Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine

98-4 | 2010
La montagne, laboratoire du changement climatique

Quel futur pour les services écosystémiques de la forêt alpine dans un contexte de changement climatique ?

Benoît Courbaud, Georges Kunstler, Xavier Morin et Thomas Cordonnier

Édition électronique
URL : https://journals.openedition.org/rga/1308
DOI : 10.4000/rga.1308
ISSN : 1760-7426

Traduction(s) :
What is the future of the ecosystem services of the Alpine forest against a backdrop of climate change? - URL : https://journals.openedition.org/rga/1317 [en]

Éditeur :
Association pour la diffusion de la recherche alpine, UGA Éditions/Université Grenoble Alpes

Référence électronique
Benoît Courbaud, Georges Kunstler, Xavier Morin et Thomas Cordonnier, « Quel futur pour les services écosystémiques de la forêt alpine dans un contexte de changement climatique ? », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 98-4 | 2010, mis en ligne le 27 janvier 2011, consulté le 08 décembre 2022. URL : http://journals.openedition.org/rga/1308 ; DOI : https://doi.org/10.4000/rga.1308

Ce document a été généré automatiquement le 8 décembre 2022.

Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International - CC BY-NC-ND 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Quel futur pour les services écosystémiques de la forêt alpine dans un contexte de changement climatique ?

Benoît Courbaud, Georges Kunstler, Xavier Morin et Thomas Cordonnier

1 La forêt de montagne française produit de nombreux services écosystémiques (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). La surface forestière est importante en montagne : les sept départements Isère, Savoie, Haute-Savoie, Drôme, Hautes-Alpes, Alpes-de-Haute-Provence, Alpes-Maritimes, sont ainsi recouverts par la forêt sur environ 40% de leur surface contre une moyenne nationale de l'ordre de 30%. Le premier service reconnu est la production de bois, 7,5 millions de m^3/an pour ces sept départements (Inventaire Forestier National 1996-2002), à plus de 60% en résineux. En montagne, la forêt remplit un service particulier de protection des activités humaines, contre les avalanches, les chutes de rochers et l'érosion (Gauquelin and Courbaud, 2006). Très présente dans les paysages montagnards, elle contribue à l'identité culturelle de ces territoires et indirectement à d'autres secteurs d'activité tels que celui du tourisme. La forêt de montagne est relativement peu morcelée et gérée de manière moins intensive qu'en plaine, ce qui en fait un réservoir de biodiversité intéressant. Le service de stockage de carbone est également à souligner, en lien avec les surfaces et les volumes sur pied importants. Enfin, la filière bois représente environ 4,13 emplois pour 1000 m^3/an de bois récolté.

2 Les changements climatiques vont entraîner des modifications de la forêt de montagne, de manière directe à travers l'effet du climat sur la végétation et de manière indirecte à travers les évolutions du contexte socio-économique et de la demande de services forestiers. Cet article discute les risques de remise en cause des services écosystémiques et l'opportunité de stratégies d'atténuation et d'adaptation permettant d'accompagner au mieux ces évolutions.

De nombreuses incertitudes par rapport aux impacts directs des changements climatiques sur la forêt de montagne

L'influence déterminante du climat sur la végétation

3 Le climat est le principal facteur déterminant la répartition des espèces d'arbres à l'échelle régionale dans la zone tempérée (Morin *et al*., 2007). Les conditions climatiques locales ont également une influence déterminante sur la composition et le fonctionnement de la forêt de montagne, traduite par l'étagement de la végétation avec l'altitude. Les forêts alpines sont ainsi dominées par les feuillus à l'étage collinéen (chênes, hêtre, érables, tilleuls ...), mixtes à feuillus et conifères à l'étage montagnard (hêtre, sapin, épicéa ...), puis essentiellement constituées de conifères à l'étage subalpin (sapin, pin à crochets, pin cembro, mélèze ...). La décroissance de la température avec l'altitude (en moyenne de 0.6°C par 100 m) est le premier facteur qui explique cet étagement, même si les variations de pression atmosphérique et de rayonnement solaire jouent aussi un rôle. La température influence notamment la croissance en déterminant la durée de la saison de végétation et la vitesse de croissance, la fécondité des arbres, la germination des graines ainsi que la mortalité des semis (gel). L'autre variable climatique majeure est le régime de précipitations, qui affecte notamment les différences de végétation entre Alpes externes (fortes précipitations, jusqu'à 2000 mm/an en Haute Savoie) et Alpes internes (faibles précipitations, souvent inférieures à 1000 mm/an dans les Hautes Alpes et même 550 mm/an dans le Valais). L'humidité de l'air et les ressources en eau du sol influencent fortement la croissance, la régénération et la survie des arbres. Le hêtre est ainsi exclu des Alpes internes car les précipitations y sont insuffisantes alors que c'est le terrain de prédilection du mélèze, qui apprécie une faible humidité atmosphérique (Ozenda, 1985).

4 Les modèles globaux de circulation atmosphérique prédisent tous pour la fin du siècle des changements majeurs pour la température et les précipitations, du fait de l'augmentation de la concentration en CO_2 atmosphérique. Suivant les scénarii climatiques, les modèles prédisent dans les Alpes une augmentation de 2.2 à 5.1°C (IPCC, 2007) et une diminution des précipitations en été (de 20 à 30%) mais une augmentation en hiver de (0 à 10%). Le type de précipitation devrait aussi changer : la limite inférieure de la neige devrait remonter en altitude, et la durée d'enneigement devrait diminuer (IPCC, 2007). Toutefois, il faut noter que les prédictions de changement de régime de précipitation sont considérées comme peu fiables par les climatologues eux-mêmes (IPCC, 2007). Les modèles climatiques prédisent également une augmentation de la variabilité des conditions climatiques (IPCC, 2007) et de la fréquence des événements extrêmes : sécheresses et, de manière plus controversée, des tempêtes (Beniston *et al*., 2007). De tels changements du climat vont nécessairement affecter la composition, la structure, et la dynamique des peuplements forestiers des Alpes Françaises.

Des effets directs importants mais difficiles à quantifier sur les écosystèmes

5 En première approche, l'augmentation prévue des températures devrait se traduire par une remontée en altitude des étages de végétation (par exemple une augmentation de 4°C conduirait à une remontée d'environ 700 m). La température a déjà augmenté de presque 1°C depuis 1950 dans les Alpes (IPCC, 2007). Une remontée altitudinale a été démontrée pour la majorité des espèces végétales des milieux forestiers dans les Alpes Françaises (Lenoir *et al.*, 2008), pour le gui en Suisse (Dobbertin *et al.*, 2005), le hêtre en Espagne (Penuelas and Boada, 2003), et pour sept espèces d'arbres en Scandinavie (notamment le bouleau, l'épicéa et le pin sylvestre) (Kullman, 2002). Il faut cependant noter que dans les Alpes suisses la remontée de la limite supérieure des forêts semble principalement due à l'abandon des pâturages (Gehrig-Fasel *et al.*, 2007). Les modèles de niche – qui établissent une relation statistique entre les variables climatiques et la présence-absence des espèces – prédisent tous une remontée en altitude de l'aire potentielle des espèces forestières, entraînant une réorganisation majeure des communautés (Badeau *et al.*, 2004 ; Bolliger *et al.*, 2000; Piedallu *et al.*, 2009; Thuiller *et al.*, 2005). Du fait de la forte variabilité des conditions climatiques locales liée au relief, ces changements devraient être particulièrement importants et conduire à une forte perte de biodiversité en montagne (Thuiller *et al.*, 2005).

6 Outre ces changements de composition spécifique, une augmentation de la productivité forestière est attendue. Une augmentation importante de la croissance des arbres a déjà été observée en Europe (Spiecker *et al.*, 1996), et des études réalisées à basse altitude dans le nord-est de la France ont montré un accroissement de la productivité du hêtre (Bontemps *et al.*, 2010) et du chêne (Dhôte and Hervé, 2000), pouvant atteindre +50% par rapport aux années 1930-1940. Ces changements de croissance sont généralement reliés à l'augmentation de la concentration en CO_2 atmosphérique mais les dépôts azotés et l'augmentation de température peuvent aussi être impliqués (Boisvenue and Running, 2006). Les stades phénologiques des arbres (notamment l'apparition des feuilles) dépendent fortement de la température et un allongement de la saison de végétation de l'ordre de plusieurs jours a été observé au cours des dernières décennies (Root *et a*l., 2003). Cette augmentation de productivité devrait se poursuivre dans le futur, au moins à court et moyen terme.

7 La réponse des espèces forestières est cependant complexe. Les changements de distribution des espèces vont dépendre de certains facteurs limitants sur lesquels les connaissances restent peu développées. Les semis sont plus sensibles aux variations climatiques que les arbres adultes et leur survie sera déterminante sur la remontée altitudinale (Svensson *et al.*, 2005). L'impact des nouvelles conditions climatiques sur la mortalité des arbres adultes est également mal connu, même si de forts taux de mortalité en réponse à des évènements extrêmes de sécheresse ont été rapportés, par exemple dans la Sierra Nevada californienne (Breshears *et al.*, 2005). Les modifications futures de composition spécifique et les différences de réponse des espèces aux nouvelles conditions abiotiques (température, précipitations, CO_2) vont certainement changer les relations de compétition entre espèces. L'impact des ravageurs forestiers peut être décisif : des dommages croissants liés aux attaques d'insectes sous-corticaux comme les scolytes ont été observés en lien avec un multivoltinisme accru (capacité à produire plusieurs générations par an) (Lindner *et al.*, 2010). De manière générale, la

réponse des plantes à des évènements extrêmes (sécheresse et vague de chaleur) est mal connue.

La résilience des forêts de montagne

8 La diversité et l'hétérogénéité des forêts de montagne constituent des atouts majeurs favorisant leur résilience aux changements climatiques. Les forêts de montagne sont caractérisées par une très grande hétérogénéité géomorphologique, micro-climatique et de type de sol. A cause des difficultés d'accès, ces forêts sont généralement gérées de manière relativement extensive et peu artificialisée. La régénération naturelle (c'est à dire sans l'utilisation de plantation) y est maintenant prédominante, même si la politique de restauration des terrains en montagnes a nécessité des plantations sur de grandes surfaces au début du XX^{e} siècle. Ce contexte favorise une diversité en essences importante qui constitue une forme d'assurance face à un avenir incertain car elle augmente les chances qu'au moins certaines essences présentes localement puissent tolérer les conditions futures. Les gradients environnementaux très forts qui se trouvent le long des versants impliquent des distances à parcourir pour trouver des conditions climatiques favorables beaucoup plus restreintes qu'en plaine (Jump *et al.*, 2009). Malgré la segmentation liée au relief, une fragmentation assez faible de la forêt de montagne (elle couvre plus de 40% de la surface des Alpes françaises) assure la connectivité entre les habitats forestiers. Ces deux phénomènes devraient favoriser les processus de migration. La forte diversité génétique caractéristique des arbres devrait également permettre une adaptation génétique relativement rapide (Lindner *et al.*, 2010). Enfin, la déprise agricole, et en particulier l'abandon du pâturage, facilite la remontée de la limite altitudinale des forêts dans l'étage subalpin, en diminuant la pression des herbivores sur les semis colonisant cette zone.

9 Dans le passé, les forêts de montagne ont montré une bonne capacité de résilience après perturbation. De nombreuses tempêtes les ont endommagées au cours du dernier siècle, mais leur régénération a généralement été très rapide. La proximité des sources de graines et la forte abondance d'espèces pionnières favorisent cette dynamique. Ces différents éléments laissent penser que les forêts de montagne devraient avoir une bonne résilience aux perturbations induites par les changements climatiques. Cependant il faut noter que les perturbations naturelles et les changements climatiques peuvent avoir des interactions synergiques, avec des effets complexes jamais observés jusqu'à présent (par exemple développement des incendies ou cumul d'années sèches et de tempêtes et développement des ravageurs).

Des modifications de la demande de services forestiers et de la gestion forestière en lien avec le changement climatique

Une demande accrue pour l'ensemble des services rendus par la forêt

10 Le changement climatique devrait également impacter la forêt de montagne de manière indirecte à travers une demande croissante de services forestiers. La récolte totale de bois en France est estimée à 60 millions de m^3/an (Puech, 2009).

L'augmentation du coût des énergies fossiles, conjuguée aux résolutions prises pour diminuer leur utilisation, devrait fortement stimuler la demande en bois énergie à moyen terme. Le Grenelle Environnement 2007 propose comme objectif pour 2020 d'atteindre 23% d'énergies renouvelables dans le bouquet énergétique national, dont une contribution de la biomasse nécessitant la mobilisation de 12 millions de m^3/an de bois-énergie supplémentaires (Grenelle de l'environnement - comité opérationnel n°10, 2008 ; Madignier and Guitton, 2009). Cette prospective s'appuie sur un scénario de prélèvement plus proche de l'accroissement observé (au niveau national, seulement 60% de l'accroissement forestier serait récolté actuellement), d'une augmentation générale des surfaces forestières et du développement de surfaces dédiées à la production bois énergie telles que les taillis à très courte rotation. La forêt de montagne est concernée par ces objectifs car elle abrite actuellement de forts gisements de bois sur pied. Cependant les difficultés d'accès et de mécanisation constituent un frein important à leur exploitation, même si l'augmentation des prix du bois-énergie modifiera les seuils de rentabilité. Par ailleurs, la forêt de montagne est dominée par les peuplements résineux pour lesquels le bois-énergie restera probablement un produit connexe au bois d'œuvre.

11 Les mêmes facteurs d'évolution s'exercent à plus long terme sur la demande de bois d'œuvre, dont la compétitivité relative ne peut que s'accroître sous l'effet de l'augmentation du prix de l'énergie. Le Grenelle de l'environnement vise un objectif de pénétration du bois dans le bâtiment de 15 à 20 % d'ici 2020, nécessitant la mobilisation de 9 millions de m^3/an supplémentaires. La région Rhône-Alpes apparaît comme l'une des trois régions où la disponibilité en bois d'œuvre est la plus forte pour la période 2006-2020, et de loin la première pour la disponibilité en bois d'œuvre résineux (Ginisty *et al.*, 2009).

12 Outre la substitution ou l'économie des énergies fossiles, la forêt fournit un autre levier pour l'atténuation de l'effet de serre : sa capacité de capture et de stockage du carbone. C'est même à ce seul titre qu'elle a été prise en compte dans la première période d'application du protocole de Kyoto (Nations Unies, 1998). L'article 3.3 impose aux Etats signataires de comptabiliser l'évolution du stock de carbone forestier due aux variations de leur surface forestière par rapport à l'année de référence 1990. Le résultat de ce calcul entre dans le bilan des émissions des pays, en débit ou en crédit. Pour les états volontaires, comme la France, l'article 3.4 permet en outre de convertir une part forfaitaire de l'accroissement du stock forestier résultant d'actions volontaires de gestion en crédits carbone (3,2 millions de tonnes équivalent CO^2/an pour la France). Le carbone stocké en forêt acquiert ainsi indirectement une valeur, qui accroît ou donne une nouvelle dimension à la valeur sociale des forêts. Ces engagements internationaux n'ont cependant pas d'impact significatif sur le comportement des propriétaires, qui ne sont pas rémunérés pour le service qu'ils rendent à la collectivité en stockant du carbone dans leur propriété.

13 Les capacités de stockage de carbone par la forêt sont limitées par la mortalité naturelle. Le Groupe d'experts International sur l'Evolution du Climat (GIEC, ou IPCC en anglais) considère donc que « Sur le long terme, une stratégie de gestion durable des forêts visant à maintenir ou à augmenter le stock de carbone en forêt tout en approvisionnant la filière bois (grume, fibre et énergie) à un niveau de prélèvement durable, génèrera les bénéfices d'atténuation maximum » (Inventaire Forestier National, 2010 ; IPCC, 2007). En ce qui concerne la montagne, une phase transitoire de

relatif déstockage est probable, voire souhaitable, car les Très-Gros-Bois (diamètre supérieur à 65 cm) sont actuellement assez fortement représentés. Ces arbres peuvent perdre rapidement leur valeur économique (pourriture au pied, blessures, difficultés de sciage des arbres trop gros) et sont sensibles aux attaques parasitaires et aux coups de vent (Gauquelin and Courbaud, 2006). Il peut donc être opportun de les récolter tant qu'ils sont encore vendables dans un contexte d'augmentation possible d'évènements climatiques extrêmes.

14 Le changement climatique s'accompagne d'une aggravation des risques liés à des aléas naturels tels que pluies violentes et crues torrentielles. On peut donc anticiper également une augmentation de la demande sociale pour le service de protection rendu par la forêt. Enfin, le changement climatique augmente les risques de perte de biodiversité dans tous les écosystèmes et devrait renforcer la demande de préservation d'espaces forestiers pour leur service de réservoir de biodiversité.

La prise de conscience des effets potentiels du changement climatique sur la forêt par les acteurs forestiers

15 Les acteurs forestiers montrent des signes contradictoires de prise de conscience des impacts possibles du changement climatique sur la forêt. Le thème des changements climatique est rapidement devenu central pour la recherche forestière. Les manifestations et publications de vulgarisation traitant du changement climatique sont nombreuses (Legay and Mortier, 2006 ; Legay *et al*., 2007).

16 Au niveau de l'Office National des Forêts, une stratégie nationale d'adaptation de la gestion forestière au changement climatique est définie dans une instruction de cinq pages (Office National des Forêts, 2009) qui fixe de grands principes tels qu'une surveillance active des forêts pour renforcer la réactivité vis-à-vis des risques émergents, une participation active aux programmes de recherche, l'accompagnement des changements d'essences et l'intensification de la sylviculture, et une meilleure gestion des crises sanitaires. Au niveau des aménagements forestiers, elle préconise d'identifier les essences à risques par type de condition écologique et de prévoir leur remplacement progressif par d'autres essences, de veiller à maintenir un capital sur pied modéré pour limiter les risques de pertes, d'intensifier la sylviculture en cohérence avec l'augmentation de croissance observée, de favoriser le mélange des essences, de veiller au tassement des sols qui renforce le stress hydrique, et de maîtriser les populations de cervidés pour ne pas voir disparaître des essences adaptées.

17 Ces orientations doivent être précisées à l'échelle des régions dans les Directives Régionales d'Aménagement pour les forêts domaniales (DRA) et les Schémas Régionaux d'Aménagement pour les forêts des collectivités relevant du régime forestier (SRA). Les DRA/SRA Rhône-Alpes (Office National des Forêts - Direction Territoriale Rhône-Alpes, 2006) préconisent ainsi un changement d'essences dans certains secteurs. L'épicéa aux altitudes inférieures à 1000m et le sapin dans les forêts à caractère méditerranéen sont considérés comme menacés par l'évolution du climat, aggravée par les interactions biotiques (scolyte pour l'épicéa, gui pour le sapin). Dans ces situations, ces essences doivent être limitées au profit de peuplements plus mélangés, en favorisant la dynamique des feuillus et le développement du mélèze, du douglas ou du cèdre, selon les contextes. Une enquête réalisée auprès de 25 acteurs forestiers du Vercors fait

néanmoins ressortir une inquiétude relativement faible par rapport aux conséquences locales du changement climatique sur la forêt et l'absence de projet d'adaptation à court terme dans ce massif relativement peu touché par la sécheresse de 2003 (Rodron *et al.*, 2010 (in prep)) La multiplicité des enjeux et des contraintes (biodiversité, changement climatique, développement économique), la multiplicité des acteurs et l'ampleur des incertitudes rendent en effet la définition d'une politique d'adaptation particulièrement difficile, au risque de voir se développer un certain attentisme chez les acteurs de terrain.

18 La dynamisation de la sylviculture apparaît aux gestionnaires forestiers comme un élément de réponse rapide aux risques de dépérissement et à l'augmentation des besoins en matière bois mais le recul sur cette stratégie reste encore limité. Elle se traduit par un raccourcissement des durées de rotation, une réduction des diamètres d'exploitabilité et une diminution du capital sur pied, dans le but de limiter les risques de pertes d'exploitation (dépérissement d'arbres âgés ou en limite climatique), de réduire la consommation en eau des peuplements (Breda *et al.*, 2006) tout en augmentant l'offre de bois. Une décapitalisation excessive dans les peuplements riches en gros-bois pourrait néanmoins faire peser des risques sur la durabilité de la récolte, le rôle de protection, et la biodiversité. La diminution des gros-bois, de même que l'exploitation des rémanents et des souches en lien avec le développement de la filière bois énergie pourrait affecter certaines espèces qui dépendent du bois mort pour se nourrir ou se reproduire (Landmann *et al.*, 2009). Concernant les changements volontaires d'essences, les essais de plantations d'espèces de reboisement restent encore marginaux. En raison de nombreux échecs d'introductions dans le passé et d'une image défavorable pour la biodiversité, l'intérêt de reboisements comme adaptation au changement climatique fait débat. Une introduction raisonnée et ciblée aux endroits à forte vulnérabilité pourrait néanmoins constituer à court terme une stratégie possible. L'objectif d'augmentation de la production forestière semble quant à lui fortement relayé malgré les contradictions posées par la récurrence de lots invendus en montagne dès que les difficultés d'exploitations sont importantes.

Adaptation aux changements climatiques et évolution des services rendus par la forêt de montagne

Les risques liés à une sous-adaptation

19 Face aux incertitudes vis-à-vis des effets du changement climatique sur la dynamique des différentes essences forestières et les limites de l'action du forestier, il est possible que les adaptations de la gestion forestière se mettent en place relativement lentement sur le terrain, en particulier dans les forêts peu productives. En termes de production, une telle situation pourrait conduire à une sous-valorisation de la forêt, qui tire peu partie de l'augmentation de la productivité et des surfaces forestières au subalpin. Une sous-exploitation pourrait conduire également au développement de peuplements soit très denses, soit vieillissants, composés dans les deux cas d'arbres moins résistants au vent et aux dépérissements, se traduisant par une augmentation des risques naturels (risque d'incendie lié à la présence d'arbres morts, diminution du rôle de protection de la forêt). La gestion forestière a donc ici un rôle essentiel à jouer pour le maintien des services de production et de protection. Une attitude attentiste par rapport aux

changements d'essences pourrait conduire à des changements de production si les feuillus se développent au détriment des résineux (diminution du bois d'œuvre et augmentation du bois énergie) et à une perte de productivité des forêts si des essences méridionales, moins productives remplacent les essences de montagne (dépérissement du sapin et de l'épicéa et du pin sylvestre, remontée du chêne pubescent) (Roman-Amat, 2007). Sur le plan du rôle de protection et de la biodiversité, une augmentation des feuillus pourrait être considérée comme positive dans certains cas (meilleure résistance des feuillus aux chutes de rochers, feuillus plus naturels que les plantations de pin noir effectuées dans les Alpes du Sud au début du XX^{e} siècle pour lutter contre l'érosion sur marnes). Néanmoins, une réduction des résineux en montagne conduirait à la perte de paysages et d'écosystèmes typiques aux conséquences importantes pour la diversité animale et végétale associée. La mise en place par les acteurs forestiers d'actions visant à favoriser les essences de montagne, en particulier par des travaux limitant la compétition des essences colonisatrices paraît donc essentielle. Enfin, il paraît indispensable que les services non marchands de la forêt tels que celui de stockage de carbone, de réservoir de biodiversité ou de protection soient mieux reconnus par l'opinion publique pour qu'ils puissent orienter effectivement les adaptations de la gestion forestière au changement climatique.

Les risques liés à une sur-adaptation

20 La situation opposée, d'une sur-adaptation aux changements climatiques serait également dommageable. Une application excessive des stratégies d'intensification pourrait conduire à des coupes à blanc, à de fortes éclaircies entraînant l'exposition au vent d'arbres individuellement peu stables, à une modification du microclimat forestier et, suivant les cas, à un dessèchement de la régénération, une explosion de la myrtille et de la végétation herbacée, ou au développement de fourrés impénétrables de régénération. La récolte augmenterait à court terme mais les différentes fonctions : production, protection et préservation de la biodiversité se dégraderaient à moyen terme. Une telle intensification brutale mènerait probablement à surexploiter les peuplements d'accès facile ; et à construire des réseaux de piste ou des emprises de câble importantes dans des versants exposés aux risques naturels ou à fort impact paysager. Dans l'état actuel des connaissances, la prudence parait également de mise quand aux changements volontaires d'essences par plantation. Ces actions sont coûteuses et leur effet bénéfique n'est pas assuré car les conditions climatiques futures et les régimes de perturbations associés peuvent s'avérer différents des conditions rencontrées actuellement à plus basse altitude. Par ailleurs, des combinaisons de sols et de climats nouvelles sont à anticiper. Des changements artificiels d'essences sur de grandes surfaces auraient un impact négatif sur la biodiversité pour un résultat incertain en termes de production. Des choix d'essences mal adaptés pourraient conduire à des dépérissements de plantations. Dans les cas extrêmes on pourrait assister à des investissements à perte de certains propriétaires, suivis d'un découragement et d'un abandon total.

Gestion adapatative et prise en compte des incertitudes

21 Face à ces écueils, l'enjeu est de réussir à mettre en place des adaptations au changement climatique mesurées, progressives et appropriées au contexte local.

L'importance de l'observation fine des évolutions en cours à leur échelle est soulignée par les acteurs de terrain comme le préalable indispensable à une adaptation pratique de la gestion (Rodron *et al.*, 2010 (in prep)). On peut espérer un développement des interactions gestion-recherche, inspirées de la notion de gestion adaptative (Cordonnier and Gosselin, 2009). Une telle démarche permet en effet d'organiser les observations, d'une part autour d'un suivi des écosystèmes forestiers plus intensif et mieux quantifié, et d'autre part autour de la mise en place d'actions de gestions à la fois plus contrôlées et plus diversifiées. L'objectif est de structurer les questions, quantifier les observations, partager les connaissances, se mettre d'accord sur les objectifs de gestion et réunir les forces autour de dispositifs de grande ampleur.

22 Enfin, une réflexion plus profonde est à mener sur le développement de stratégies d'adaptation qui prennent en compte les incertitudes liées au changement climatique (Hallegate, 2009). Dans ce contexte, on peut citer les stratégies « sans regret », qui consistent à réaliser des investissements qui améliorent les capacités à faire face au changement climatique mais qui sont bénéfiques même en son absence. C'est le cas par exemple de l'investissement dans la desserte forestière ou le développement de l'exploitation par câble. Les stratégies « réversibles » permettent quant à elles une flexibilité par rapport aux évolutions climatiques. Le développement de peuplements mélangés en est un bon exemple car la présence d'essences secondaires permet une certaine réversibilité des orientations de gestion si le choix d'une essence dominante se révèle à terme mal adapté. Dans le cas de fluctuations du climat ou du marché, les peuplements mélangés répartissent également les risques sur des essences aux caractéristiques écologiques et commerciales différentes qui peuvent être valorisées alternativement. Les stratégies de « réduction de l'horizon de décision » augmentent elles aussi la flexibilité. On peut imaginer dans ce cadre réduire la durée des aménagements forestiers. Les stratégies « non techniques » comme l'assurance financière par rapport aux risques sont également à considérer, en particulier pour les propriétaires privés et les collectivités locales.

Conclusion

23 Le changement climatique fait peser des contraintes fortes sur la forêt de montagne mais il peut également augmenter sa prise en compte par la société dont les attentes vis-à-vis des services rendus par la forêt augmentent. Les acteurs forestiers sont actuellement en pleine réflexion pour mettre en place des stratégies d'adaptation de la gestion forestière au changement climatique, malgré de fortes incertitudes sur les évolutions futures sur la forêt.

BIBLIOGRAPHIE

BADEAU V., DUPOUEY J-L., CLUZEAU C., DRAPIER J., LE BAS C., 2004. – « Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières - Projet CARBOFOR - Tâche D1.. ». INRA.

BENISTON M., STEPHENSON D. B., CHRISTENSEN O. B., AND *AL*., 2007. – "Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections". *Climatic Change*, 81, pp. 71-95.

BOISVENUE C., RUNNING S. W., 2006. – "Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century". *Global Change Biology,* 12, pp. 862-882.

BOLLIGER J., KIENAST F., BUGMANN H., 2000. – "Comparing models for tree distributions: concept, structures, and behaviour". *Ecological Modelling,* 134, pp. 89-102.

BONTEMPS J. D., HERVÉ J. C., DHÔTE J. F. 2010. – "Dominant radial and height growth reveal comparable historical variations for common beech in north-eastern France". *Forest Ecology and Management*, 259, pp. 1455-1463.

BREDA N., HUC R., GRANIER A., 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, pp. 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., 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, pp. 15144-15148.

CORDONNIER T., GOSSELIN F., 2009. – « La gestion forestière adaptative : intégrer l'acquisition de connaissances parmi les objectifs de gestion ». *Revue Forestière Française,* 2, pp. 131-143.

DHÔTE J. F., HERVÉ J. C., 2000. – « Changements de productivité dans quatre forêts de Chêne sessile depuis 1930 : une approche au niveau du peuplement ». *Annales des Sciences forestières*, 57, pp. 651-680.

DOBBERTIN M., HILKER N., REBETEZ M., ZIMMERMANN N. E., WOHLGEMUTH T., RIGLING A., 2005. – "The upward shift in altitude of pine mistletoe (Viscum album ssp. austriacum) in Switzerland-the result of climate warming? *International journal of biometeorology*, 50, pp. 40-47.

GAUQUELIN X., COURBAUD B., EDS., 2006. – « Guide de sylviculture des forêts de montagne - Alpes du Nord françaises ». Cemagref - CRPF Rhône-Alpes - Office National des Forêts. pp. 1-289.

GEHRIG-FASEL J., GUISAN A., ZIMMERMANN N. E., 2007. – "Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment?" *Journal of Vegetation Science*, 18, pp. 571-582.

GINISTY C., CHEVALIER H., VALLET P., COLIN A., 2009. – *Évaluation des volumes de bois mobilisables à partir des données de l'IFN nouvelle méthode*. Actualisation 2009 de l'étude "biomasse disponible" de 2007." Cemagref / IFN / DGFAR.

GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT - COMITÉ OPÉRATIONNEL N°10, 2008. – *Plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale. 2008 - 2012 - 2020*. http://www.legrenelle-environnement.gouv.fr/grenelle-environnement/IMG/pdf/rapport_final_comop_10.pdf.

HALLEGATE S., 2009. – "Strategies to adapt to an uncertain climate change". *Global Environment Change*, 19, pp. 240-247.

INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL, 2010. – *Résultats d'Inventaires - Ancienne méthode*. http://www.ifn.fr/spip/.

IPCC, 2007. – *Fourth assessment report: climate change 2007 (AR4)*. Working group III report "Mitigation of climate change". Chap. 9 "Forestry". pp. 541-584. Cambridge University Press, Cambridge.

JUMP A. S., MATYAS C., PEÑUELAS J., 2009. – "The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species". *Trends in ecology & evolution,* 1147.

KULLMAN L., 2002. – "Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes". *Journal of Ecology*, 90.

LANDMANN G., GOSSELIN F., BONHÊME I., 2009. – *Bio2 - Biomasse et Biodiversité Forestières. Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière: implications pour la biodiversité et les ressources naturelles*. GIP Ecofor & Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer.

LEGAY M., MORTIER F., 2006. – *La forêt face au changement climatique. Adapter la gestion forestière.* Synthèse de l'atelier ONF/INRA du 20 octobre 2005.

LEGAY M., MORTIER F., MENGIN-LECREUX P., CORDONNIER T., 2007. – « La gestion forestière face aux changements climatiques : tirons les premiers enseignements ». Rendez-Vous Techniques de l'ONF HS n°3 "*Forêt et milieux naturels face aux changements climatiques*, pp. 95-102.

LENOIR J., GÉGOUT J. C., MARQUET P. A., RUFFRAY P. D., BRISSE H., 2008. – "A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century". *Science*, 320, pp. 1768-1771.

LINDNER M., MAROSCHEK M., NETHERER S., KREMER, A., BARBATI A., GARCIA-GONZALO J., SEIDL R., DELZON S., CORONA P., KOLSTROM M., LEXER M. J., MARCHETTI M., 2010. – "Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems". *Forest Ecology and Management*, 259, pp. 698-709.

MADIGNIER M.-L., GUITTON J.-L., 2009. – « Les défis énergétiques : des objectifs ambitieux pour la forêt ». In Ateliers REGEFOR 2009 : La forêt face aux défis énergétiques.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005. – *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.* Island Press, Washington, DC.

MORIN X., AUGSPURGER C., CHUINE I., 2007. – "Process-based modeling of tree species' distributions: What limits temperate tree species' range boundaries?" *Ecology*, 88, pp. 2280-2291.

NATIONS UNIES, 1998. – *Protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*. http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf.

OFFICE NATIONAL DES FORÊTS - DIRECTION TERRITORIALE RHÔNE-ALPES, 2006. – *Directive Régionale d'Aménagement*. ONF.

OFFICE NATIONAL DES FORÊTS, 2009. – *L'adaptation de la gestion forestière face au changement climatique: premières orientations*. Rep. No. INS-09-T-66. Instruction INS-09-T-66.

OZENDA P., 1985. – *La végétation de la chaîne alpine*. Masson, Paris.

PENUELAS J., BOADA M., 2003. – "A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)". *Global Change Biology*, 9, pp. 131-140.

PIEDALLU C., PEREZ V., GÉGOUT J.-C., LEBOURGEOIS F., BERTRAND R., 2009. – « Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Epicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France ». *Revue Forestière Française*, LXI, pp. 567-593.

PUECH J., 2009. – *Mise en valeur de la forêt française et développement de la filière bois*. Rapport remis à Mr. Nicolas Sarkozy, Président de la République.

RODRON E., COURBAUD B., LEQUÉAU P., 2010 (in prep). – « Les acteurs forestiers du Vercors face au changement climatique ». Projet SECALP - Adaptation des territoires Alpins à la recrudescence des sécheresses dans un contexte de changement global. Programme Gestion et Impacts du

Changement Climatique GICC (GICC-2 - 2009-2011) du Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables.

ROMAN-AMAT B., 2007. – *Préparer les forêts françaises au changement climatique*. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables.

ROOT T. L., PRICE J. T., HALL K. R., SCHNEIDER S. H., ROSENZWEIG C., POUNDS J. A., 2003. – "Fingerprints of global warming on wild animals and plants". *Nature*, 421, pp. 57-60.

SPIECKER H., MIELIKAINEN K., KÖHL M., SKOVSGAARD J. P., 1996. – *Growth trends in European forests*. Springer Verlag, Berlin.

SVENSSON C. J., JENKINS S. R., HAWKINS S. J., ABERG P., 2005. – "Population resistance to climate change: modelling the effects of low recruitment in open populations". *Oecologia,* 142, pp. 117-126.

THUILLER W., LAVOREL S., ARAUJO M. B., SYKES M. T., PRENTICE I. C., 2005. – "Climate change threats to plant diversity in Europe". Proceedings of the National Academy of Science, USA 102, pp. 8245-8250.

RÉSUMÉS

La forêt de montagne produit de nombreux services écosystémiques qui vont être affectés par les changements climatiques. On attend une remontée des essences en altitude qui pourrait conduire à une diminution des résineux et des espèces du subalpin. Ces changements d'essences pourraient avoir un impact négatif sur la biodiversité et sur la production de bois d'œuvre. On observe cependant également une augmentation de la productivité favorable à la production de bois énergie et au moins temporairement de bois d'œuvre, ainsi qu'au stockage de carbone. Face à une augmentation possible des évènements climatiques extrêmes, les changements de végétation pourront être marqués par des épisodes de dépérissements, très négatifs pour la filière économique, la protection contre les risques naturels et la biodiversité. Le changement climatique affectera la forêt également de manière indirecte en augmentant la demande en énergie renouvelable et en stockage de carbone. Les incertitudes sur les prédictions de changements de végétation sont élevées, ce qui rend délicate la définition de stratégies d'adaptation de la gestion forestière. Une gestion de crises efficace, un accompagnement des évolutions naturelles de la forêt basé sur une interaction recherche-gestion (gestion adaptative), et la prise en compte explicite de la notion d'incertitude paraissent des éléments essentiels au maintien des services écosystémiques fournis par la forêt.

Mountain forests produce a large number of ecosystem services that are going to be affected by climate change. We are expecting an increase in high altitude species that could result in the decrease in resinous and subalpine species. These changes in species could adversely affect biodiversity and timber production. However, we also observe an increase in productivity that favours the production of energy wood and, at least temporarily, timber, as well as carbon storage. Given the possible rise in extreme climatic events, changes in vegetation could be marked by periods of decline, which will be very detrimental to the economic system, protection against natural hazards and biodiversity. Climate change will also have an indirect effect on the forest by increasing the demand for renewable energy and carbon storage. There is a lot of uncertainty about vegetation change predictions and this makes it difficult to define forest management adaptation strategies. Effective crisis management, monitoring of natural transformations of the forest based on the interaction between research and management (adaptive management) and the explicit factoring in of the concept of uncertainty appear to be essential to the maintenance of the ecosystem services provided by the forest.

INDEX

Mots-clés : biodiversité, gestion forestière, production de bois, protection contre les aléas naturels, stockage de carbone
Keywords : biodiversity, carbon storage, forest management, protection against natural hazards, wood production

AUTEURS

BENOÎT COURBAUD

Cemagref – UR Ecosystèmes Montagnards, benoit.courbaud@cemagref.fr

GEORGES KUNSTLER

Cemagref – UR Ecosystèmes Montagnards, georges.kunstler@cemagref.fr

XAVIER MORIN

Forest Ecology Group – ETH, Zürich, xavier.morin@env.ethz.ch

THOMAS CORDONNIER

Cemagref – UR Ecosystèmes Montagnards, thomas.cordonnier@cemagref.fr