par les changements climatiques, les aires protégées ne seront viables que si elles procurent des avantages directs aux communautés humaines qui y vivent ou en dépendent (récolte durable de miel par un groupe de femmes locales, dans une réserve forestière en Zambie)



A. BELOKUROV IMAGINATURE

Gestion des aires protégées au sein des paysages

Une gestion performante est essentielle à l'adaptation au climat. La gestion des aires protégées visant à assurer l'adaptation aux changements climatiques pourrait inclure la restauration, en mettant l'accent sur les habitats résistants, une préparation à des dangers prévus, comme les incendies et les ravageurs, et la prise en compte d'autres menaces (qui peuvent s'aggraver sous l'effet de l'altération du climat). La restauration sera importante tant au sein des aires protégées qu'autour de celles-ci, dans des endroits ciblés à l'intérieur du paysage élargi. Le WWF adopte une approche de la restauration du paysage forestier qui prévoit l'identification des éléments clés du paysage à restaurer, afin d'atteindre de multiples buts et de rendre l'ensemble du paysage plus à même de réaliser des objectifs environnementaux, sociaux et économiques (Mansourian, Vallauri et Dudley, 2005). Par exemple, dans le bassin inférieur du Danube, en Bulgarie, le WWF et ses partenaires ont orienté leurs efforts vers la restauration des forêts des plaines d'inondation, afin que ce couloir biologique, important aussi bien pour la pisciculture que pour la nidification et les oiseaux migrateurs, puisse supporter les changements climatiques (WWF, 2002). Comme les anciens habitats qui ont pu tolérer des variations climatiques jusqu'à ce jour seront plus susceptibles d'endurer de futurs changements, le WWF collabore aussi avec les autorités locales du Chili pour assurer la protection de la forêt résistante de Valdivian, qui renferme des arbres de plus de 3 000 ans.

Les stratégies et plans de gestion futurs



Bibliographie

concernant les aires protégées devront aussi inclure des options pour le stockage du carbone et la réduction des émissions résultant de la déforestation et de la dégradation. Il sera indispensable de conduire des évaluations régulières de la gestion, afin d'ajuster les interventions le cas échéant.

Considérations socioéconomiques

Dans un avenir où davantage d'individus se disputeront des ressources plus rares, et où les changements climatiques sont susceptibles d'exercer plus de pression sur les moyens d'existence des populations et la disponibilité de ces ressources, les aires protégées ne seront viables que si elles procurent des avantages directs aux communautés humaines qui y vivent ou en dépendent (Borrini-Feyerabend, Kothari et Oviedo, 2004). Pour l'instant, ces aires contribuent moins en pratique qu'en théorie aux stratégies de subsistance. À l'avenir, leur création et leurs plans de gestion devront viser à renforcer l'engagement des communautés locales et les liens avec les programmes de développement nationaux, et à identifier de nouvelles formes de gestion des aires protégées, comme la gestion par le secteur privé ou la gestion communautaire. Les programmes de gouvernance élaborés pour les aires protégées devront sans doute être révisés pour améliorer leur efficacité et prévoir des mesures de règlement des conflits. Les décideurs devront garantir que les conditions institutionnelles et juridiques permettent aux populations de bénéficier directement des aires protégées.

CONCLUSIONS

Si les futurs scénarios de changements climatiques et les impacts locaux demeurent incertains, les aires protégées seront sûrement touchées. Cependant, elles peuvent aussi jouer un rôle important dans l'adaptation à ces changements. Améliorer la résistance et l'adaptation au climat imposera de nouvelles approches de la planification, de l'établissement et de la gestion des aires protégées. En outre, il est essentiel de réduire les gaz à effet de serre au niveau mondial et de limiter la hausse des températures à 2 °C au maximum. Si ces normes ne sont pas respectées, l'adaptation en souffrira en permanence. ♦

- Bennett, A.** 1998. *Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation*. Gland, Suisse, Alliance mondiale pour la nature (actuellement, Union internationale pour la conservation de la nature) (UICN).
- Borrini-Feyerabend, G., Kothari, A. et Oviedo, G.** 2004. *Indigenous and local communities and protected areas: towards equity and enhanced conservation*. Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni, UICN.
- Caldecott, J. et Wickremasinghe, W.R.M.S.** 2005. *Sri Lanka: post-tsunami environmental assessment*. Nairobi, Kenya, Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE).
- CDB (Convention sur la diversité biologique).** 2004. *Programme of Work on Protected Areas*. Montréal, Canada.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Meisner, C., Wheeler, D. et Yan, J.** 2007. *The impact of sea level rise on developing countries: a comparative analysis*, World Bank Policy Research Working Paper 4136. Washington, DC, États-Unis, Banque mondiale.
- Dudley, N., éd.** 2008. *Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées*. Gland, Suisse, UICN.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).** 2002. *Les changements climatiques et la biodiversité*, éd. H. Gitay, A. Suárez, R.T. Watson et D.J. Dokken. Document technique V du GIEC. Genève, Suisse et Nairobi, Kenya, Organisation météorologique mondiale (OMM) et Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE).
- GIEC.** 2007. *Climate change 2007 – impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution du Groupe de travail II au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.
- Hannah, L.** 2003. Regional biodiversity impact assessments for climate change: a guide for protected area managers. In L.J. Hansen, J.L. Biringer et J.R. Hoffman, éd. *Buying time: a user's manual for building resistance and resilience to climate change in natural systems*, p. 235–244. Berlin, Allemagne, Fonds mondial pour la nature (WWF).
- Hannah, L., Midgley, G., Andelman, S., Araújo, M., Hughes, G., Martinez-Meyer, E., Pearson, R. et Williams, P.** 2007. Protected area needs in a changing climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(3): 131–138.
- Mansourian, S.** 2006. *Joining the dots: species and protected areas – A contribution to the CBD Programme of Work on Protected Areas*. Gland, Suisse, WWF.
- Mansourian, S., Vallauri, D. et Dudley, N., éd.** 2005. *Forest restoration in landscapes: beyond planting trees*. New York, États-Unis, Springer.
- McCarty, J.P.** 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology*, 15: 320–331.
- Miles, L.J.** 2002. *The impact of global climate change on tropical forest biodiversity in Amazonia*. Thèse de doctorat, Centre for Biodiversity and Conservation, School of Geography, Université de Leeds, Leeds, Royaume-Uni.
- Naughton-Treves, L., Buck Holland, M. et Brandon, K.** 2005. The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. *Annual Review of Environment and Resources*, 30: 219–252.
- Nepstad, D.** 2007. *The Amazon's vicious cycles: drought and fire in the greenhouse*. Gland, Suisse, WWF.
- Noss, R.** 1992. The Wildlands Project: land conservation strategy. *Wild Earth*, Special Issue: 10–25.
- PCLG (Poverty and Conservation Learning Group).** 2002. Sustainable harvesting of non timber forest products for the conservation of the biosphere reserve in Guatemala. Case Study C0035. Londres, Royaume-Uni, Institut international pour l'environnement et le développement (IIED). Disponible sur Internet: www.povertyandconservation.info/biblio/C0035
- Peredo-Videa, B.** 2008. Climate change, energy and biodiversity conservation in Bolivia – roles, dynamics and policy responses. *Policy Matters*, 16: 163–174.
- PNUE-WCMC (Programme des Nations Unies pour l'environnement – Centre mondial de surveillance pour la conservation).** 2008. *State of the world's protected areas: an annual review of global conservation progress*. Cambridge, Royaume-Uni.
- Pounds, J.A., Bustamante, M.R., Coloma, L.A., Consuegra, J.A., Fogden, M.P.L., Foster, P.N., La Marca, E., Masters, K.L., Merino-Viteri, A., Puschendorf, R., Ron, S.R., Sánchez-Azofeifa, G.A., Still, C.J. et Young, B.E.** 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, 439: 161–167.

- Sayer, J.** 2005. Goals and targets of forest landscape restoration. In S. Mansourian, D. Vallauri et N. Dudley, éd. *Forest restoration in landscapes: beyond planting trees*, p. 101–108. New York, États-Unis, Springer.
- Scheuren, J.-M., le Polain de Waroux, O., Below, R., Guha-Sapir, D. et Ponserre, S.** 2007. *Annual disaster statistical review: the numbers and trends 2007*. Bruxelles, Belgique, Centre de recherche sur l'épidémiologie des désastres (CRED).
- Scott, D.** 2005. Integrating climate change into Canada's National Parks System. In T. Lovejoy et L. Hannah, éd. *Climate change and biodiversity*, p. 343–345. New Haven, Connecticut, États-Unis et Londres, Royaume-Uni, Yale University Press.
- Simms, A.** 2006. *Up in smoke? Latin America and the Caribbean: the threat from climate change to the environment and human development*. 3^e rapport, Groupe de travail sur les changements climatiques et le développement. Londres, Royaume-Uni, New Economics Foundation.
- Stephenson, P.J.** 2007. *WWF Species Action Plan: African elephant, 2007–2011*. Gland, Suisse, WWF.
- Stolton, S., Dudley, N. et Randall, J.** 2008. *Natural security: protected areas and hazard mitigation*. Gland, Suisse, WWF.
- WWF (Fonds mondial pour la nature).** 2002. *Forest landscape restoration: working examples from 5 ecoregions*. Brochure. Gland, Suisse.
- WWF.** 2008a. *WWF Global Programme Framework 2008–2020*. Gland, Suisse.
- WWF.** 2008b. *WWF Heart of Borneo Network Initiative Strategic Plan*. Gland, Suisse. ♦

Utiliser le savoir traditionnel pour s'adapter aux changements climatiques dans le Ghana rural

B.A. Gyampoh, S. Amisah, M. Idinoba et J. Nkem

Une enquête sur les communautés rurales du bassin du fleuve Offin montre l'importance d'incorporer le savoir traditionnel et les connaissances scientifiques dans les stratégies d'adaptation aux changements et à la variabilité du climat.

Après le raz-de-marée de décembre 2004 qui a ravagé la côte de l'Indonésie, les appels se sont multipliés pour l'application de technologies de pointe (installation de systèmes d'alerte rapide utilisant des techniques sophistiquées de détection par satellite et balises océaniques), afin d'éviter que des catastrophes similaires se reproduisent. Entre-temps, des nouvelles ont commencé à circuler sur la manière dont les communautés autochtones ont pu échapper à la colère du raz-de-marée, grâce à leur savoir traditionnel (encadré ci-dessous), attirant ainsi l'attention sur l'importance de cultiver cette forme de savoir pour se préparer à réagir aux catastrophes naturelles.

Le savoir traditionnel – la sagesse, les connaissances et les pratiques des populations autochtones acquises par l'expérience et transmises oralement de génération en génération – a joué au fil des ans un rôle significatif dans la solution des problèmes, y compris ceux liés à l'évolution et à la variabilité du climat. Les populations autochtones qui vivent près des ressources naturelles observent souvent les activités

qui se déroulent autour d'elles, et sont les premières à identifier les changements et à s'y adapter. L'apparition de certains oiseaux, l'accouplement de certains animaux et la floraison de certaines plantes sont autant de signes fondamentaux de changements dans le temps et les saisons qui sont bien compris dans les systèmes de savoir traditionnel. Les populations locales ont utilisé la biodiversité comme tampon contre la variation, le changement et les catastrophes; face aux fléaux, si une récolte échoue, une autre survivra (Salick et Byg, 2007). Pour affronter les risques dus à des précipitations excessives ou faibles, à la sécheresse et à l'échec des cultures, certaines populations traditionnelles plantent un grand nombre de cultures et de variétés ayant des niveaux très différents de vulnérabilité à la sécheresse et aux inondations; elles les complètent par les produits de la chasse et de la pêche et la récolte de plantes vivrières sauvages. La diversité des cultures et des ressources alimentaires s'accompagne souvent, comme mesure de sécurité, d'une diversité similaire des emplacements des champs,

Le savoir indigène sauve des vies

Juste avant le raz-de-marée de l'océan Indien, en 2004, de nombreuses personnes se sont rendues sur le rivage, attirées par le spectacle inhabituel de poissons se débattant sur le fond de la mer exposé au ressac. Parmi elles ne se trouvaient ni les populations Moken et Urok Lawai des côtes et des îles de Thaïlande, ni les Ong des îles Andaman de l'Inde, ni la communauté Simeulue d'Indonésie; ils savaient tous qu'il fallait se diriger rapidement vers l'intérieur pour échapper à la force destructrice de la mer. Les petits villages des Moken et des Ong ont été entièrement détruits, mais leurs habitants sont restés indemnes. Encore plus frappant a été le déplacement de plus de 80 000 personnes appartenant à la communauté Simeulue vers des zones hors de l'atteinte du raz-de-marée; il n'y a eu que sept victimes. Cette réaction étonnamment efficace, qui contraste avec les immenses pertes subies ailleurs en Indonésie, a été récompensée par la remise à la population Simeulue du prix Sasakawa des Nations Unies pour la prévention des catastrophes.

Source: Elias, Rungmanee et Cruz, 2005.

Benjamin A. Gyampoh et **Steve Amisah** travaillent à la Faculté des ressources naturelles renouvelables, Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST), Kumasi (Ghana).

Monica Idinoba travaille au Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR), Ouagadougou (Burkina Faso).

Johnson Ndi Nkem travaille au CIFOR, Bogor (Indonésie).



Le fleuve Offin est la principale source d'eau pour les communautés qui vivent dans le bassin

pour s'assurer que, face à des phénomènes climatiques extrêmes, certains champs survivront et produiront des cultures pouvant être récoltées.

L'adaptation au changement climatique comprend tous les ajustements du comportement ou de la structure économique susceptibles de réduire la vulnérabilité de la société aux changements du système climatique (Smith, Ragland et Pitts, 1996). La possibilité de s'adapter de façon durable dépend des ressources disponibles. L'Afrique est la région la plus vulnérable aux impacts défavorables du changement climatique, et n'a qu'une faible capacité d'adaptation. Mais ses populations, notamment au niveau local, s'efforcent de faire face aux changements qu'elles observent.

On estime qu'en Afrique, au cours du XX^e siècle, le réchauffement était compris entre 0,26 et 0,5 °C par décennie (Hulme *et al.*, 2001; Malhi et Wright, 2004). Cette tendance est destinée à se poursuivre, voire à s'intensifier sensiblement, exerçant des effets négatifs sur les moyens d'existence. D'après le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007), un scénario d'émissions moyennes à élevées impliquerait une augmentation annuelle moyenne des températures de l'air superficiel comprise entre 3 et 4 °C d'ici à 2080. Cela signifie l'arrivée de temps durs pour les populations locales qui sont directement tributaires des ressources naturelles pour leurs moyens d'existence, et qui ne possèdent guère d'avoirs ou de connaissances techniques pour s'adapter aux changements à venir.

Au Ghana, les températures enregistrées ont augmenté d'environ 1 °C au cours des 40 dernières années du XX^e siècle, tan-

dis que les précipitations et les débits ont diminué, respectivement, d'environ 20 et 30 pour cent (Ghana Environmental Protection Agency, 2000). Comme le Ghana dépend principalement des cultures pluviales, il est extrêmement vulnérable à la variabilité et aux changements du climat. Mais, au fil des ans, les agriculteurs et d'autres communautés du pays qui sont tributaires des ressources naturelles ont conçu divers systèmes pour s'adapter à ces changements, en exploitant leur savoir traditionnel.

Le présent article évalue les stratégies adoptées par les communautés rurales qui vivent dans le bassin du fleuve Offin, au Ghana, pour affronter les changements et la variabilité climatiques. Leurs opinions sur le changement du climat et leurs récits sur les méthodes qu'elles ont adoptées pour s'y adapter ont été recueillis en 2007, grâce à des questionnaires semi-structurés, des débats de groupes de réflexion, des interviews et des observations de terrain dans 20 communautés rurales. Seuls des membres de la communauté de 40 ans et plus ont été interrogés, selon l'hypothèse que les jeunes auraient moins d'expérience en matière de changements climatiques et moins d'observations pertinentes à formuler. Dix questionnaires au maximum ont été distribués par communauté.

Grâce aux débats des groupes de réflexion et aux questionnaires, les personnes qui possédaient des connaissances appréciables sur les changements environnementaux survenant autour d'elles ont été choisies pour des interviews en profondeur. Il s'agissait essentiellement d'agriculteurs locaux expérimentés qui pouvaient confirmer les changements discernables dans les précipitations et la température, d'anciens

et de chefs traditionnels qui prenaient part aux prises de décisions communautaires.

LE CONTEXTE DU BASSIN DU FLEUVE OFFIN

Le bassin du fleuve Offin a un climat semi-humide tropical et des forêts humides semi-décidues. Les communautés intéressées par l'étude sont rurales, et la plupart de leurs membres pratiquent une agriculture de subsistance. Quelques-uns se livrent aussi à la production de cacao. L'agriculture dans cette région, comme dans la majeure partie du Ghana, est pluviale; les saisons de plantation coïncident avec les deux saisons des pluies – la grande saison des pluies allant d'avril à juillet et la petite saison de septembre à octobre. L'élevage est limité et l'activité économique faible, bien que la plupart des gens se consacrent à de petites activités commerciales pour accroître les maigres revenus tirés de l'agriculture. Environ 90 pour cent des communautés interrogées n'ont pas d'eau courante et dépendent du fleuve, des ruisseaux et des pluies pour répondre à leurs besoins en eau.

EFFETS OBSERVÉS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN DE L'OFFIN

Il est possible que les populations autochtones qui vivent dans la zone faisant l'objet de l'étude ne comprennent pas le concept de réchauffement de la planète ou de changement climatique, mais elles observent et ressentent les effets de la baisse des précipitations, de l'augmentation de la température de l'air, de l'intensité croissante du soleil et des changements saisonniers dans le régime des précipitations. Leurs observations sont corroborées par une étude qui a enregistré une réduction des précipitations moyennes annuelles de 22,2 pour cent et une hausse progressive de la moyenne des températures maximales de 1,3 °C ou 4,3 pour cent entre 1961 et 2006 (Gyampoh *et al.*, 2007).

À cause, en partie, de la baisse des précipitations, conjuguée à la déforestation et à la dégradation des forêts, les débits de toutes les masses d'eau du bassin ont été faibles, et certains cours d'eau sont complètement taris (Gyampoh, Idinoba et Amisah, 2008). Le débit du fleuve Offin a diminué, passant de 6,9 m³ par seconde en 1957 à 3,8 m³ par seconde en 2006, soit une réduction de 45 pour cent (Gyampoh



Au plus fort de la saison sèche, le niveau de l'Offin baisse à tel point que les ressources en eau deviennent rares

et al., 2007). Pendant les saisons sèches de 2006, le débit était si faible que le lit du fleuve était exposé, et certains des puits creusés par les communautés pour avoir des disponibilités d'eau toute l'année s'étaient aussi taris, indiquant une réduction possible de l'eau souterraine. L'eau se fait rare à un moment où la demande des communautés s'accroît sous l'effet de la croissance démographique.

L'échec récent des cultures dans le bassin, notamment depuis 2000, a été attribué à la faiblesse des précipitations, à l'absence prolongée de pluies et aux changements du régimes des précipitations. L'agriculture dans le bassin est pluviale, et les agriculteurs ont, au fil des ans, conçu des moyens de prédire l'arrivée de la saison des pluies. Les champs sont défrichés et préparés avant le démarrage des pluies, afin que la campagne agricole puisse commencer dès leur arrivée. Cependant, ces dernières années, le début de la saison des pluies est devenu imprévisible. Certaines années, les premières pluies sont tombées normalement, mais ont été suivies par de longs arrêts imprévus avant de reprendre. Il est donc devenu difficile pour les agriculteurs de planifier leurs campagnes agricoles de façon à les faire coïncider avec l'arrivée des pluies pour obtenir un rendement agricole maximal. Outre l'incertitude de l'époque, les absences prolongées de pluie ont déterminé des situations de sécheresse, où la quantité d'eau du sol ne suffisait pas à la croissance des cultures. Il en est résulté des rendements réduits ou des échecs de cultures.

La hausse des températures et l'ensoleillement intense, conjugués à l'absence prolongée des pluies, font flétrir les cultures. Certains cultivateurs de cacao ont

déclaré que leurs arbres dépérissaient à cause de l'exposition prolongée au soleil, et les horticulteurs soutenaient que les températures élevées faisaient mûrir leurs légumes prématurément, ce qui diminuait la valeur commerciale de leurs produits.

Lorsque les cultures dépérissent, l'argent dépensé pour la préparation du champ et la plantation, ainsi que le revenu tiré de la vente des produits agricoles, est perdu, et les épargnes du ménage sont investies dans la replantation. Les agriculteurs peuvent supporter de mauvaises récoltes occasionnelles, mais ont du mal à s'habituer à une série continue de faibles rendements.

Les maladies liées à la chaleur et à l'eau se répandent de plus en plus dans le bassin. L'incidence du paludisme s'est accrue car les gens s'exposent aux moustiques en dormant en plein air, ou avec les fenêtres ouvertes, pour supporter des températures nocturnes anormalement élevées. Pendant les pénuries prolongées de précipitations, les sources d'eau sont rares, stagnantes et contaminées, ce qui augmente l'incidence de la diarrhée et de la bilharziose. D'après les personnes interrogées, l'herpès et d'autres maladies de la peau, dont certaines ne touchaient que rarement les communautés auparavant, sont désormais fréquentes pendant les longues périodes de températures élevées.

STRATÉGIES TRADITIONNELLES D'ADAPTATION – ET DÉFIS

L'étude a révélé diverses stratégies palliatives appliquées avec des succès mitigés, ce qui donne à penser que le savoir traditionnel local pourrait servir de fondement à l'élaboration de stratégies plus efficaces.

Les personnes qui vivent dans les communautés ayant fait l'objet de l'enquête

se rendent compte que les pénuries d'eau menacent leur survie; elles ont donc conçu plusieurs stratégies pour s'adapter à ce phénomène. L'une d'elles consiste à réutiliser l'eau, par exemple de la lessive ou du lavage des ustensiles, pour arroser les potagers et les pépinières. Les ménages rationnent aussi l'eau, en essayant de réduire la consommation par personne par jour, mais la pratique est abandonnée dès l'arrivée des pluies. Cette stratégie devrait faire partie intégrante du changement de comportement et ne pas être appliquée uniquement pendant les périodes de pénurie d'eau.

La plupart des communautés cherchent activement à remettre en usage la récolte d'eau de pluie, un moyen traditionnel de recueillir et garder l'eau dans de grands tonneaux placés sous le toit des maisons. Cette pratique, largement abandonnée lorsque les communautés ont creusé des puits et des trous de forage, a de nouveau suscité de l'intérêt quand ceux-ci se sont taris. Cependant, la plupart des communautés couvertes par l'étude ont déclaré qu'elles ne pouvaient pas recueillir assez d'eau de pluie dans les conditions climatiques actuelles.

Les autorités traditionnelles et locales ont identifié dans le défrichement de la végétation riveraine l'un des principaux facteurs de l'accroissement de l'érosion du sol et de l'envasement des cours d'eau, ce qui finit par réduire l'écoulement. Les mesures qu'elles prennent pour remédier à ces inconvénients comprennent notamment la sensibilisation des communautés locales aux effets de la déforestation autour des masses d'eau, la mise en garde contre les

En l'absence d'ombre fournie par les arbres, les feuilles des plants de cacao se flétrissent sous le soleil intense





Les ménages ruraux utilisent souvent des tonneaux pour recueillir l'eau de pluie qui ruisselle des toits

feux de brousse, la promotion de la gestion communautaire des forêts et l'imposition d'amendes à ceux qui, sans discernement, incendient les forêts ou défrichent la végétation riveraine, ou qui ignorent d'autres interdictions visant à protéger l'environnement. Cependant, les efforts des autorités traditionnelles ne donnent pas de résultats notables car les communautés, bien qu'encore rurales en termes de développement et d'infrastructures, sont devenues plus cosmopolites ou hétérogènes, et n'obéissent plus aussi strictement que dans le passé à l'autorité traditionnelle. Leur caractère communal tend à se désintégrer; les gens sont maintenant davantage pris par leurs propres intérêts que soucieux du bien-être collectif.

Les tabous traditionnels – par exemple les jours où il était interdit de se rendre au fleuve pour permettre à l'esprit ou au dieu du fleuve de prendre un jour de repos – fournissaient aussi autrefois un moyen de protéger les masses d'eau. Cependant, le respect de ces tabous disparaît avec la modernisation et l'hétérogénéité croissante des communautés. Avec la diffusion du christianisme, les pratiques spirituelles traditionnelles sont désormais considérées comme des superstitions. La religion est une question délicate dans ces communautés, et certaines lois traditionnelles, bien que potentiellement utiles, ne font pas l'objet d'une adhésion totale.

Comme décrit plus haut, le savoir indigène en agriculture et gestion de l'eau, acquis au cours de nombreuses années de pratique, aidait autrefois les communau-

tés à bien s'adapter aux pénuries d'eau, aux sécheresses, aux dommages causés aux cultures et à la perte de récolte, mais les systèmes traditionnels se sont avérés difficiles à appliquer ces derniers temps, à cause des changements dans le régime des précipitations. Les agriculteurs s'adaptent à cette contrainte en pratiquant différentes cultures. Celles qui prospèrent dans les conditions existantes sont de plus en plus pratiquées dans des zones qui, autrefois, ne se prêtaient pas à leur établissement. Un exemple en est donné par l'abandon de la culture du cacao au profit de cultures résistantes à la sécheresse, comme le manioc. Les horticulteurs aussi se déplacent progressivement vers les plaines fluviales, où leurs cultures peuvent obtenir davantage d'eau. Ce sont là des formes d'adaptation, mais elles ne sont évidemment pas durables. La récolte du cacao, par exemple, était une importante source de revenus dans le passé et servait à l'entretien des ménages ruraux, à l'achat d'intrants agri-

coles et à l'expansion de l'exploitation. Le défrichage de la végétation riveraine et l'emploi de produits agricoles chimiques près des rivières et des ruisseaux nuisent à l'environnement et, finalement, aux habitants de la région.

La plupart des agriculteurs reconnaissent l'importance de planter des arbres sur leur exploitation, afin de fournir de l'ombre à leurs cultures et de les protéger contre l'intensité du soleil. Cependant, la plantation d'arbres ne les intéresse guère car ils ont eu de mauvaises expériences avec les entreprises d'exploitation forestière (voir l'encadré ci-dessous) et les bûcherons illégaux armés de scies à chaîne qui piétinaient leurs récoltes. Des programmes de sensibilisation soutenus sont nécessaires pour mettre les agriculteurs ruraux au courant de leurs droits, leur conférer la responsabilité nécessaire à la protection de leurs exploitations et, plus important encore, leur apprendre à planter davantage d'arbres.

Adaptation aux changements climatiques par la plantation d'arbres sur l'exploitation: contrecarrer un effet dissuasif

Jusqu'en 2002, tous les arbres forestiers du Ghana étaient détenus en fiducie par le gouvernement en faveur de la population, et le gouvernement pouvait donner en concession n'importe quelle superficie de terre à une entreprise d'exploitation forestière. Les cultures étaient parfois détruites par des marchands de bois qui déclaraient qu'ils étaient autorisés à abattre les arbres dans les concessions qui empiétaient sur des terres agricoles. Pour protéger leurs cultures, certains agriculteurs tuaient délibérément les arbres présents sur leurs exploitations; la plantation d'arbres n'avait donc guère d'intérêt pour eux.

La modification de la loi de 2002, relative à la gestion des ressources forestières, stipule que le droit de récolter des arbres et d'extraire le bois d'une superficie donnée de terre ne sera pas octroyé si cette terre est occupée par une exploitation agricole, sauf si le propriétaire de l'exploitation donne son accord, ou si les arbres font partie de la terre en vertu des droits d'un particulier ou d'un groupe de particuliers. Cette loi n'a toutefois pas beaucoup amélioré les relations entre marchands de bois et agriculteurs, car la plupart de ces derniers ne possèdent pas d'acte prouvant que les arbres poussant sur leurs exploitations leur

appartiennent (soit la preuve qu'ils les ont plantés ou entretenus jusqu'à leur maturité). Les agriculteurs ignorent bien souvent les lois forestières et n'ont pas les moyens financiers des marchands de bois. Cependant, grâce aux efforts de quelques organisations non gouvernementales pour éduquer les agriculteurs en matière de lois forestières et les aider à obtenir la documentation prouvant la propriété des arbres plantés, certains agriculteurs commencent maintenant à planter des arbres sur leurs exploitations ou à protéger ceux qui y sont.

En raison de l'inefficacité de la législation précédente et du manque d'information sur leurs droits actuels, les agriculteurs ont parfois tué les arbres présents sur leurs exploitations (par annélation, par exemple) pour éloigner les entreprises d'exploitation forestière.





Bibliographie

LE CHEMIN À SUIVRE

Le succès partiel de l'utilisation du savoir traditionnel dans les stratégies d'adaptation aux changements climatiques mène à la conclusion qu'un rapport sain entre les connaissances scientifiques et le savoir traditionnel ou indigène – qui ont tous deux leurs limites – serait souhaitable, notamment dans les pays en développement où les techniques de prévision et de modélisation sont le moins développées. Bien que la plupart des modèles de précipitations et des données enregistrent principalement la variation du volume des précipitations, les populations autochtones tiennent aussi compte de la régularité, de la durée, de l'intensité et du moment des précipitations. L'incorporation ou non des modèles scientifiques dans les explications locales dépend de la position et de l'accessibilité de la science au sein d'une culture et de l'influence des moyens de communication (Salick et Byg, 2007).

Pour exploiter, développer, étendre et rationaliser les mesures d'adaptation locales et les introduire dans des stratégies d'adaptation mondiales, le savoir traditionnel doit être analysé, soutenu et intégré dans la recherche scientifique. Il est moins coûteux de faire appel aux connaissances indigènes que d'apporter des secours à des populations peu préparées aux catastrophes et aux désastres, ou que d'importer des mesures d'adaptation qui sont normalement appliquées du sommet à la base et difficiles à mettre en œuvre, notamment en raison de contraintes financières et institutionnelles.

On peut beaucoup apprendre des approches indigènes, traditionnelles et à assise communautaire concernant la préparation aux catastrophes naturelles. Les populations autochtones confrontées depuis des millénaires à des environnements en évolution ont élaboré une vaste panoplie de stratégies d'adaptation; leur savoir traditionnel leur permet de faire face aux défis encore plus grands que promet le changement climatique. Il est probable que leurs stratégies ne réussiront pas entièrement, mais elles font preuve d'une certaine efficacité, ce qui explique pourquoi les populations continuent à les appliquer. S'il est vrai qu'il faudra aux communautés locales beaucoup de soutien pour s'adapter aux changements climatiques, il n'en demeure pas moins qu'elles ont aussi des compétences à offrir en matière d'adaptation, grâce à leurs mécanismes traditionnels passés à l'épreuve du temps. ♦

Elias, D., Rungmanee, S. et Cruz, I. 2005. The knowledge that saved the sea gypsies. *A World of Science*, 3(2): 20–23.

Ghana Environmental Protection Agency. 2000. Ghana's initial national communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Accra, Ghana.

GIEC (Grouped'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2007. *Climate change 2007: the physical science basis*, éd. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M.B. Tignor, H.L. Miller Jr. et Z. Chen. Contribution du groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis, Cambridge University Press.

Gyampoh, B.A., Idinoba, M. et Amisah, S. 2008. Water scarcity under a changing climate in Ghana: options for livelihoods adaptation. *Development*, 51: 415–417.

Gyampoh, B.A., Idinoba, M., Nkem, J. et Amisah, S. 2007. Adapting watersheds to climate change and variability in West Africa – the case of Offin River basin in Ghana. In *Proceedings, Third International Conference on Climate and Water*, p. 205–213. Helsinki, Finlande, Finnish Environment Institute (SYKE).

Hulme, M., Doherty, R.M., Ngara, T., New, M.G. et Lister, D. 2001. African climate change: 1900–2100. *Climate Research*, 17: 145–168.

Malhi, Y. et Wright, J. 2004. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society Series B*, 359: 311–329.

Salick, B. et Byg, A., éd. 2007. *Indigenous peoples and climate change*. Oxford, Royaume-Uni, Tyndall Centre for Climate Change Research.

Smith, J.B., Ragland, S.E. et Pitts, G.J. 1996. A process for evaluating anticipatory adaptation measures for climate change. *Water, Air and Soil Pollution*, 92: 229–238. ♦

Changement climatique et produits forestiers non ligneux: vulnérabilité et adaptation en Afrique de l'Ouest

M. Idinoba, F. Kalame, J. Nkem, D. Blay et Y. Coulibaly

Monica Idinoba, Fobissie Kalame et Yacouba Coulibaly travaillent au Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR), Ouagadougou (Burkina Faso).

Johnson Nkem travaille au CIFOR, Bogor (Indonésie).

Dominic Blay appartient à l'Institut pour la recherche forestière du Ghana, Kumasi (Ghana).

En Afrique de l'Ouest, les écosystèmes forestiers fournissent de nombreux produits forestiers non ligneux (PFNL) comprenant des aliments, des médicaments et des matériaux de construction, qui sont précieux pour les moyens d'existence ruraux et les économies nationales. Ces dernières années, la sous-région a connu des sécheresses extrêmes (dus à la fréquence réduite des précipitations), en même temps que des inondations (souvent provoquées par d'intenses pluies sporadiques, conjuguées à un couvert forestier limité), qui ont nui à la régénération naturelle et à la survie des ressources.

Des recherches menées par le projet relatif aux forêts tropicales et à l'adaptation au changement climatique (TroFCCA) du Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR), auprès de certaines communautés locales du nord du Burkina Faso, soulignent la forte réduction de la répartition et de la disponibilité de certaines espèces de PFNL et la grande variabilité de leur productivité, ce qui rend les communautés tributaires de la forêt encore plus vulnérables. Ces changements sont attribués à la hausse des températures et à la variation des régimes de précipitations, combinées aux activités humaines telles que la déforestation, l'expansion de l'agriculture, la surexploitation, les feux de brousse annuels et le surpâturage.

Dans certains endroits, par exemple les villages de Djomga et de Gnalalaye, des espèces forestières productrices de précieux PFNL (*Adansonia digitata*, *Diospyros mespiliformis* et *Anogeissus leiocarpus*, par exemple) ont disparu. Bien que l'extinction d'espèces ne soit pas entièrement liée à la variabilité et au changement du climat, d'après les communautés locales les sécheresses périodiques ont fortement contribué aux changements de la composition des espèces – une impression qui coïncide avec les conclusions du Programme

d'action national pour l'adaptation. Le terme «changement climatique» n'existe pas dans le lexique du climat des communautés locales, mais ces dernières mentionnent sans hésiter la quantité réduite des précipitations, la hausse des températures et les différences observables dans les conditions climatiques au fil des décennies; elles voient dans la perte de certaines espèces des preuves locales de changements dus au climat, notamment dans les zones sahéliennes.

Différentes mesures d'adaptation ont été élaborées pour réduire la vulnérabilité à l'aide de pratiques de gestion forestière et de conservation. Au Burkina Faso, le programme de reboisement et de boisement du gouvernement vise au zonage écologique de certaines espèces arborescentes à la suite du déplacement vers le sud des modèles de précipitations, afin de faciliter l'évolution de l'écosystème forestier face aux changements actuels et prédits des conditions climatiques. Les agriculteurs préservent et protègent des espèces forestières particulièrement utiles (*Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Adansonia digitata*, par exemple) sur leurs exploitations, afin d'assurer un approvisionnement constant en PFNL. Les institutions de recherche de la région (par exemple, l'Institut pour la recherche forestière du Ghana, l'Institut de l'environnement et de recherches agricoles et le Centre national de semences forestières du Burkina Faso, et la Division des forêts de l'Institut d'économie rurale au Mali) améliorent la résistance et l'adaptation d'espèces arborescentes utiles aux sécheresses et aux feux de brousse.

Le principal obstacle à l'efficacité de ces mesures est l'approvisionnement insuffisant en matériel végétal amélioré dû à l'absence de ressources financières adéquates. En outre, la sous-région manque à l'heure actuelle d'un processus dynamique de planification participative comprenant toutes les parties prenantes aux niveaux local, du district et national, utilisant une approche forestière axée sur l'écosystème qui prévoit la surveillance et l'évaluation continues, ce qui est indispensable pour une adaptation efficace.

Pour plus d'informations sur le travail du projet TroFCCA en Afrique de l'Ouest, voir: www.cifor.cgiar.org/trofcca/_ref/africa/index.htm



Reboisement à l'aide d'*Euphorbia balsamifera*, une source de produits médicinaux, à Dori, Burkina Faso

Impacts des changements climatiques sur les biens et services des forêts de montagne européennes

M. Maroschek, R. Seidl, S. Netherer et M.J. Lexer

Un examen de la vulnérabilité probable de l'écosystème et des impacts sur les produits et services forestiers résultant des changements climatiques prévus dans les forêts de montagne européennes – ainsi que de quelques solutions d'adaptation possibles.

Contrairement à de nombreuses autres zones montagneuses du monde, celles d'Europe se caractérisent par de fortes densités de population et, partant, doivent satisfaire un grand nombre d'exigences environnementales potentiellement conflictuelles. Les écosystèmes forestiers sont les éléments clés de la matrice des utilisations foncières de ces zones, fournissant une variété de biens et services aux moyens d'existence humains. Cependant, les changements climatiques prévus pourraient compromettre ces services à cause de la forte exposition à laquelle sont soumis les écosystèmes de montagne européens.

Dans les Alpes, par exemple, l'augmentation totale de la température observée au cours de la seconde moitié du XX^e siècle était le double environ de la moyenne mondiale. Les projections régionales des modèles climatiques de pointe montrent que cette tendance se poursuivra pendant le XXI^e

siècle, avec un réchauffement escompté d'environ 3,5 à 4 °C en été et d'une valeur à peine inférieure aux autres saisons entre aujourd'hui et 2100 (Christensen *et al.*, 2007). Les changements dans les régimes des précipitations et des tempêtes de vent sont encore extrêmement incertains et seront fortement influencés par l'hétérogénéité géomorphologique locale des paysages de montagne. Dans les zones montagneuses d'Europe centrale, le régime des précipitations devrait se caractériser par un accroissement de l'humidité en hiver et des étés de plus en plus secs. On prévoit que cette tendance s'affirmera encore en Méditerranée, où l'on s'attend à ce que la baisse évidente des précipitations pendant la période de végétation enregistre une

Les forêts de montagne fournissent de multiples biens et services aux communautés locales, comme dans la vallée du Stubai dans les Alpes centrales, en Autriche



Michael Maroschek, Rupert Seidl et Manfred J. Lexer travaillent à l'Institut de sylviculture, et **Sigrid Netherer** à l'Institut d'entomologie, de pathologie et de protection forestières. Ils appartiennent tous au Département des forêts et des sciences du sol, Université des ressources naturelles et des sciences appliquées de la vie (BOKU), Vienne (Autriche).

M. MAROSCHKE

augmentation sous l'effet d'un réchauffement, qui pourrait atteindre 4 °C d'ici à la fin du XXI^e siècle (Christensen *et al.*, 2007).

Le présent article examine les facteurs de vulnérabilité de l'écosystème, les impacts futurs sur les biens et services, et les moyens d'adaptation éventuels par rapport aux variations escomptées de la température dans les forêts de montagne méditerranéennes en Europe. Il examine les principaux systèmes montagneux de ces zones climatiques, à savoir les Alpes, les Carpates et les Pyrénées, et couvre une grande variété de types actuels de forêts, allant des forêts thermophiles feuillues sempervirentes et des forêts de conifères sèches aux forêts de conifères alpins et aux forêts décidues tempérées continentales. Cet examen fait partie d'une synthèse paneuropéenne récente réalisée en profondeur sur les changements climatiques et les forêts (Lindner *et al.*, 2008).

VULNÉRABILITÉ DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS

Les changements qui surviennent dans les températures, la disponibilité d'eau et le régime des perturbations détermineront probablement des variations de la productivité des écosystèmes forestiers, notamment ceux qui sont déjà limités par la température ou l'absence d'eau. Une teneur en CO₂ atmosphérique accrue influencera probablement aussi la productivité, mais on n'en connaît pas encore entièrement l'effet sur différentes espèces arborescentes (Körner *et al.*, 2005).

À des altitudes supérieures, les températures plus élevées et un milieu environnemental moins âpre ont déjà augmenté les taux de croissance. La prolongation continue de la période de végétation pourrait intensifier ce phénomène, tout en stimulant un bourgeonnement précoce qui, à son tour, risque d'accroître la susceptibilité des arbres aux gelées tardives. Néanmoins, une tendance de croissance positive devrait se poursuivre, en particulier dans les sites qui ne souffrent pas de pénurie d'eau (Bolli, Rigling et Bugmann, 2007).

À des altitudes inférieures et dans les vallées alpines intérieures sèches, les changements du régime des précipitations et les températures croissantes pourraient provoquer le stress dû à la sécheresse, et diminuer par là même la productivité. Ce phénomène a déjà été observé récemment, par exem-

Forêt subalpine de *Picea abies* infestée par le scolyte *Ips typographus*, déjà favorisé par les changements de température et le stress accru dû à la sécheresse, qui rendent les arbres hôtes plus vulnérables (encart: galeries larvaires caractéristiques de *I. typographus*)



ple en Suisse dans la vallée supérieure du Rhône (Rebetez et Dobbertin, 2004).

Une augmentation du stress dû à la sécheresse risque aussi d'accroître la vulnérabilité des forêts de montagne à des agents de perturbation biotiques, dont les conséquences vont de la mortalité accrue des arbres au niveau du peuplement à des répercussions très graves à grande échelle si le seuil de résistance du système est dépassé (Raffa *et al.*, 2008).

Un temps plus chaud et plus sec expose aussi davantage les écosystèmes forestiers alpins aux facteurs abiotiques. Des périodes de sécheresse, notamment en hiver et au printemps, promeuvent les incendies de forêt, qui devraient, selon les prévisions, augmenter non seulement dans les zones des Pyrénées déjà arides et touchées par le feu, mais aussi dans les Alpes, où les feux de friches n'ont revêtu dans le passé qu'une importance secondaire (Reinhard, Rebetez et Schlaepfer, 2005; Schumacher et Bugmann, 2006). Bien que l'influence des changements climatiques sur la fréquence et la gravité des tempêtes soit encore incertaine, le nombre accru d'ouragans qui ont ravagé certaines zones d'Europe centrale au cours des deux décennies écoulées (tels que «Viviane» en 1990, «Lothar» en 1999, «Kyrill» en 2007) met bien en évidence la susceptibilité croissante des forêts.

Les dommages abiotiques sont le principal facteur qui contribue au risque de perturbation biotique, comme les attaques de défoliateurs (Battisti, 2004, par exemple) et les infestations massives d'espèces secondaires de scolytes (Nierhaus-Wunderwald et Forster, 2000). Les forêts d'épinettes de Norvège (*Picea abies*) compromises par le

stress dû à la sécheresse ou le chablis sont fortement prédisposées aux attaques des scolytes de l'épinette *Ips typographus* et *Pityogenes chalcographus*, qui bénéficient aussi des températures estivales et hivernales accrues (Wermelinger, 2004). À l'heure actuelle, la répartition dans l'espace des essences hôtes s'étend au-delà de l'aire de répartition thermique des scolytes, mais une hausse des températures favorables aux insectes déclenchera sans doute des infestations de scolytes dans les forêts de conifères situées à des altitudes plus élevées (Seidl *et al.*, 2009).

Bien que le développement de nombreux organismes hétérothermes (dont la température corporelle varie en fonction de la température environnante, par exemple les insectes) soit lié positivement aux températures en hausse, des effets négatifs ne sont pas à exclure pour certaines espèces de ravageurs. L'augmentation de la température hivernale pourrait compromettre l'inhibition ou le maintien de la diapause (état de dormance permettant aux arthropodes de survivre dans des conditions défavorables), accroître les taux de mortalité des stades d'hivernage ou interdire la synchronie entre hôtes et herbivores (Bale *et al.*, 2002; Battisti, 2004). En Suisse, par exemple, les densités de pointe des populations et, dès lors, l'incidence et l'intensité des infestations de la tordeuse des bourgeons du mélèze, *Zeiraphera diniana* (un défoliateur cyclique des peuplements alpins internes de mélèzes), ont accusé un recul au cours des 30 dernières années, parallèlement à la tendance au réchauffement climatique, en raison probablement de la mortalité accrue des œufs et des larves (Esper *et al.*, 2007).

Dans l'ensemble, les études de simulation ont montré que les niches des essences forestières sont extrêmement sensibles aux changements climatiques; de ce fait, la répartition et la composition des espèces pourraient être altérées. Dans les Alpes et les Carpates, l'aire de répartition potentielle des essences décidues devrait s'étendre davantage que celle des conifères (Lexner *et al.*, 2002; Skvarenina, Krizova et Tomlain, 2004). Dans le Montseny en Espagne, par exemple, les aires de répartition de *Quercus ilex* et *Fagus sylvatica* se sont déjà déplacées vers des altitudes majeures au cours de ces dernières décennies (Peñuelas *et al.*, 2007). La limite des arbres s'élèvera aussi lorsque des microsites adaptés se seront établis, suite à la baisse de mortalité des arbres et à la hausse de croissance et de reproduction dans les endroits où la température est actuellement un facteur de limitation. C'est ainsi qu'un déplacement vers le haut de la limite de la zone arborée dominée par *Picea abies* et *Pinus cembra*, dans les Alpes, a déjà été observé ces dernières années. Toutefois, ces limites forestières sont sensibles non seulement à l'évolution du climat, mais aussi aux changements d'affectation des terres qui peuvent soit atténuer soit amplifier les effets climatiques (Gehrig-Fasel, Guisan et Zimmermann, 2007).

IMPACTS POTENTIELS SUR LES BIENS ET SERVICES FORESTIERS

La vulnérabilité des écosystèmes forestiers décrite plus haut exercera des impacts considérables sur les biens et services des forêts de montagne. La production de bois variera non seulement à cause de la baisse de productivité, mais aussi de pertes possibles imputables à des perturbations biotiques et abiotiques, en particulier dans les peuplements de conifères des Alpes et des Carpates (Seidl *et al.*, 2009). Cependant, les changements climatiques élargiront aussi la gamme des essences dans de nombreux écosystèmes forestiers de montagne, réduisant les limitations écophysiologiques d'un grand nombre de feuillus.

Le service de piégeage du carbone est partiellement lié aux changements de productivité. Les forêts des Alpes devraient conserver leur rôle de puits de carbone pendant la première moitié environ du XXI^e siècle. Plus tard au cours du siècle, les taux croissants de respiration et la fréquence accrue des perturbations pourraient provoquer l'affaiblissement de la fonction de puits de carbone, et les forêts risquent même de devenir une source de carbone atmosphérique. Enfin, l'environnement socioéconomique – y compris la demande de biomasse forestière, les prix du marché pour le piégeage du carbone et

les changements d'affectation des terres – déterminera si les forêts de montagne européennes resteront ou non un puits de carbone (Zierl et Bugmann, 2007).

Un important service procuré par les forêts en faveur des régions montagneuses, aussi bien que des zones habitées adjacentes, est la fourniture d'eau potable. Des perturbations à grande échelle pourraient accroître le ruissellement et, partant, réduire l'eau stockée dans les bassins versants. Il en résulterait une diminution de la sécurité hydrique, ainsi qu'une augmentation de l'érosion du sol, des inondations et des coulées de débris. En outre, la décomposition accélérée des matières organiques due aux ouvertures du couvert (imputables aux perturbations) et la hausse des températures pourraient stimuler le lessivage des nitrates et d'autres éléments nutritifs, diminuant par là même la qualité de l'eau (Jandl *et al.*, 2008). L'amenuisement des glaciers provoqué par le climat risque de menacer le bilan hydrique dans certaines régions alpines internes. Le retrait des glaciers pourrait compromettre leur fonction d'équilibrage des débits des cours d'eau pendant les mois chauds et secs de l'été, réduisant ainsi la disponibilité d'eau (Zappa et Kan, 2007).

La protection contre les catastrophes naturelles, comme les inondations, les coulées de débris, les glissements de terrain, les éboulis et les avalanches, est un service écosystémique d'une très grande importance dans les zones de montagne densément peuplées. Les impacts nets des changements climatiques sur cette fonction de la forêt seront un résultat des effets combinés sur la dynamique forestière et sur l'ampleur et la fréquence de tels phénomènes dangereux. D'une manière générale, les perturbations croissantes, telles que les infestations de scolytes, les chablis et les incendies, exerceront un impact néfaste sur les fonctions de protection des forêts (Schumacher et Bugmann, 2006). En revanche, une limite forestière ascendante pourrait renforcer la protection contre les dangers en stabilisant les masses érodables, en réduisant les zones de démarrage des avalanches, en diminuant le ruissellement grâce à une meilleure interception et consommation de l'eau, et en stabilisant les sols par un enracinement plus profond et plus intense.

Une limite d'arbres ascendante pourrait aussi influencer la conservation de la bio-



Des forêts de protection abritent le village autrichien de Hallstatt, dans les Alpes calcaires du nord, contre les éboulis, les avalanches et les coulées de débris – fonctions qui pourraient être influencées par une perturbation accrue des forêts sous l'effet des changements climatiques



La limite forestière dominée par *Picea abies* sur le mont Speikkogel, en Autriche, est particulièrement sensible aux changements climatiques; une limite forestière ascendante devrait stabiliser les arbres et assurer une meilleure protection contre les dangers, mais la biodiversité risque d'en souffrir

diversité. Il est probable que la diversité des espèces végétales dans les zones alpines et nivales souffre des déplacements vers le haut de la forêt subalpine et des communautés arbustives, telles que la ceinture de *Pinus mugo* dans les Alpes (Theurillat *et al.*, 1998). Cependant, dans les forêts gérées, où la biodiversité est fortement influencée par les interventions de gestion forestière, la concurrence croissante des communautés forestières décidues riches en espèces aux altitudes plus élevées pourrait s'avérer, dans l'ensemble, favorable à la conservation de la biodiversité.

PERSPECTIVES: BESOINS ET SOLUTIONS EN MATIÈRE D'ADAPTATION

Dans de nombreux écosystèmes forestiers européens de montagne, il faudra prendre des mesures d'adaptation pour contrebalancer les impacts préjudiciables des changements climatiques et conserver les biens et services écosystémiques. On devra tenir compte des conditions biophysiques et socioéconomiques locales dans l'élaboration de ces mesures. C'est pourquoi nous n'examinons ici qu'un ensemble de solutions générales aptes à adapter la gestion des forêts à l'évolution du climat.

Le choix du matériel forestier de reproduction adapté, à savoir provenances et génotypes, et d'espèces capables de supporter les conditions futures prévues est d'une importance capitale pour la foresterie durable. Il est possible d'atténuer les effets prévus des sécheresses en établissant des

peuplements plus espacés et en adaptant les systèmes d'entretien et d'éclaircie (Spiecker, 2003). Lors des périodes d'évolution des régimes de perturbation, des mesures préventives de protection des forêts (surveillance des ravageurs, par exemple) et correctives (coupe d'assainissement, lutte contre les ravageurs, par exemple) sont essentielles pour réduire au minimum les effets défavorables des perturbations sur la fourniture de biens et services forestiers. Pour renforcer la fonction de protection, le maintien d'un couvert continu est important; cela exige des pratiques d'entretien et d'éclaircie visant à stabiliser au maximum les peuplements forestiers et à stimuler la régénération. En outre, la présence d'un couvert forestier structuré et continu assure une meilleure fourniture d'eau potable. L'application des mesures nécessaires sur un terrain alpin complexe peut être complétée par des infrastructures forestières améliorées (planification du réseau routier, par exemple). De plus, les solutions de gestion adaptatives seraient plus efficaces si d'autres pressions sur les écosystèmes forestiers de montagne, comme le broutage des ruminants et le dépôt de polluants, étaient réduites. D'une manière générale, la gestion intégrée de l'environnement est nécessaire dans les régions montagneuses d'Europe, notamment là où des changements d'affectation des terres (l'abandon des pâturages alpestres d'altitude, par exemple) altèrent fortement la structure du paysage.

La mise en œuvre de mesures d'adaptation efficaces dépend beaucoup de la disponibilité de ressources humaines et de compétences. Cependant, les connaissances de base concernant les forêts de montagne européennes sont asymétriques sous l'angle du sujet ciblé et de l'emplacement. Des recherches approfondies ont été menées davantage sur les Alpes, par exemple, que

sur les Carpates et les Pyrénées. La production de bois est le service étudié le plus fréquemment, alors que rares sont les études qui traitent explicitement des impacts de l'évolution du climat sur la fourniture d'eau potable de qualité élevée, les loisirs ou les produits forestiers non ligneux. Une gestion adaptative réussie devra combler de graves lacunes dans la compréhension des impacts des changements climatiques sur des forêts de montagne polyvalentes.

En outre, la recherche ciblée sur la mise en œuvre de stratégies d'adaptation s'impose de toute urgence. La conception et l'application de systèmes d'aide à la prise de décisions axés sur le climat, ainsi que la participation des parties prenantes, peuvent faciliter ce processus et traduire les conclusions de la recherche en mesures d'adaptation opérationnelles. Les scientifiques, les décideurs et les praticiens devront se mobiliser pour créer les capacités aptes à relever le défi de la gestion durable des forêts de montagne dans des conditions climatiques en évolution. ♦



Bibliographie

- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T.M., Brown, V.K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J.C., Farrar, J., Good, J.E.G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T.H., Lindroth, R.L., Press, M.C., Symrnioudis, I., Watt, A.D. et Whittaker, J.B. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8: 1–16.
- Battisti, A. 2004. Forests and climate change – lessons from insects. *Forest*, 1(1): 17–24.
- Bolli, J.C., Rigling, A. et Bugmann, H. 2007.

- The influence of changes in climate and land-use on regeneration dynamics of Norway spruce at the treeline in the Swiss Alps. *Silva Fennica*, 41(1): 55–70.
- Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A. et Whetton, P.** 2007. Regional climate projections. In *Climate change 2007: the physical science basis*. Contribution du Groupe de travail I au quatrième rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat. Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis, Cambridge University Press.
- Esper, J., Büntgen, U., Frank, D.C., Nievergelt, D. et Liebhold, A.** 2007. 1200 years of regular outbreaks in alpine insects. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274: 671–679.
- Gehrig-Fasel, J., Guisan, A. et Zimmermann, N.E.** 2007. Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment? *Journal of Vegetation Science*, 18(4): 571–582.
- Jandl, R., Herman, F., Smidt, S., Butterbach-Bahl, K., Englisch, M., Katzensteiner, K., Lexer, M., Strebl, F. et Zechmeister-Boltenstern, S.** 2008. Nitrogen dynamics of a mountain forest on dolomitic limestone – a scenario-based risk assessment. *Environmental Pollution*, 155: 512–516.
- Körner, C., Aschhoff, R., Bignucolo, O., Hättenschwiler, S., Keel, S.G., Peláez-Riedl, S., Pepin, S., Siegwolf, R.T.W. et Zotz, G.** 2005. Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO₂. *Science*, 309: 1360–1362.
- Lexer, M.J., Hönninger, K., Scheffinger, H., Matulla, C., Groll, N., Kromp-Kolb, H., Schadauer, K., Starlinger, F. et Englisch, M.** 2002. The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climatic change: a large-scale risk assessment based on a modified gap model and forest inventory data. *Forest Ecology and Management*, 162(1): 53–72.
- Lindner, M., Garcia-Gonzalo, J., Kolström, M., Geen, T., Reguera, R., Maroschek, M., Seidl, R., Lexer, M.J., Netherer, S., Schopf, A., Kremer, A., Delzon, S., Barbati, A., Marchetti, M., et Corona, P.** 2008. *Impacts of climate change on European forests and options for adaptation*. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development. AGRI-2007-G4-06. Bruxelles, Belgique.
- Nierhaus-Wunderwald, D. et Forster, B.** 2000. *Rindenbrütende Käfer an Föhren*. Merkblatt für die Praxis n° 31. Birmensdorf, Suisse, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL).
- Peñuelas, J., Ogaya, R., Boada, M. et Jump, A.S.** 2007. Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). *Ecography*, 30(6): 829–837.
- Raffa, K.F., Aukema, B.H., Bentz, B.J., Carroll, A.L., Hicke, J.A., Turner, M.G. et Romme, W.H.** 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *BioScience*, 58(6): 501–517.
- Rebetz, M. et Dobbertin, M.** 2004. Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. *Theoretical and Applied Climatology*, 79(1–2): 1–9.
- Reinhard, M., Rebetetz, M. et Schlaepfer, R.** 2005. Recent climate change: rethinking drought in the context of forest fire research in Ticino, south of Switzerland. *Theoretical and Applied Climatology*, 82(1–2): 17–25.
- Schumacher, S. et Bugmann, H.** 2006. The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. *Global Change Biology*, 12: 1435–1450.
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Lindner, M. et Lexer, M.J.** 2009. Modelling bark beetle disturbances in a large scale forest scenario model to assess climate change impacts and evaluate adaptive management strategies. *Regional Environmental Change*. (Sous presse; disponible sur Internet: <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-008-0068-2>)
- Skvarenina, J., Krizova, E. et Tomlain, J.** 2004. Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia. *Ekologia Bratislava*, 23 (suppl. 2): 13–29.
- Spiecker, H.** 2003. Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe – temperate zone. *Journal of Environmental Management*, 67(1): 55–65.
- Theurillat, J.-P., Felber, F., Geissler, P., Gobat, J.-M., Fierz, M., Fischlin, A., Küpfer, P., Schüssel, A., Velluti, C., Zaho, G.-F. et Williams, J.** 1998. Sensitivity of plant and soil ecosystems of the Alps to climate change. In P. Cebon, U. Dahinden, H.C. Davies, D. Imboden et C.C. Jaeger, éd. *Views from the Alps: regional perspectives on climate change*, p. 225–308. Cambridge, Massachusetts, États-Unis, MIT Press.
- Wermelinger, B.** 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202: 67–82.
- Zappa, M. et Kan, C.** 2007. Extreme heat and runoff extremes in the Swiss Alps. *Natural Hazards and Earth System Science*, 7(3): 375–389.
- Zierl, B. et Bugmann, H.** 2007. Sensitivity of carbon cycling in the European Alps to changes of climate and land cover. *Climatic Change*, 85(1–2): 195–212. ♦



LA FAO ET LA FORESTERIE

Alfred John Leslie (1921-2009)

Alfred (Alf) John Leslie, ancien directeur de la Division des industries forestières de la FAO, s'est éteint paisiblement à Te Awamutu (Nouvelle-Zélande), le samedi 24 janvier 2009, peu avant son quatre-vingt-huitième anniversaire. Il sera vivement regretté.

Alf Leslie était un forestier dynamique et stimulant, doté d'une énergie sans limites, et un conseiller sage et apprécié. Il encourageait les débats vigoureux et a influencé les décisions et réalisations en matière de foresterie pendant de nombreuses décennies, non seulement en Océanie mais aussi dans le monde entier. Il exigeait pour lui-même un haut niveau de perfection pour appliquer ses connaissances, défier les obstacles, inspirer autrui et surtout être responsable de ses propres décisions et actions, et il encourageait les autres à en faire autant.

Alf était né à Melbourne (Australie) en 1921. Après ses études secondaires, il a reçu une bourse de la Victoria Forests Commission pour l'École forestière, Creswick, Victoria, où il a étudié de 1938 à 1940. Il a servi activement dans la Marine royale australienne pendant la seconde guerre mondiale. Après s'être remis des blessures reçues pendant la guerre, Alf a été en poste à Taggerty auprès de la Victoria Forests Commission, avant d'obtenir en 1949 son diplôme universitaire en sciences forestières à l'Université de Melbourne. Jean et Alf se sont mariés en 1948.

Alf a travaillé en qualité de forestier pour la Victoria Forests Commission (1949-1951), puis comme dirigeant du service du bois et forestier principal à l'Australian Paper Mills (1951-1958) à Victoria (Australie), ce qui lui a assuré une bonne connaissance du terrain, notamment en matière de plantations forestières.

La carrière internationale d'Alf Leslie a débuté quand il a été recruté par la FAO en qualité de maître de conférences à l'Université d'Ibadan, au Nigéria, de 1964 à 1966. Après un bref retour en Australie à l'Institut de recherches forestières de Canberra (1966-1968), Alf a poursuivi sa carrière internationale, en tant qu'économiste forestier au siège de la FAO à Rome (1968-1974) et plus tard comme directeur de la Division des industries forestières de la FAO (1977-1981), où il s'est distingué avant de prendre sa retraite, tout d'abord en Australie puis en Nouvelle-Zélande. Grâce à son énergie inlassable, il a continué d'écrire et d'agir en qualité de consultant pour la FAO et l'Organisation internationale des bois tropicaux (OIBT) jusqu'en 2008.

Alf était un écrivain prolifique et avait un talent particulier pour communiquer ce qu'il savait; un grand nombre de ses ouvrages sont devenus des classiques dans leur domaine. Il aimait stimuler et inspirer les jeunes esprits. Il a enseigné à l'Université de Melbourne, Victoria (Australie), de 1958 à 1964, tout en préparant sa maîtrise de sciences forestières. Il a aussi enseigné à l'Université de Canterbury, Christchurch (Nouvelle-Zélande) de 1974 à 1976, et été conférencier invité à l'Université d'Oxford (Royaume-Uni) et à l'Université nationale d'Australie. Il a supervisé de nombreuses thèses de doctorat au fil du temps. En reconnaissance des services rendus à la foresterie



internationale, Alf a reçu en 1994 un doctorat honoraire en sciences forestières de l'Université de Melbourne.

En 2001, il a reçu la médaille régionale de la Commonwealth Forestry Association pour sa contribution à la foresterie mondiale. En outre, la prime de l'International Forest Engineering Achievement du Conseil d'ingénierie forestière lui a été décernée en 2007. Alf a été également président de l'Union internationale des sociétés de forestiers.

Alf a toujours défié les points de vue conventionnels; au moment où la plupart des forestiers cherchaient à comprendre comment agir en matière forestière, lui cherchait à savoir pourquoi. Mais il respectait aussi profondément le travail de ses prédécesseurs; il estimait que

si les forestiers avaient une meilleure compréhension du passé, ils seraient mieux équipés pour s'occuper de l'avenir. Il s'intéressait à maintes choses et déplorait la spécialisation croissante de la société moderne.

En tant que jeune forestier, j'ai eu le privilège d'assister au discours liminaire prononcé par Alf à la Conférence de l'Institut des forestiers d'Australie et de Nouvelle-Zélande en 1980, où il a pris la parole après le Premier Ministre de Nouvelle-Zélande. Le thème était l'avenir des plantations forestières en Nouvelle-Zélande. Alf a commencé son discours en demandant: «L'avenir selon qui? le gouvernement? le Service forestier? le secteur privé? les écologistes? ou le public?» Son allocution a déclenché un débat qui a duré non seulement pendant la conférence, mais tout au long des décennies qui ont suivi, lors de la réforme du secteur forestier en Nouvelle-Zélande, la vente d'avoirs de l'État au secteur privé et la division des domaines forestiers en forêts de protection et forêts de production.

Alf Leslie a semé des idées riches et stimulantes dans l'esprit des jeunes forestiers. C'est donc un hommage approprié que lui rendent sa famille et ses collègues du monde entier en contribuant au Fonds commémoratif Alf Leslie. Ce Fonds servira à établir un bosquet à l'École forestière, Creswick, Victoria (Australie), qui continuera à servir de jeunes forestiers dans leur apprentissage. Ceux qui le souhaitent peuvent verser leur contribution sur le compte suivant:

Nom du titulaire: LJ Leslie, Alf Leslie Memorial Fund

Numéro de compte: 03-0442-0231527-001

Code SWIFT: WPACNZ2W

Banque: Westpac Bank

Adresse de la banque: 98 Alexandra Street, Te Awamutu, 3800, Nouvelle-Zélande

Jim Carle

Chef du Service de la mise en valeur des ressources forestières de la FAO



Réunion biennale des forestiers d'Amérique latine et des Caraïbes

La Commission des forêts pour l'Amérique latine et les Caraïbes de la FAO (CFALC) a tenu sa vingt-cinquième session du 29 septembre au 3 octobre 2008 à Quito (Équateur).

L'un des principaux thèmes de la réunion portait sur les forêts et les changements climatiques. La commission a reconnu que les changements climatiques offraient l'occasion de démontrer l'importance des forêts pour la société, mais elle a invité le secteur forestier à fournir des informations fiables pour contribuer efficacement aux débats sur la question, notant que la majorité des informations sur les changements climatiques viennent de sources extérieures au secteur forestier, ce qui crée souvent de la confusion et des mythes sur la réponse des forêts à l'évolution du climat. De nombreux délégués sont convenus qu'il était essentiel de renforcer la recherche scientifique et technologique dans des domaines liés aux forêts, en mettant l'accent sur la façon dont les changements climatiques influencent la santé, la vitalité et la répartition des forêts.

Quelques délégués ont craint que les mécanismes éventuels aptes à aider les pays à réduire leurs émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD) pourraient être difficilement accessibles et provoquer dès lors des frustrations, comme il était advenu pour les projets forestiers mis en œuvre au titre du Mécanisme pour un développement propre (MDP). La commission a souligné l'importance d'ouvrir des voies simples vers ces mécanismes et de faciliter l'accès des pays aux nouvelles ressources fournies par les pays donateurs pour financer la REDD. En outre, plusieurs pays de la région, qui ont un couvert forestier abondant et ne souffrent pas de problèmes particuliers de déforestation, ont demandé que des mécanismes de compensation pour l'entretien de leurs forêts soient envisagés dans les délibérations relatives à la deuxième période d'engagement au titre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

Une session sur les institutions et la législation forestières comprenait les présentations faites par la Commission centraméricaine de l'environnement et du développement (CCAD) et par l'Organisation du Traité de Coopération amazonienne. La commission a noté que la décentralisation des responsabilités pour les activités forestières est importante, mais doit être progressive, transparente et responsable; les participants ont souligné la nécessité de former les autorités locales aux fonctions qu'elles doivent remplir, en leur fournissant des capacités, du matériel et un appui adaptés.

Une session sur la gestion durable des forêts a mis en évidence la persistance inquiétante de la déforestation et de la dégradation des forêts, ainsi que les preuves d'une augmentation des ravageurs et des maladies nuisant aux forêts de la région. Elle a attiré l'attention sur l'expansion notable des aires protégées régionales, qui couvrent près de 400 millions d'hectares, et sur l'importance d'affecter des financements à l'administration et à la gestion durable de ces zones. Une étude sur des cas exemplaires de gestion durable des forêts en Amérique latine et aux Caraïbes est en cours actuellement, comme l'avaient demandé les participants à la session précédente de la commission.

Parmi les domaines où la commission sollicite un appui majeur de

la part de la FAO, figurent l'identification de nouveaux mécanismes pour l'évaluation des biens et services forestiers environnementaux dans la comptabilité nationale et de nouvelles sources de financement pour le secteur forestier, y compris la rétribution des services environnementaux et des mécanismes de marché. La commission a également recommandé que des liens plus étroits soient établis entre elle-même et le Congrès forestier d'Amérique latine (CONFLAT), qui se réunit tous les trois ans.

La commission a exprimé sa vive inquiétude en ce qui concerne l'impact dévastateur des ouragans qui se sont récemment abattus sur Cuba et Haïti, et a souligné le besoin de fournir le maximum d'aide à ces pays pour atténuer les effets préjudiciables, aider à restaurer le couvert forestier et recréer des conditions de vie adéquates pour les communautés touchées.

Deux ateliers ont été tenus avant la réunion sur les installations de soutien nécessaires aux programmes forestiers nationaux et sur les perspectives pour l'Amérique latine relatives à la REDD.

Le Guatemala hébergera la vingt-sixième session de la CFALC en 2010.

Le rapport intégral de la vingt-cinquième session est disponible sur Internet: www.rlc.fao.org/es/comisiones/coflac/2008/

Première Semaine européenne des forêts

La première Semaine européenne des forêts a été célébrée du 20 au 24 octobre 2008, simultanément à la réunion conjointe de la trente-quatrième session de la Commission européenne des forêts de la FAO et de la soixante-sixième session du Comité du bois de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CENUE).

Organisée par la FAO, la CENUE, la Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe (CMPFE) et la présidence française de l'Union européenne, la Semaine européenne des forêts visait à renforcer la collaboration dans le secteur forestier de la région. Les événements principaux étaient organisés par la FAO à Rome et par le Comité économique et social européen à Bruxelles (Belgique). En même temps, plus de 150 événements auxiliaires ont eu lieu aux niveaux national et local dans 30 pays d'Europe (voir l'encadré).



FAO/MARCELLI



Des centaines d'activités nationales et locales organisées pour la Semaine européenne des forêts

Plus de 150 organisations appartenant à 32 pays, de l'Islande à la Turquie et du Portugal à la Fédération de Russie, ont organisé des événements nationaux et locaux liés aux forêts pendant la Semaine européenne des forêts.

Les activités allaient de discussions scientifiques de groupe sur les forêts et les changements climatiques à des sorties organisées pour les enfants. Elles comprenaient des événements culturels, des activités pédagogiques, des réunions de politique générale, des excursions dans la nature, des événements de presse et la plantation d'arbres. Une fonction interactive sur le site de la Semaine européenne des forêts a permis aux organisateurs de fournir des informations sur leurs événements dans toute la région. Il en est résulté une panoplie surprenante d'activités célébrant la contribution des forêts à la vie quotidienne des populations.

Une association en Lettonie, par exemple, a organisé une campagne d'information sur le rôle du bois dans l'atténuation des changements climatiques; elle ciblait les immeubles de citoyens privés ou la rénovation des habitations et s'adressait aussi aux décideurs et aux médias. La campagne avait pour objectif d'améliorer les connaissances sur le rôle des forêts et des produits ligneux dans le piégeage de l'anhydride carbonique et sur l'importance du bois comme ressource naturelle et renouvelable pour la construction durable et la création de surfaces habitables saines. Le Conseil du bois de Finlande a tenu un séminaire intitulé «Journée de la construction en bois» à l'intention des constructeurs et des architectes, pendant lequel des questions d'actualité en matière d'architecture et de construction en bois et de recherche sur le bois ont été traitées. Le Centre forestier privé d'Estonie a tenu des cours pour les propriétaires forestiers privés. En Belgique, les Dendronautes ont offert une excursion dans le cœur des Ardennes, conduite par des lutins, des elfes, des druides, des gnomes et des troubadours. En Allemagne, les événements comprenaient des leçons pour apprendre à grimper aux arbres et des occasions pour les enfants de faire de «l'art nature» dans la forêt. Le service forestier d'Islande a lancé un concours pour la recherche du plus grand arbre du pays et, en association avec le Bélarus, a tenu une conférence sur les forêts et les forestiers dans la littérature.

Pour consulter les nouvelles, voir la page des «activités dans le pays» sur le site Internet de la Semaine européenne des forêts: www.europeanforestweek.org/50790

Au siège de la FAO à Rome, des représentants de gouvernements, d'organisations intergouvernementales et non gouvernementales et d'organisations de recherche, ainsi que des propriétaires forestiers privés, ont échangé leurs points de vue et proposé des solutions concernant les défis mondiaux, notamment les forêts et les changements climatiques, la bioénergie et l'eau. Environ 400 participants appartenant à 45 pays y ont assisté.

Complétant les sessions plénières, il y a eu des dialogues sur des questions de politique générale, ainsi que des événements de partenaires sur différents thèmes, tels que l'amélioration de l'application des réglementations forestières et de la gouvernance dans la Politique européenne de voisinage, la nouvelle politique forestière de la Fédération de Russie, la parité hommes-femmes et la foresterie, et le rôle des produits ligneux dans l'adaptation des arbres forestiers aux changements climatiques et dans l'atténuation de ces derniers. Un atelier spécial a eu lieu sur le rôle du bois dans la construction écologique.

À Bruxelles, une conférence d'une journée s'est tenue sur le rôle des forêts et du secteur forestier dans l'acquittement des engagements de l'Union européenne en ce qui concerne le climat.

Un nouveau programme promeut l'application des réglementations forestières, la gouvernance et les échanges commerciaux dans les pays ACP

En novembre 2008, la FAO a lancé un programme de quatre ans, financé par la Commission européenne, pour promouvoir l'application des réglementations forestières, la gouvernance et les échanges commerciaux (FLEGT) dans les pays ACP d'Afrique,

des Caraïbes et du Pacifique (un groupe de près de 80 pays qui collaborent avec l'Union européenne au titre de la Convention de Lomé).

L'exploitation forestière illégale et le commerce du bois qui lui est associé créent des problèmes d'ordre politique, socioéconomique et environnemental dans de nombreux pays de ces régions. Outre la violation de la règle de droit, des principes de la gouvernance démocratique et du respect des droits humains, ces pratiques affaiblissent la compétitivité des opérations forestières légitimes et limitent leur capacité à contribuer à la gestion durable des forêts. Elles compromettent l'occasion de réaliser des revenus pour les populations locales et conduisent à la perte de biodiversité et à la détérioration des bassins versants et d'autres écosystèmes boisés.

Le nouveau programme soutiendra les actions suivantes:

- collecte, analyse et partage des informations et des connaissances relatives à la FLEGT;
- renforcement des cadres juridiques;
- renforcement des institutions liées à la FLEGT;
- mise en œuvre de projets pilotes qui ajoutent de la valeur et comblent de graves lacunes dans les processus de la FLEGT.

Le programme sera réalisé à la demande des pays. Des appels ciblés pour la présentation de propositions seront lancés deux fois par an. Le programme est ouvert à tous les pays ACP, mais la priorité sera accordée aux propositions venant de pays dont le commerce des produits forestiers est important à l'échelon local, régional ou international. En principe, le programme ne financera pas à 100 pour cent les coûts des activités; les organisations bénéficiaires devront fournir des contributions financières ou en nature. Le programme mettra l'accent sur la gestion de l'information et des connaissances



Inscription pour le XIII^e Congrès forestier mondial

Le XIII^e Congrès forestier mondial, qui se tiendra à Buenos Aires (Argentine), du 18 au 25 octobre 2009, est intitulé «Développement forestier: équilibre vital». Le congrès comprendra des présentations, des débats, des réunions administratives et des expositions, ainsi que deux tables rondes de haut niveau portant sur les changements climatiques et la bioénergie. Plus de 2 500 résumés sont arrivés de toutes les régions du monde.

Inscription

L'inscription sur Internet a débuté le 1^{er} février 2009. Des prix spéciaux sont offerts aux participants de pays à revenu moyen et faible et à ceux qui s'inscrivent avant le 30 juin. Des réductions sont disponibles pour les groupes, les étudiants et les retraités.

En outre, les organisateurs du congrès s'efforcent de garantir la présence équilibrée de toutes les régions du monde, en offrant des bourses d'études aux participants des pays en développement. La priorité sera accordée à ceux qui ont soumis un résumé. Des instructions relatives à la demande de bourses sont données sur le site du congrès.



Exposition forestière internationale

Une exposition forestière internationale fournira un lieu de rencontre pour la promotion des connaissances et de la prise de conscience en matière de gestion durable des forêts. Elle devrait intéresser particulièrement les producteurs, les grossistes et les détaillants de produits ligneux et non ligneux; les fournisseurs d'outils et d'autres intrants; les entreprises d'installations logistiques et de distribution; les organisations gouvernementales et internationales et les agences de coopération; les organisations, associations et institutions non gouvernementales.

Les réservations sur Internet de stands pour l'exposition ont commencé le 1^{er} février 2009.

Événements collatéraux

Les agences spécialisées, les pays et les institutions sont invités à organiser des événements collatéraux liés aux sept sessions thématiques du Congrès forestier mondial. Ces événements offriront aux participants l'occasion d'échanger des idées et de réfléchir sur de nombreux sujets, de constituer des réseaux et de diffuser des messages clés.

La date limite pour la présentation des demandes relatives aux événements collatéraux est le 31 mars 2009. Ces événements peuvent être organisés pour une durée maximale de deux heures. Une seule demande par organisation sera prise en considération. Des services d'interprétation simultanée et de restauration sont disponibles. Les modalités, les conditions et les tarifs sont indiqués sur le site Web du congrès.

Réunions d'intérêt commercial

Un espace approprié sera disponible pour l'organisation de réunions d'intérêt commercial. Ces réunions offriront une bonne occasion à l'industrie forestière et de transformation du bois d'établir de nouveaux réseaux ou de renforcer les contacts existants. Pour plus d'informations, contacter le Secrétariat à l'adresse suivante: info@cfm2009.org

et sur le partage des enseignements tirés pour assurer leur large diffusion et leur durabilité.

Toutes les organisations forestières pertinentes dans les pays ACP – institutions publiques, organisations de la société civile et organisations du secteur privé – pourront obtenir un appui. Les propositions de ces deux dernières devront être accompagnées par des demandes officielles des gouvernements concernés. Elles seront évaluées par un groupe d'experts et choisies par un comité exécutif, et la sélection

sera validée par un comité de direction comprenant des représentants du secrétariat de l'ACP, de la Commission européenne, de la FAO et d'autres bailleurs de fonds.

Une petite unité de gestion du projet, située au siège de la FAO, sera chargée de la gestion journalière du programme et de la coordination avec le secrétariat de l'ACP et la Commission européenne.

Pour plus d'informations contacter: Eva.Muller@fao.org



Conférence internationale sur les forêts et l'eau

Quelle est la relation entre les forêts et l'eau, la ressource la plus précieuse de la vie? Tel était le sujet de la conférence scientifique internationale sur l'eau et les forêts, tenue à Barcelone (Espagne) les 30 et 31 octobre 2008. Des experts d'institutions de recherche et de politique générale et d'institutions universitaires ont discuté de l'interrelation entre les deux secteurs, dans le cadre du changement mondial caractérisé par la hausse des températures, l'incertitude des précipitations, les changements d'affectation des terres, la croissance démographique et la plus forte demande d'eau.

Les thèmes examinés par les participants étaient notamment les suivants:

- l'influence des pratiques de gestion forestière sur les disponibilités en eau, par exemple par l'utilisation d'un mélange de différentes espèces arborescentes d'âges variés ou la planification de la structure forestière associée à des espaces ouverts;
- la capacité des arbres plantés dans des terrains agricoles et urbains, sur le passage d'écoulements ou au bord des cours d'eau à réduire l'impact biochimique des polluants sur l'environnement;
- la mesure dans laquelle le couvert forestier et les racines protègent le sol et réduisent les taux d'érosion et l'envasement des cours d'eau.

Les recommandations soulignaient l'importance de créer des synergies dans les administrations des forêts et des eaux au niveau des politiques et de la planification. La conférence a préconisé l'adoption d'une image plus globale des interactions entre l'eau, les forêts et autres utilisations des terres, et des facteurs socioéconomiques. Elle a mis l'accent sur l'importance d'un développement territorial intégré à l'échelon national et régional, reliant les avantages et les processus des zones d'amont et d'aval.

Parmi les domaines les plus importants auxquels consacrer une étude plus approfondie, les participants ont indiqué les interactions biophysiques entre les forêts et l'eau dans différents contextes et situations, et l'élaboration de modèles efficaces et efficients de gestion des forêts et des ressources en eau grâce à une approche intégrée. Tout aussi importante est la nécessité de fournir aux décideurs des informations plus exhaustives sur l'interface entre la forêt et l'eau.

La conférence était organisée par l'Institut européen des forêts, le Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), le Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC), la FAO, la Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe (CMPFE), l'Union internationale des instituts de recherches forestières (IUFRO), l'Université de Barcelone, l'Université de Lleida et Obra Social Caixa Catalunya, avec le financement du gouvernement de la Catalogne (Espagne).

Pour plus d'informations sur les forêts et l'eau, consulter le numéro 229 (2007) d'*Unasylva*, qui est entièrement consacré à ce thème (www.fao.org/forestry/unasylva).

Appui à la gestion des forêts en Afghanistan

En Afghanistan, pays montagneux et en grande partie aride, la longue guerre civile a aggravé les problèmes environnementaux causés par la pénurie d'eau, la dégradation des sols et le surpâturage. Les forêts,

qui couvrent 1,3 pour cent environ du pays, ont subi des dommages énormes dus à leur défrichement à des fins militaires, à la récolte illégale de bois de construction et à la collecte anarchique de bois de feu. L'excès de chasse et la dégradation des habitats ont décimé la faune indigène. L'effondrement de la structure administrative a limité le contrôle de l'exploitation forestière et du commerce illégaux, et le départ massif de forestiers compétents a laissé la Direction des forêts et des parcs avec des capacités limitées de planification, d'élaboration des politiques et de communication.

Le bois et les produits forestiers non ligneux (PFNL), notamment les noix, les plantes aromatiques et les fruits, ont de tout temps joué un rôle vital dans les moyens d'existence des Afghans ruraux. Dans les provinces orientales, le cèdre (*Cedrus deodora*) est présent au-dessus de 1 800 m et exploité pour l'exportation. La reconstruction de Kaboul et d'autres villes endommagées pendant la guerre augmentera la demande de bois de construction.

La FAO soutient le secteur forestier en Afghanistan grâce à une série de projets. En 2003, les autorités afghanes ont demandé son aide pour reconstituer le secteur de façon durable. À la suite d'une intervention d'urgence limitée consistant en la plantation d'arbres, un projet de coopération technique à l'appui de la remise en état du secteur forestier a été préparé en 2005 pour contribuer à mettre au point un programme forestier national à large assise. Le projet a permis la préparation d'une politique et d'une stratégie forestières et l'élaboration de nouvelles réglementations forestières moyennant un processus participatif auquel ont pris part toutes les parties prenantes. La politique et la stratégie forestières sont pleinement intégrées dans le plan-cadre pour l'agriculture, qui fournit une structure au développement du secteur agricole. La création de capacités pour l'administration forestière, le secteur privé et les organisations non gouvernementales est un élément important de la stratégie.

Depuis la conclusion du projet, en 2007, la FAO continue de fournir son assistance pour l'élaboration de la politique et de la stratégie forestières et la mise à l'essai sur le terrain des nouvelles réglementations forestières. Un nouveau projet visant l'amélioration des moyens d'existence et de la sécurité alimentaire en Afghanistan comprend un élément de foresterie participative pour promouvoir les moyens d'existence durables. Les activités se concentreront sur le renforcement des capacités institutionnelles, l'amélioration des capacités techniques pour gérer les forêts et planter des arbres, ainsi que sur la collecte d'informations sur les PFNL et l'approvisionnement en bois de feu et la consommation de ce dernier.

Bien qu'il faille beaucoup de temps pour changer les coutumes et les habitudes, on espère qu'au moment de l'achèvement du projet, en 2010, les institutions forestières seront à même d'enseigner aux communautés comment gérer et utiliser durablement leurs forêts.

LE MONDE FORESTIER

Rôle des forêts dans la gestion du climat

Renforcer le rôle du secteur forestier dans les programmes nationaux et internationaux d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation à leurs effets était le thème de la conférence Rôle des forêts dans la gestion du climat: recherche – innovations – investissements – renforcement des capacités, tenue à Saint-Petersbourg (Fédération de Russie) du 4 au 7 octobre 2008. Avec 22 pour cent des forêts mondiales et plus de 70 pour cent des forêts boréales, y compris la moitié du carbone terrestre de l'hémisphère Nord, la Fédération de Russie était le cadre idéal pour les débats sur le rôle de la gestion des forêts tempérées et boréales dans l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à leurs effets.

C'était la troisième fois, en 2008, que la communauté internationale se réunissait pour analyser le rôle vital que joue le secteur forestier dans la réponse mondiale aux changements climatiques. La conférence complétait deux conférences internationales précédentes: la Conférence internationale sur l'adaptation des forêts et de la gestion forestière aux changements climatiques, notamment en ce qui concerne la santé des forêts (Umeå, Suède, août 2008), décrite en détail dans ce numéro d'*Unasylva*, et la Conférence sur les rôles des forêts boréales dans un contexte mondial (Harbin, Chine, septembre 2008), qui a mis l'accent sur le rôle des forêts boréales dans l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à leur incidence.

La conférence de Saint-Petersbourg a été organisée conjointement par l'Agence forestière fédérale de la Fédération de Russie, la Banque mondiale et la FAO. Plus de 150 représentants de 30 pays ont participé aux sessions plénières, d'affiches et de groupes consacrées à la recherche, aux innovations et technologies, au renforcement des capacités humaines et aux investissements.

Les conclusions soulignaient la nécessité des actions suivantes:

- prise de conscience et renforcement du rôle de la gestion des forêts boréales aux niveaux national et international dans le cadre des futurs accords sur le climat;
- évaluations quantitatives, prévisions et recherche connexe, notamment sur le rôle des forêts dans les cycles régionaux du carbone;
- innovation dans les mécanismes financiers et les partenariats d'investissement, comme les programmes d'investissements écologiques;
- élimination des obstacles à l'élaboration et à la mise en œuvre de projets conjoints dans le secteur forestier au titre du Protocole de Kyoto.

Réunions sur les changements climatiques en Pologne

La quatorzième Conférence des Parties (COP-14) à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) a marqué le point à mi-parcours du délai établi pour l'approbation d'un cadre décisionnel, à savoir décembre 2009, après l'expiration du Protocole de Kyoto, ainsi que prévu dans le Plan d'action de Bali en 2007.

La COP-14 et la quatrième Conférence des Parties représentant la réunion des Parties au Protocole de Kyoto (COP/MOP 4) étaient les événements centraux de la Conférence des Nations Unies sur

les changements climatiques, tenue à Poznań (Pologne) du 1^{er} au 12 décembre 2008. Quatre organes subsidiaires se sont réunis à l'appui de ces deux importantes conférences, y compris l'Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique (SBSTA). Une table ronde ministérielle faisait aussi partie des événements. Ces réunions ont attiré 9 250 participants, dont plus de 800 membres accrédités des médias.

Les principaux thèmes traités à Poznań portaient sur la coopération à long terme après 2012. D'importantes décisions ont concerné le Fonds d'adaptation au titre du Protocole de Kyoto, le transfert de technologies, le Mécanisme pour un développement propre (MDP), les moyens disponibles pour permettre aux pays industrialisés de s'acquitter de leurs engagements à réduire leurs émissions (y compris

Deuxième Journée de la forêt

Parallèlement à la COP-14, la deuxième Journée de la forêt s'est tenue à l'Université Adam Mickiewicz, à Poznań (Pologne), le 6 décembre 2008. L'accent portait sur l'incorporation des forêts dans les stratégies d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation à leurs effets aux niveaux mondial et national.

La deuxième Journée de la forêt a été accueillie par le Gouvernement polonais, le Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR) et les autres membres du Partenariat de collaboration sur les forêts (PCF). Après la réponse positive à la première Journée de la forêt, tenue pendant la Conférence sur les changements climatiques qui a eu lieu en décembre 2007 à Bali (Indonésie), la deuxième Journée a réuni près de 900 participants pour étudier des questions recouvrant plusieurs domaines, dont l'adaptation des forêts aux changements climatiques; la réduction de la dégradation des forêts grâce à la gestion forestière durable; le renforcement des capacités à réduire les émissions (REDD); et les moyens permettant d'intégrer la REDD dans le régime climatique mondial.

La Journée de la forêt comprenait également une exposition d'affiches et près de 40 événements collatéraux dont les thèmes concernaient la REDD pour le développement rural; les opinions des communautés autochtones et locales sur les forêts et le changement climatique; des mécanismes pratiques pour la mise en œuvre de la REDD pour assurer la conservation de la biodiversité et le bien-être humain; la REDD et la conservation et restauration des tourbières; et l'amélioration de la surveillance mondiale des forêts à l'aide d'une imagerie satellitaire précise.

Un sommaire de la deuxième Journée de la forêt, comprenant aussi bien des consensus que des points de désaccord, a été remis au Secrétaire exécutif de la CCNUCC et mis à la disposition des négociateurs à la COP-14. Le sommaire soulignait la nécessité des actions suivantes:

- inclure les forêts dans les mécanismes et stratégies d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation à leurs effets;
- assurer la pleine participation de la société civile aux processus de prise de décisions internationaux, régionaux, nationaux et locaux;
- reconnaître et respecter les droits des femmes, des pauvres et des populations autochtones.

celles émanant du secteur forestier), le renforcement des capacités, les communications nationales et des questions de méthodologie.

Des progrès ont aussi été réalisés en matière de réduction des émissions dues à la déforestation dans les pays en développement (REDD), thème qui a été traité tant pendant la session plénière du SBSTA que dans de nombreux groupes de contact et consultations informelles. Parmi ses recommandations, le SBSTA a invité le président à organiser une réunion d'experts pour examiner des questions de méthodologie liées aux niveaux de référence des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts, proposer des directives pour promouvoir la préparation des pays en développement, et mobiliser un surcroît de ressources à affecter à la REDD, y compris la participation efficace des populations autochtones et des communautés locales.

Vers une réponse coordonnée du secteur forestier aux changements climatiques

Reconnaissant l'importance de la contribution des forêts à l'atténuation des changements climatiques, les membres du Partenariat de collaboration sur les forêts (PCF) ont élaboré un cadre stratégique visant à orienter la réponse du secteur forestier. Le document, lancé lors des réunions de Poznań (Pologne) en décembre 2008, est un plan d'action volontaire en faveur du secteur forestier mondial. Il soutient le processus de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), notamment le Plan d'action de Bali, ainsi que l'Instrument non juridiquement contraignant sur tous les types de forêts du Forum des Nations Unies sur les forêts (FNUF). Le cadre jette les bases d'une réponse coordonnée du secteur forestier aux changements climatiques, notamment par l'adoption généralisée de la gestion durable des forêts et son intégration dans des stratégies de développement élargies.

Le PCF est une alliance volontaire de 14 organisations internationales qui réalisent d'importants programmes forestiers. Il vise à promouvoir la gestion, la conservation et la mise en valeur durable de tous les types de forêts, et à renforcer le soutien politique à long terme pour ces objectifs. Le PCF est présidé par la FAO; parmi ses autres membres figurent le Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR), le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), l'Organisation internationale des bois tropicaux (OIBT), l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), l'Union internationale des instituts de recherches forestières (IUFRO), la Convention sur la diversité biologique (CDB), la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification, le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), le Forum des Nations Unies sur les forêts (FNUF), la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), le Centre mondial d'agroforesterie et la Banque mondiale.

Grâce à leur vaste expérience en matière de promotion de la gestion durable des forêts, de conservation des forêts, de réduction de la pauvreté et de gouvernance forestière, les membres du PCF peuvent faciliter la mise en œuvre d'approches globales du rôle des forêts dans l'atténuation des changements climatiques et la façon de

s'y adapter. Le PCF est lui-même un mécanisme par l'intermédiaire duquel les membres peuvent coordonner leurs actions relatives au climat. Réunissant leurs expériences collectives en matière de foresterie, les membres du PCF aideront les pays à se préparer au régime climatique consécutif à 2012.

Le document met en évidence six messages importants:

- La gestion durable des forêts fournit un cadre efficace pour l'atténuation des changements climatiques intéressant les forêts et l'adaptation à leurs effets.
- Les mesures d'atténuation et d'adaptation en matière forestière concernant les changements climatiques devraient être appliquées parallèlement.
- La collaboration intersectorielle, les incitations économiques et la promotion des occasions permettant d'entreprendre des activités rémunératrices de substitution sont essentielles pour réduire la déforestation et la dégradation des forêts.
- Le renforcement des capacités et des réformes de gouvernance s'imposent de toute urgence.
- La surveillance et l'évaluation précises des ressources forestières contribuent à la prise de décisions en connaissance de cause, mais imposent une plus grande coordination à tous les niveaux.
- Les membres du PCF s'engagent à adopter une approche concertée et globale de l'atténuation des changements climatiques et des moyens de s'y adapter.

Un résumé d'orientation et le texte intégral du Cadre stratégique du PCF pour les changements climatiques sont disponibles sur Internet: www.fao.org/forestry/cpf-climatechange

L'UICN établit son programme d'action pour l'environnement

La biodiversité est le fondement du bien-être des sociétés humaines et de leurs économies. Le Congrès mondial sur la conservation de 2008 a averti que le coût de la perte de biodiversité est plus élevé que celui des problèmes financiers auxquels le monde se heurte aujourd'hui. Tenu tous les quatre ans pour planifier les activités de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), le congrès a eu lieu à Barcelone (Espagne) du 5 au 14 octobre 2008 et a réuni plus de 8 000 personnes.

L'UICN est l'organisation la plus ancienne au monde en matière de conservation; elle compte plus de 1 000 organisations membres et quelque 10 000 scientifiques volontaires dans plus de 150 pays. Pendant la réunion de Barcelone, l'assemblée des membres a élu un nouveau président et un nouveau conseil et a voté en faveur du programme de travail de l'UICN pour 2009-2012. Le nouveau président est Ashok Khosla, président de Development alternatives, une entreprise sociale dont le siège est à Delhi (Inde), qui se consacre à la promotion de technologies viables sur le plan commercial et respectueuses de l'environnement, destinées aux communautés rurales des pays en développement.

Les biocombustibles étant parmi les principaux thèmes traités, les membres ont fait appel aux gouvernements, afin qu'ils établissent des directives et des normes pour l'évaluation de projets concernant ces combustibles et qu'ils réglementent et gèrent leur production et

leur utilisation en vue de réduire les impacts défavorables éventuels sur les populations et l'environnement.

Le congrès a approuvé la REDD, qui vise la réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts en vue d'atténuer les changements climatiques, à condition qu'il reste juste et équitable de le faire. Un atelier intitulé «Donnez un vote en direct» a été organisé, et plusieurs questions relatives à la REDD ont été posées aux participants. Les personnes interrogées ont admis qu'une solution unique n'était pas applicable à toutes les situations et que différentes approches étaient nécessaires pour répondre aux besoins de divers contextes.

Les droits des communautés autochtones et vulnérables ont également reçu beaucoup d'attention. Le congrès a amorcé l'élaboration d'un cadre éthique pour orienter les activités de conservation, y compris la réduction de la pauvreté, le respect des droits et l'abstention d'actions préjudiciables. Les membres ont fait appel aux gouvernements pour qu'ils tiennent compte des droits humains dans toutes les activités de conservation.

Parmi les engagements de haut niveau annoncés lors du congrès, figurent les suivants:

- La Fondation MacArthur s'est engagée à investir 50 millions de dollars EU dans l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à leurs effets.
- Le Fonds Mohammad Bin Zayed pour la conservation des espèces investira 25 millions d'euros en faveur de la biodiversité mondiale.
- La Fédération de Russie s'est engagée à protéger une superficie supplémentaire de 80 millions d'hectares.
- Le Paraguay s'est engagé à réduire à zéro la déforestation nette d'ici à 2020.
- Un groupe de bailleurs de fonds a lancé la deuxième phase de l'Initiative pour l'eau et la nature afin d'améliorer la gestion des bassins versants.

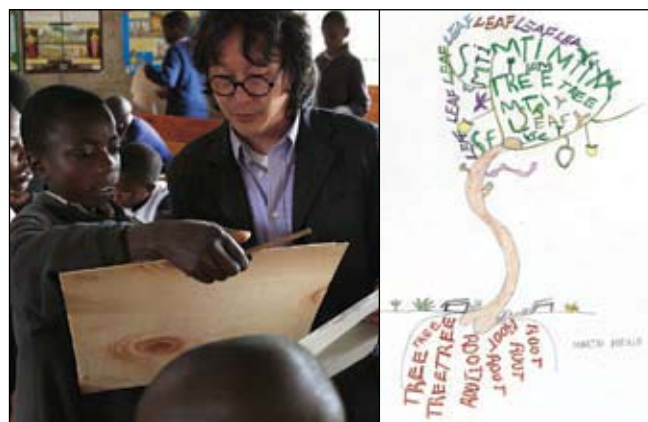
Les ministres indonésiens des forêts, de l'environnement, de l'intérieur et des travaux publics, dix gouverneurs provinciaux et le WWF, qui est l'organisation mondiale pour la conservation, ont annoncé leur engagement à protéger les forêts et les écosystèmes fragiles résiduels dans l'île indonésienne de Sumatra. Ces forêts abritent certaines des espèces les plus rares de la planète et fournissent des moyens d'existence à des millions de personnes. L'île a perdu 48 pour cent de son couvert forestier naturel depuis 1985. Plus de 13 pour cent des forêts résiduelles de Sumatra sont des forêts de tourbière situées sur les sols tourbeux les plus profonds du monde. Ces sols se dégradent après les défrichements et le drainage, libérant dans l'atmosphère de l'anhydride carbonique.

Pour plus d'informations sur le congrès, voir: www.iucn.org/congress_08/

Un artiste chinois et des enfants kényans organisent une vente aux enchères d'ouvrages d'art en faveur de la plantation d'arbres

Un projet lancé par un artiste chinois contemporain réunit des enfants, l'art et Internet pour planter des arbres au Kenya.

Les œuvres primées de Xu Bing sont centrées sur la relation entre l'art et l'écriture. Dans le cadre de son projet sur les forêts,



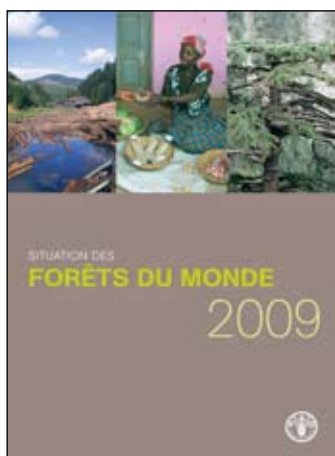
l'artiste organise des ateliers dans le parc national du mont Kenya à l'intention des enfants des écoles primaires locales. Les écoliers associent la calligraphie et l'art pour produire des dessins d'arbres en utilisant des formes d'écriture provenant d'une variété de cultures et de périodes historiques, y compris les pictogrammes du chinois ancien, les hiéroglyphes égyptiens, l'écriture cunéiforme, l'arabe, l'anglais et d'autres encore.

Les ouvrages des enfants sont ensuite vendus aux enchères par l'intermédiaire du site du projet. À l'heure actuelle, tous les revenus tirés de la vente des ouvrages vont à la Bill Woodley Mount Kenya Trust, une organisation dont le siège est au Kenya et qui se consacre à la préservation de l'écosystème du mont Kenya. Xu Bing a conçu ce projet forestier pendant un séjour dans le parc national du mont Kenya en 2005.

La disparité des revenus et des prix entre les pays plus développés et le Kenya est à la base du succès du projet. Pour le prix d'un trajet aller simple en autobus dans un pays développé, un ouvrage d'art créé par un écolier kényan peut servir à l'établissement de dix plantules. Le projet détermine ainsi un flux constant de fonds destinés à la plantation au Kenya de nouveaux arbres offerts par les pays développés.

En outre, un choix d'ouvrages réalisés par les écoliers du Kenya et un tableau représentant un vaste panorama peint par Xu Bing sont exposés aux États-Unis dans les musées de San Diego et Berkeley, en Californie, jusqu'à la fin de juin 2009.

Pour plus d'informations voir: www.forestproject.net



La publication vedette de la FAO jette un regard sur l'avenir

Situation des forêts du monde 2009. 2009. Rome, FAO. ISBN 978-92-5-206057-4.

Le rapport biennal *Situation des forêts du monde* dresse un bilan des principaux événements affectant le secteur forestier. L'édition de 2009, dont le thème est «Société, forêts et foresterie: s'adapter pour l'avenir», s'intéresse à l'impact que les grands bouleversements mondiaux survenant hors du secteur auront sur le secteur forestier, et à la réaction possible du secteur face aux défis.

La première partie, s'appuyant sur les dernières études prospectives réalisées par la FAO dans le secteur forestier, examine l'impact combiné des changements démographiques, économiques, institutionnels et technologiques sur les forêts et la foresterie dans toutes les régions du monde et décrit les scénarios émergents. Parmi les facteurs importants qui influenceront l'offre et la demande de produits et services forestiers, figurent la nouvelle dépendance à l'égard de la terre, la croissance des revenus, les prix élevés des denrées alimentaires et de l'énergie, et la production de bioénergie.

La seconde partie traite de l'adaptation nécessaire du secteur forestier pour faire face à l'avenir; elle contient des chapitres portant sur la demande mondiale de produits ligneux et de services environnementaux, le nouvel environnement institutionnel dans le domaine de la foresterie, et l'évolution actuelle des sciences et des technologies forestières, y compris le rôle de plus en plus reconnu des savoirs autochtones et la nécessité de s'adapter aux défis posés par le changement climatique.

À l'instar de tous les autres secteurs, les forêts et la foresterie ne seront pas épargnées par la crise économique qui s'est déclarée au moment où *Situation des forêts du monde 2009* allait sous presse, à la fin de 2008. Un post-scriptum intitulé «Défis et opportunités en des moments de turbulence» décrit le fléchissement de la demande (notamment dans le secteur du logement) et le resserrement du crédit, qui ont entraîné un effondrement de la production, de la consommation et du commerce des produits ligneux, débouchant sur la fermeture des scieries et une augmentation du chômage. Les marchés du carbone eux-mêmes ont été frappés de plein fouet. Le marasme économique touche presque tous les pays, contredisant les prévisions économiques optimistes formulées précédemment. Bien que la contraction de la demande de certains produits puisse ralentir le défrichement

des forêts, le chômage massif dans les secteurs de l'industrie et des services pourrait avoir des répercussions négatives sur les forêts. En revanche, la crise pourrait offrir l'occasion de renouveler le secteur et de jeter les bases d'une économie plus verte.

Au-delà de son rôle traditionnel d'information à l'appui des politiques et de la recherche, le rapport *Situation des forêts du monde 2009* alimentera la réflexion et le débat critiques sur l'avenir des forêts du monde et sur l'évolution de leur utilisation en fonction des changements planétaires. Cette publication présente un grand intérêt pour les praticiens forestiers, les étudiants, les chercheurs, le secteur privé et les organisations de la société civile. L'analyse des principales tendances et perspectives mondiales s'adresse tout particulièrement aux décideurs politiques et aux planificateurs. La publication est disponible en anglais, arabe, chinois, espagnol, français et russe.

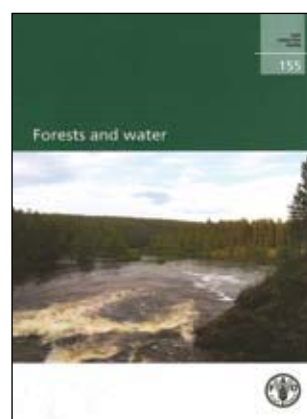
Pour plus d'informations et pour télécharger les textes, voir: www.fao.org/forestry/sofo

État des connaissances sur les forêts et l'eau

Forests and water. L.S. Hamilton, avec des contributions de N. Dudley, P. Greminger, N. Hassan, D. Lamb, S. Stolton et S. Tognetti. 2008. Étude FAO: forêts n° 155. Rome, FAO. ISBN 978-92-5-106090-2.

Les bassins versants boisés fournissent un pourcentage élevé de l'eau qui sert aux besoins domestiques, agricoles, industriels et écologiques dans les zones situées tant en amont qu'en aval. Un défi clé que doivent relever les gestionnaires des ressources en terres, forêts et eau consiste à augmenter au maximum les avantages que les forêts procurent, sans endommager les ressources hydriques et les fonctions de l'écosystème. Il est impératif d'améliorer la compréhension de l'interface entre les forêts et l'eau, et d'incorporer ces connaissances dans les politiques.

Forests and water, ouvrage né dans le cadre de l'Évaluation des ressources forestières mondiales 2005, met en évidence l'importance d'une gestion globale d'écosystèmes complexes de bassins versants, en tenant compte des interactions entre l'eau, la forêt et les autres utilisations des terres, ainsi que des facteurs socioéconomiques. Il cherche aussi à démentir certaines généralisations fausses et trompeuses concernant l'impact du couvert forestier sur les débits d'aval annuels et saisonniers. Jusqu'à récemment, les politiques relatives aux forêts et à l'eau se fondaient sur l'hypothèse que, dans toutes



les conditions hydrologiques et écologiques, la forêt était la meilleure couverture du sol, permettant de maximiser les apports d'eau, de régulariser les débits saisonniers et d'assurer une bonne qualité de l'eau. D'après cette hypothèse, la conservation (ou l'extension) du couvert forestier à l'amont des bassins versants était toujours la mesure la plus efficace pour améliorer l'approvisionnement en eau et empêcher les inondations dans les zones en aval. Le rôle important que joue le couvert forestier en amont, en assurant un apport d'eau de bonne qualité, a été confirmé, mais dans certaines situations, notamment dans des écosystèmes arides et semi-arides, les forêts ne sont pas nécessairement la meilleure couverture du sol pour garantir des disponibilités hydriques accrues en aval.

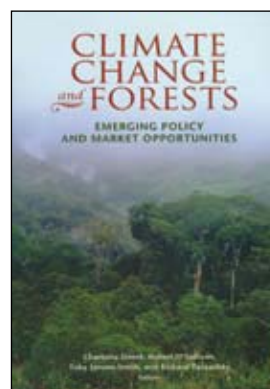
Cette publication claire et informative explique le rôle que jouent les forêts dans le cycle hydrologique, et leur influence sur la quantité et la qualité de l'eau. Un chapitre examine certains écosystèmes forestiers particulièrement fragiles: les forêts montagneuses de nuages ou de brouillard, les forêts marécageuses, les forêts situées sur des sols sensibles à la salinité, les forêts sur des pentes escarpées à risque élevé de glissements de terrain, les zones tampons riveraines, les forêts servant à l'approvisionnement municipal en eau, les étangs vernaux et les forêts offrant une protection contre les avalanches. Un autre chapitre étudie le cas particulier des petites îles montagneuses. Les systèmes de rétribution des services des bassins versants appliqués récemment sont également analysés.

Cette publication sur l'état des connaissances intéressera un grand nombre d'experts techniques et de scientifiques, ainsi que des décideurs et des responsables des politiques. *Forests and water* est également disponible sur Internet: www.fao.org/forestry/publications

Changement climatique et opportunités forestières

Climate change and forests: emerging policy and market opportunities. C. Streck, R. O'Sullivan, T. Janson-Smith et R. Tarasofsky, éd. 2008. Londres, Royaume-Uni, Chatham House et Washington, DC, États-Unis, Brookings Institution Press. ISBN 978-0-8157-8192-9.

Ce livre d'une grande actualité fournit un excellent aperçu des questions juridiques, économiques et environnementales liées aux forêts et à l'atténuation des changements climatiques. Il offre une vue d'ensemble des questions forestières actuellement sur la scène internationale, et traite des sujets comme le commerce du carbone et les projets forestiers dans le cadre du Mécanisme pour un développement propre. La déforestation évitée et les contreparties volontaires de la fixation du carbone font l'objet d'un examen approfondi. Les autres chapitres fournissent une description et une analyse des questions qui sont à la base du débat sur le climat dans le secteur



Amélioration génétique des espèces destinées aux plantations forestières en Australie et en Nouvelle-Zélande

Australian Forestry, une revue produite par l'Institut des forestiers d'Australie (IFA), a publié au cours des deux dernières années une série d'articles sur les expériences et les réalisations en matière d'amélioration des espèces destinées aux plantations forestières, grâce à l'application de techniques conventionnelles et avancées d'amélioration des arbres.

Les articles portent sur un certain nombre d'essences feuillues et résineuses indigènes ou introduites, plantées en Australie et en Nouvelle-Zélande par des institutions publiques, des entreprises privées et de petits propriétaires à des fins de production, de protection et environnementales. Un certain nombre des programmes décrits avaient déjà démarré il y a 60 ans et, de concert avec des programmes plus récents, ils ont produit une quantité considérable d'informations et de compétences, débouchant sur des pratiques novatrices de plantations forestières et l'amélioration de caractéristiques comme la croissance et le rendement, la forme du fût, les propriétés du bois, la résistance aux maladies et l'aptitude à se développer dans des conditions considérées normalement comme marginales ou défavorables à la croissance des végétaux.

Outre leur intérêt scientifique, les articles représentent d'excellentes études de cas qui pourraient fournir une orientation et des directives aux programmes utilisant les mêmes espèces ou des espèces similaires pour l'établissement de plantations forestières ailleurs dans le monde.

Les articles complets peuvent être obtenus par le biais du site de l'IFA (www.forestry.org.au) au prix de 20 dollars australiens chacun (environ 15 dollars EU). Des résumés sont disponibles sur Internet: www.forestry.org.au/ifa/c/c2-ifa.asp

Réalisations en matière d'amélioration génétique des arbres forestiers en Australie et en Nouvelle-Zélande – articles publiés dans *Australian Forestry*, 2007 et 2008

1. *Eucalyptus pilularis* Smith tree improvement in Australia. M. Henson et H.J. Smith. 70(1), 2007.
2. Development of *Corymbia* species and hybrids for plantations in Eastern Australia. D.J. Lee. 70(1), 2007.
3. Tree improvement of *Eucalyptus dunnii* Maiden. H.J. Smith et M. Henson. 70(1), 2007.
4. Tree improvement for low-rainfall farm forestry. C.E. Harwood, D.J. Bush, T. Butcher, R. Bird, M. Henson, R. Lott et S. Shaw. 70(1), 2007.
5. Genetic improvement of Douglas-fir in New Zealand. C.J.A. Shelbourne, C.B. Low, L.D. Gea et R.L. Knowles. 70(1), 2007.
6. Genetic improvement and conservation of *Araucaria cunninghamii* in Queensland. M.J. Dieters, D.G. Nikles, et M.G. Keys. 70(2), 2007.
7. Maritime pine and Brutian pine tree improvement programs in Western Australia. T.B. Butcher. 70(3), 2007.
8. Successful introduction and breeding of radiata pine in Australia. H.X. Wu, K.G. Eldridge, A.C. Matheson, M.P. Powell, T.A. McRae, T.B. Butcher et I.G. Johnson. 70(4), 2007.
9. Genetic improvement of *Eucalyptus nitens* in Australia. M. Hamilton, K. Joyce, D. Williams, G. Dutkowski et B. Potts. 71(2), 2008.
10. *Pinus radiata* in New Zealand. R.D. Burdon, M.J. Carson et C.J.A. Shelbourne. 71(4), 2008.

forestier, y compris la permanence, les méthodes de mesure et de monitoring, et les questions juridiques. Huit études de cas fournissent des exemples pratiques.

Plus de 50 auteurs ont collaboré aux 21 chapitres de ce volume, s'interrogeant sur la mesure dans laquelle la bioénergie est renouvelable et sur les incitations qui permettent d'éviter un surcroît de déforestation.

L'ouvrage n'est pas d'un accès facile; il s'adresse aux personnes qui ont déjà quelques notions sur le sujet et souhaitent en savoir davantage sur les politiques liées aux forêts et aux changements climatiques. Pour les lecteurs qui cherchent un examen approfondi des questions de stratégie forestière les plus débattues ces dernières années (et qui le seront probablement aussi dans les prochaines), cet ouvrage est fortement recommandé.

Changement climatique et forêts méditerranéennes

Adaptation au changement global: les forêts méditerranéennes. 2008. Gland, Suisse et Malaga, Espagne, Union internationale pour la conservation de la nature (UICN).

Les forêts sont parmi les écosystèmes les plus importants de la Méditerranée. Elles sont riches en biodiversité et fournissent un grand nombre de services environnementaux. Mais une gestion médiocre, la surexploitation, la pollution, les changements rapides et abrupts d'affectation des terres résultant du développement économique et des pressions commerciales internationales entraînent la dégradation de ces forêts. Le changement climatique, qui détermine des événements extrêmes, comme les vagues de chaleur, les pluies torrentielles, la sécheresse et les tempêtes de vent, aggrave encore davantage ces facteurs.

Cette publication multilingue (en anglais, français et espagnol) donne une bonne idée de l'état actuel des forêts méditerranéennes et passe en revue les tendances du réchauffement de la planète, les enseignements tirés des changements climatiques antérieurs, les impacts actuels et prévus du changement climatique et les mesures pour s'y adapter dans la région. Elle propose des stratégies pour traiter des questions particulières telles que la conservation des ressources génétiques, l'adaptation des paysages, et le renforcement des capacités et de la résilience sociale.

L'ouvrage tire parti des débats qui se sont déroulés au cours de l'atelier sur l'adaptation au changement climatique dans la conservation et la gestion des forêts méditerranéennes, organisé par l'UICN et le Fonds mondial pour la nature (WWF) en Grèce, en avril 2008. La déclaration des participants, à savoir la Déclaration d'Athènes sur

l'adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes, est fournie en annexe.

Grâce à la contribution éditoriale d'organisations internationales comme la FAO et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), de gouvernements, de gestionnaires forestiers et d'utilisateurs de la forêt, d'instituts de recherches et du secteur privé, *Adaptation au changement global: les forêts méditerranéennes* représente un premier pas vers l'élaboration d'une stratégie et d'un programme de travail conjoints sur l'adaptation des forêts méditerranéennes au changement climatique.

Utilisation du bois pour atténuer le changement climatique

Tackle climate change: use wood. 2006. Bruxelles, Belgique, European Confederation of Woodworking Industries (CEI-Bois).

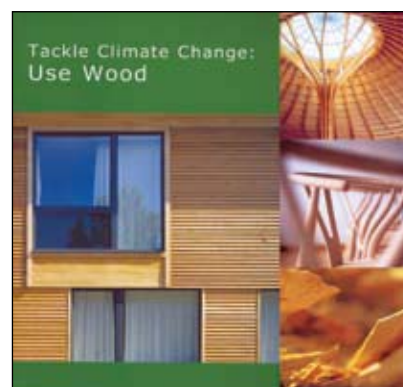
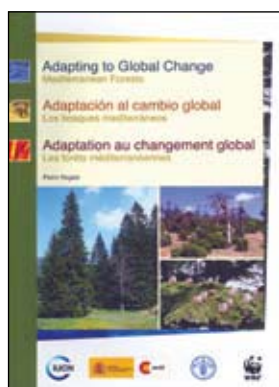
Cette publication admirablement illustrée présente des arguments environnementaux qui justifient l'utilisation du bois pour atténuer les effets du changement climatique. Elle évalue la production d'anhydride carbonique de différents matériaux et indique la quantité de ce gaz qui peut être économisée en utilisant du bois. Elle décrit le cycle écologique du bois et des produits à base de bois, en mettant l'accent sur les avantages environnementaux et socioéconomiques découlant de l'emploi du bois dans le contexte européen. Ce contexte est établi par des informations générales sur les forêts et l'industrie du bois en Europe, appuyées par des faits et des chiffres.

L'approche est pragmatique et prévisionnelle. CEI-Bois estime qu'une augmentation annuelle de 4 pour cent de la consommation de bois en Europe permettrait de piéger 150 millions de tonnes supplémentaires de CO₂ par an, et que la valeur commerciale de ce service environnemental pourrait s'élever à environ 1,8 milliard d'euros par an.

Le texte, écrit de façon claire et illustré de plus de 60 photographies en couleurs, contient aussi des diagrammes et des tableaux faciles à interpréter. Il s'achève par des définitions de termes et des références à d'autres ouvrages sur le même thème.

Ce produit de haute qualité invite à la lecture et se propose de sensibiliser un vaste public aux avantages environnementaux de l'utilisation du bois. Il intéressera aussi d'autres parties prenantes du secteur forestier qui cherchent un aperçu concis et exhaustif.

Tackle climate change: use wood est également disponible sur Internet: www.cei-bois.org



La vérification dans le commerce du bois

Legal timber: verification and governance in the forest sector. D. Brown, K. Schreckenberg, N. Bird, P. Cerutti, F. Del Gatto, C. Diaw, T. Fomété, C. Luttrell, G. Navarro, R. Oberndorf, H. Thiel et A. Wells. n.d. Londres, Royaume-Uni, Overseas Development Institute (ODI). ISBN 978-0-85003-889-7.

Cet ouvrage est centré sur une question particulière de la politique forestière internationale: comment vérifier la légalité du bois commercialisé d'une façon qui satisfasse les intérêts commerciaux des producteurs, tout en apaisant les inquiétudes d'ordre social et environnemental de la société civile et des consommateurs. Il ne s'agit pas d'un sujet exclusivement technique; la vérification soulève des questions sur l'équilibre entre les droits souverains des États producteurs et le rôle des forêts considérées comme biens publics essentiels. En outre, ces questions revêtent une grande importance aux niveaux national et international.

Legal timber se fonde sur les conclusions du projet VERIFOR, une collaboration en matière de recherche appliquée avec des partenaires d'Europe, d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie. Après avoir introduit la notion de vérification et examiné la façon dont les politiques relatives à l'exploitation forestière illégale ont évolué, la publication présente des études de cas sur des systèmes de vérification appliqués dans une douzaine de pays, à savoir: Brésil, Cambodge, Cameroun, Canada, Costa Rica, Équateur, Ghana, Honduras, Indonésie, Malaisie, Nicaragua et Philippines.

La publication examine ensuite des questions comme la propriété des systèmes de vérification, la base juridique de la vérification, l'indépendance, les impacts du développement, le rapport entre certification et vérification, ainsi que les technologies et les processus multi-parties prenantes qui peuvent favoriser l'amélioration de la gouvernance forestière. Enfin, elle propose quelques principes pour l'élaboration de systèmes efficaces de vérification forestière.

L'ouvrage est le résultat d'une collaboration entre l'ODI et le Centre agronomique tropical de recherche et d'enseignement (CATIE), le Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR) et le Centre régional de formation forestière communautaire pour la région Asie et Pacifique (RECOFTC).

Bien que le thème soit propre au secteur forestier, les questions soulevées par cette publication mettent en lumière d'autres ques-

tions beaucoup plus générales sur la réforme de la gouvernance. Elle intéressera tous ceux qui œuvrent dans les domaines de la gouvernance forestière et de la gestion des ressources extractives, de la certification et de l'étiquetage commerciaux, de la politique environnementale et du développement participatif.

Potentiel commercial des produits forestiers non ligneux

Commercialization of non-timber forest products: factors influencing success – lessons learned from Mexico and Bolivia and policy implications for decision-makers.

E. Marshall, K. Schreckenberg et A.C. Newton. 2006. Programme des Nations Unies pour l'environnement-Centre mondial de surveillance de la conservation (PNUE-WCMC). ISBN 92-807-2677-3.

Les produits forestiers non ligneux (PFNL), qui comprennent les noix, les résines, les fruits, les huiles et les épices, sont une importante source de nutrition et de revenus pour de nombreuses communautés mondiales. Cet ouvrage, fondé sur des expériences vécues au Mexique et en Bolivie, examine le processus de commercialisation des PFNL. Il étudie l'accès au marché, les chaînes de valeur et la mesure dans laquelle la commercialisation contribuera à la gestion durable des forêts.

L'ouvrage commence par expliquer comment les données qualitatives et quantitatives ont été collectées et intégrées dans l'analyse.

Les auteurs estiment que les PFNL peuvent représenter bien plus qu'un dispositif de sécurité. Ils analysent la façon dont ces produits peuvent améliorer les revenus et le niveau de vie, en offrant un cadre pour la commercialisation. Des suggestions sont faites pour la gestion des coûts de transaction, la collaboration avec les organisations non gouvernementales (ONG) et l'évaluation des impacts environnementaux.

Produit grâce à la collaboration entre l'Overseas Development Institute, le PNUE-WCMC, l'Université de Bournemouth et des partenaires au Mexique et en Bolivie, cet ouvrage évalue le potentiel de viabilité, de durabilité et de réduction de la pauvreté des projets de commercialisation, et fournit des outils de soutien à la prise de décisions efficaces par les ONG et d'autres acteurs.

