



HAL
open science

Evaluation économique des impacts du changement climatique pour la forêt et le secteur bois en France.

Revue de littérature

Franck Lecocq

► To cite this version:

Franck Lecocq. Evaluation économique des impacts du changement climatique pour la forêt et le secteur bois en France. Revue de littérature. [0] Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. 2008, 11 p. hal-01189274

HAL Id: hal-01189274

<https://hal.science/hal-01189274v1>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation économique des impacts du changement climatique pour la forêt et le secteur bois en France

Revue de littérature

Franck Lecocq

Laboratoire d'Economie Forestière

UMR n°356 AgroParisTech (ENGREF) et INRA

Version finale – 25 janvier 2008

Introduction

De nombreux travaux étudient les impacts physiques du changement climatique sur les forêts, en France et à l'étranger. En revanche, il existe très peu d'études sur les impacts économiques du changement climatique sur l'économie de la forêt et de la filière bois. La présente note reprend pour l'essentiel (souvent *in extenso*) les résultats relatifs aux impacts du changement climatique sur les écosystèmes forestiers du quatrième rapport d'évaluation du GIEC (Alcamo et al., 2007, Fischlin et al., 2007, Nabuurs et al., 2007). La seconde section discute les implications économiques de ces impacts, en se fondant notamment sur la synthèse de Fuentes Espinoza (2007). La dernière section aborde les possibilités d'adaptation dans le domaine forestier.

1. Implications du changement climatique pour la forêt française

Les écosystèmes forestiers sont vulnérables à la fois aux **risques d'augmentation de la fréquence et de l'intensité des perturbations** (sécheresses, insectes, incendies) induits par le changement climatique et à **l'évolution du climat moyen** (augmentation des températures, modification du régime des précipitations).

Malgré la plasticité naturelle des essences forestières, le changement climatique entraînera des évolutions majeures de l'aire de répartition potentielle des essences à moyen et long terme. On projette ainsi que les surfaces boisées devraient s'étendre vers le nord, y compris au détriment de la toundra, mais se contracter au sud. L'aire de distribution potentielle d'un grand nombre d'essences typiques devrait se réduire en Europe méditerranéenne (Schröter et al., 2005). Par ailleurs, les conifères natifs seront probablement remplacés par des feuillus en Europe de l'ouest et en Europe centrale (Maracchi et al., 2005). Du fait de la situation géographique particulière de notre pays à la frontière entre les climats méditerranéens et continentaux, l'aire de répartition potentielle des grandes essences forestières françaises pourrait évoluer fortement avec le réchauffement climatique (Badeau et al., 2004).

On estime cependant que la plupart des essences forestières (à l'exception de quelques généralistes) auront des difficultés à migrer assez rapidement car le climat évolue à un rythme sans précédent et car les obstacles aux migrations sont importants. Sur la base de relevés paléo-écologiques, on estime la vitesse de migration des espèces ligneuses à 200 à 300 m par an, ce qui est largement inférieur à la vitesse de migration qu'on estime nécessaire pour répondre au changement climatique anticipé (au moins 1 km/an). Des incertitudes

majeures subsistent cependant sur les vitesses de migration. On observe tout d'abord une grande variabilité entre essences. En second lieu, la fragmentation du paysage et la compétition sur les sols constituent des obstacles majeurs à la migration. Ceci étant, les essences forestières peuvent aussi s'adapter *in situ*, y compris via l'adaptation génétique. La productivité des peuplements maintenus hors de leur aire de répartition potentielle est plus faible, et leur vulnérabilité aux chocs (incendies, maladies, etc.) est plus élevée.

Du fait de l'augmentation de la concentration moyenne en CO₂ dans l'atmosphère (fertilisation carbonée)⁽¹⁾, la production nette primaire (NPP) des écosystèmes forestiers européens devrait augmenter au cours du XXI^e siècle, en particulier dans les zones tempérées (Europe du Nord et façade océanique) ainsi qu'à haute altitude dans les Alpes. Il est possible que cette augmentation de la fertilité se traduise par une augmentation du stockage total de carbone par l'écosystème, si l'augmentation de la productivité n'est pas compensée par un déficit hydrique plus important ou par des étés plus secs et chauds.

Cet effet sera néanmoins temporaire : à l'horizon de la fin du XXI^e siècle en revanche, la NPP des conifères devrait commencer à diminuer du fait de la moindre disponibilité en eau (Lasch et al., 2002, Lexer et al., 2002, Freeman et al., 2005) et de l'augmentation des températures (Pretzch et Dursky, 2002). Il est aussi probable que les sécheresses aient un impact négatif sur les forêts de feuillus (Broadmeadow et al., 2005). Le stress hydrique plus élevé au sud de l'Europe pourrait être partiellement compensé par une augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau par les arbres, l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ et l'augmentation de l'index de surface foliaire – même si ce point fait débat (par exemple Ciais et al., 2004).

Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses d'été est projetée en Europe, avec un impact majeur sur les forêts (qui réalisent l'essentiel de leur croissance annuelle la fin du printemps et au début de l'été). Les sécheresses entraînent une augmentation de la mortalité des forêts, une réduction de la résilience et peuvent avoir des conséquences importantes sur l'écosystème dans son ensemble, bien que ces effets induits sur l'écosystème soient encore mal compris. Par ailleurs, l'impact de la sécheresse peut être atténués lorsque le sol est fertile. De même, une sécheresse peut se traduire par une croissance plus importante des arbres dans les zones de montagne (plus fraîches), qui bénéficient alors d'une saison de croissance plus longue et d'une activité photosynthétique plus importante. Les sécheresses interagissent en outre avec des perturbations comme les insectes ou les incendies de forêt.⁽²⁾

Le risque incendie devrait augmenter en zone méditerranéenne (où il est déjà important) et apparaître dans des zones pour le moment épargnées. La longueur de la saison des incendies, leur fréquence et leur amplitude devraient augmenter en Europe méditerranéenne (Pausas, 2004, Moreno, 2005, Moriondo et al., 2006) et aboutir à une augmentation de la surface de maquis au détriment des espaces boisés (Mouillot et al., 2002). Bien que de moindre importance, le risque incendie devrait aussi augmenter en Europe centrale, en Europe de l'Est et en Europe du Nord.

L'évolution de la fréquence et de l'intensité des tempêtes en Europe reste controversée. Dans ces conditions, la question de savoir si le changement climatique entraînera des coûts *supplémentaires* liés aux tempêtes (par rapport aux coûts déjà importants observés

¹ L'amplitude de ce phénomène reste cependant controversée, car plusieurs mécanismes peuvent le limiter, comme la disponibilité en autres nutriments (par exemple en azote), la composition des essences ou la structure par âge du peuplement.

² Les insectes sont par exemple considérés comme au moins partiellement responsables de la disparition de leur espèce hôte à la frontière sud de leur aire de présence.

aujourd'hui) reste sans réponse (Barthod, 2003, Nillsson et al., 2004, Schumacher et Bugmann, 2006).

Paradoxalement, les risques liés au gel pourraient ne pas diminuer, et même augmenter. Les dégâts du gel devraient être moins élevés en hiver (de même que les dégâts liés à la neige), inchangés au printemps et plus élevés en automne du fait de la préparation plus tardive des arbres à l'hiver (Redfern et Hendry, 2002).

Il faut enfin noter que le changement climatique pourrait altérer la composition chimique et la densité du bois, et que le changement climatique exacerbe les risques pour la biodiversité forestière.

2. Implications économiques du changement climatique pour les forestiers, la filière bois et la société dans son ensemble

Les propriétaires et gestionnaires forestiers, les acteurs de la filière bois et la société dans son ensemble sont tous susceptibles d'être affectés par les impacts du changement climatique sur les écosystèmes forestiers. L'impact économique total résulte de l'interaction entre d'une part une augmentation de la fréquence et de l'intensité des chocs et d'autre part l'évolution du climat moyen. L'impact économique d'un choc étant très différente de l'impact économique d'évolutions tendancielles, la question des chocs est d'abord traitée séparément (sections 2.1) avant que les impacts globaux ne soient discutés (2.2). Une section spécifique est consacrée à l'impact du changement climatique pour la distribution de biens et services non marchands de la forêt – une composante importante des bénéfices que la société tire de la forêt (2.3).

Le problème posé par le changement climatique est de savoir s'il vaut mieux agir pour réduire les émissions et/ou s'adapter – en réduisant ainsi les impacts économiques du changement climatique, où s'il convient plutôt de laisser faire (ce qui évite les coûts de l'action) mais de subir l'intégralité des impacts dans le futur. **En toute rigueur, le « coût des impacts » est donc la différence entre la richesse de la société dans un scénario avec intégralité des impacts, et la richesse de la société dans un scénario où elle agit, mais subit moins de dommages.** En pratique, on calcule souvent les coûts des impacts, et les études recensées dans cette note ne font pas exception, par rapport à une situation de référence *où le climat n'évoluerait pas du tout*. Cette référence n'est pas pertinente car on sait maintenant que des changements dans le climat sont inévitables. En outre, il n'est pas du tout assuré que les coûts des dommages ainsi calculés puissent être comparés aux coûts de l'action (eux aussi calculés par rapport à la même référence sans changement climatique) (Lecocq et Shalizi, 2007).

2.1. Impact économique des chocs

Les chocs climatiques brutaux (incendies, tempêtes, insectes ravageurs) se traduisent par une perte de revenu pour les propriétaires forestiers, sous l'effet combiné (i) de la destruction de tout ou partie des peuplement, (ii) de la perte de valeur d'avenir des arbres sauvegardés, qui sont soit exploités avant l'optimum économique, soit laissés sur pied mais pourront connaître un retard de croissance, (iii) du surcoût engendré par l'obligation de reconstituer le peuplement de manière anticipée, (iv) éventuellement, des pertes liés au déstockage massif de carbone³, et (v), éventuellement, de la perte de valeur marchande des arbres sauvegardés et exploités si l'augmentation massive de l'offre a entraîné une chute des prix (comme observé après les tempêtes de 1999). Lorsque l'effet prix (v) est présent, le choc

³ Voir des pertes liés aux autres biens et services fournis de manière marchande par la forêt, si un contrat est passé entre le propriétaire forestier et un acheteur (par exemple, une régie d'eau municipale dans le cadre d'un accord portant sur la protection d'un périmètre de captage), et si dans le cadre de ce contrat le risque lié aux chocs climatiques est porté par le propriétaire.

climatique affecte aussi les propriétaires forestiers non directement touchés par l'évènement (ceux-ci peuvent aussi être touchés par d'autres mécanismes, comme la désorganisation de la filière ou l'augmentation du prix des contrats d'assurance).

L'impact d'un choc climatique sur les marchés des produits bois et sur la filière dépend de l'amplitude du choc par rapport à la taille totale du marché. On peut faire l'hypothèse que l'effet prix lié à la hausse de l'offre est positif pour la demande intermédiaire, mais ce gain peut être compensé par les coûts de stockage ou les coûts induits par la désorganisation de l'approvisionnement. Il est important de noter que les rigidités du système économique (par exemple, dispositions légales limitant la vitesse à laquelle le bois peut être exploité, etc.) peuvent augmenter considérablement les coûts d'un choc pour le secteur⁽⁴⁾. L'impact d'un choc dans un univers où la biomasse énergie est fortement développée devrait être étudié (sécurité d'approvisionnement)⁽⁵⁾.

Si la part du secteur forestier dans l'économie nationale reste du même ordre de grandeur qu'aujourd'hui (environ 1% de la valeur ajoutée nationale), l'impact direct d'un choc sur l'offre de bois sur l'économie nationale pourrait rester limité. En revanche, l'impact direct sur certaines régions forestières peut être particulièrement important—avec des potentiellement des effets induits sur les autres régions. En second lieu, une succession de chocs rapprochés peut avoir des coûts particulièrement importants si le système est déjà fragilisé, en particulier si l'emploi dans le secteur forêt bois, qui représente environ 500 000 actifs, était durablement affecté. Enfin, les efforts d'adaptation réactive (par exemple indemnités) peuvent avoir un impact disproportionné lorsque le budget de l'Etat est limité. Des chocs climatiques à l'extérieur de nos frontières pourraient aussi avoir des implications pour l'économie forestière française via les marchés internationaux du bois.

Les implications économiques des chocs « mous » (type sécheresse) sont encore mal connues, mais potentiellement très importantes (Peyron et al., 2004). Ceci est lié au fait qu'une sécheresse a à la fois des impacts de court terme (surmortalité, augmentation de la fréquence des incendies) et des impacts de moyen terme (réduction de la vitesse de croissance des peuplements, augmentation de la vulnérabilité des peuplements à d'autres types de chocs dans le futur, etc.).

2.2. Impacts économiques globaux

Les études disponibles sur l'impact économique de l'évolution de la productivité des essences (fertilisation carbonée + modification de l'aire de répartition potentielle) projettent en général une diminution de la part de marché de l'Europe tempérée, sans augmentation de la tension sur le marché (Joyce et al., 1995, Perez-Garcia et al., 1997, Sohngen et Mendelshon, 1999, Sohngen et al., 2005, Sohngen et Sedjo, 2005). Le message principal de ces études est qu'à l'horizon de la seconde moitié du XXI siècle, l'offre globale de bois devrait augmenter, particulièrement dans les pays en voie de développement, en Europe du Nord et en Russie, aboutissant à une diminution du prix du bois et à une part de marché plus faible pour la production de l'Europe tempérée.

Il n'existe pas à notre connaissance d'analyse équivalente au niveau national. Une analyse plus fine au niveau national demanderait à étudier la distribution spatiale des forêts et des industries du bois, pour lesquelles les coûts de transport jouent un rôle important – et ce

⁴ Hallegatte et al. (2007) estiment que lorsque les rigidités sont prises en compte et lorsque les dépenses de reconstruction sont limitées, le coût d'un choc climatique est 2 à 4 fois plus élevé qu'il ne serait lorsque les rigidités sont absentes et les dépenses de reconstruction illimitées.

⁵ Il faut noter que des chocs climatiques peuvent aussi avoir un impact direct sur les entreprises du secteur forêt bois, par exemple sous la forme de destruction de capital et / ou de perte de productivité des facteurs de production (notamment du travail, si le changement climatique se traduit par une incidence plus élevée de certaines maladies).

d'autant plus que le prix des carburants fossiles devrait augmenter dans les décennies à venir. L'implication du développement massif de la biomasse énergie (plantations dédiées) devrait en particulier être étudié, surtout en ce qui concerne l'approvisionnement de demande fixe (par exemple villes).

Il n'existe pas non plus, à notre connaissance, d'étude prenant en compte à la fois l'évolution des moyennes et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des chocs. Or il est probable que la fréquence et l'intensité des chocs modifie de manière sensible la manière dont les forêts, les propriétaires forestiers et la filière sont en mesure de réagir par rapport aux évolutions tendanciennes du climat. Par exemple, des chocs répétés peuvent induire des modifications irréversibles au niveau des propriétaires ou de la filière (faillites, non développement de certains usages finaux du bois pour cause d'insécurité d'approvisionnement, etc.).

A ces effets directs, il faut ajouter des effets indirects, pour l'essentiel macroéconomiques, relatifs aux conséquences pour la filière bois des impacts du changement climatique dans d'autres secteurs. Par exemple, si les impacts du changement climatique se traduisent par un ralentissement de la croissance économique nationale, alors la demande de produit bois sera affectée. A l'inverse, des impacts négatifs majeurs pour la filière forêt bois pourraient avoir des effets induits sur d'autres secteurs, en particulier les secteurs utilisant le bois comme ressource (par exemple construction, ameublement, emballage/carton, pâte à papier, bioénergie). Les relations entre secteurs sont cependant complexes et requièrent une modélisation adaptée (par exemple, un effondrement du prix du bois suite à une tempête pourrait être bénéfique, du moins à court terme, pour l'aval).

2.3. Implications pour la production de biens et services non marchands

La valeur totale des biens et services non marchands produits par les forêts françaises est estimée être du même ordre de grandeur que la valeur totale des biens et services marchands produits par la forêt (Montagné et Niedzwiedz, 2007). La production de ces différents biens et services sera très probablement affectée par le changement climatique, en particulier stockage de carbone, biodiversité (Thorsen et Kjaer, 2007), qualité de l'eau, voire récréation et paysage⁶. Le carbone est particulièrement important car il commence à être valorisé – tout au moins au niveau des Etats dans le cadre du Protocole de Kyoto (dans lequel la quantité de carbone stocké dans certains écosystèmes forestiers compte dans les objectifs d'émissions nationaux) – et qu'il pourrait faire l'objet d'une « marchandisation » plus poussée dans le futur. Les projets de séquestration du carbone dans la biomasse et les sols forestiers doivent ainsi tenir compte des impacts potentiels du changement climatique sur ces écosystèmes.

3. L'adaptation proactive et réactive

Les forêts européennes étant gérées très finement, les propriétaires forestiers disposent d'une vaste palette de mesures d'adaptation anticipatives. Celles-ci incluent notamment (i) des changements de gestion forestière, à essences constantes – par exemple fertilisation, modifications des itinéraires sylvicoles ou raccourcissement de la durée de révolution pour limiter les risques liés aux chocs climatiques, (ii) des changements de composition des essences en utilisant des essences mieux adaptées au climat futur anticipé ou en diversifiant les peuplements, notamment de conifères (Fernando et Cortina, 2004) ; (iii) adopter des modes de gestion mieux adaptés aux risques, notamment d'incendie, de sécheresse et éventuellement de tempêtes (Linder, 2000, Olofsson et Blennow, 2005, Thurig et al., 2005)

⁶ Loomis et Crespi (1999) estiment que le changement climatique pourrait diminuer la valeur récréative de la forêt américaine de 1% en 2060.

comme le remplacement d'espèces par d'autres moins inflammables, la régulation de la distribution en classes d'âge, une meilleure gestion des rémanents, le débroussaillage, ou la pratique d'incendies volontaires contrôlés (Baeza et al., 2002, Fernandes et Botelho, 2004) ; (iv) la diversification des revenus ; (v) l'achat d'assurance.

L'adaptation proactive peut aussi concerner la filière, avec par exemple (i) diversification des sources d'approvisionnement ; (ii) relocalisation des nouveaux investissements en fonction des déplacements anticipés des gisements de production ; (iii) augmentation des capacités de stockage.

La question pour les propriétaires forestiers comme pour les agents de la filière est d'évaluer s'il est plus rentable d'adopter des mesures d'adaptation proactives *ex ante* en situation d'incertitude (et donc avec le risque d'investir pour rien), ou d'attendre que les impacts du changement climatique se manifestent, et de réagir (adaptation réactive).⁷ Du fait de la durée de révolution très longue de certaines essences forestières (typiquement plusieurs décennies, voire plus d'un siècle pour le chêne), la localisation des peuplements comme le choix des essences sont des décisions irréversibles qu'il faut prendre aujourd'hui en information imparfaite. Les outils économiques pour aider les propriétaires forestiers à répondre à cette question existent, et ont été largement utilisés pour évaluer les politiques d'atténuation (Ha-Duong et al., 1996), mais ce type de raisonnement et de méthodes reste encore largement à appliquer au secteur forestier.

Même si les bénéfices des actions d'adaptation sont d'abord privés (le revenu du propriétaire forestier diminue moins qu'il n'aurait diminué sans ces actions, voire augmente), l'Etat et les collectivités locales peuvent aussi être fondés à participer à l'adaptation anticipative ou réactive. Par exemple, l'Etat peut intervenir pour (i) *disséminer de l'information* (en termes économiques, corriger les asymétries d'information entre agents) : par exemple, informer les propriétaires forestiers sur les risques liés au changement climatique, et disséminer des outils d'aide à la décision en situation d'incertitude ; (ii) *aider les acteurs à se coordonner*, par exemple à l'échelle d'un massif pour rendre des mesures contre l'incendie plus efficaces (ôter des barrières à l'action collective) ; (iii) *financer directement des actions de prévention lorsque les bénéfices collectifs sont plus que la somme des bénéfices privés* (bien public), typiquement dans la lutte contre l'incendie ; (iv) *financer des infrastructures / institutions dont les coûts sont élevés* et hors de portée des agents individuels, par exemple des grands équipements de lutte contre l'incendie (avions) ou des réseaux de surveillance des forêts ; (v) *transférer des ressources* vers les individus et / ou les régions qui n'ont pas les moyens de faire face aux impacts (redistribution), tout en veillant à éviter de générer des comportements de hasard moral ou de passagers clandestins.

L'évaluation des coûts et des bénéfices (en termes de dommages évités) des différentes d'adaptation listées ci-dessus reste entièrement à entreprendre.

4. Conclusions : priorités pour la recherche et régions à étudier en priorité

La poursuite et l'approfondissement des recherches sur les impacts du changement climatique sur les écosystèmes forestiers sont des prérequis pour mieux évaluer les implications pour l'économie de la forêt et de la filière. Ceci étant, malgré les incertitudes sur les mécanismes physiques, des analyses économiques par scénario peuvent être menées, afin d'examiner les hypothèses sur les impacts qu'il faut formuler pour justifier telles ou telles politiques d'atténuation et/ou de mitigation, et donc de dégager des décisions robustes. Une

⁷ Par exemple, une difficulté dans le choix entre adaptation préventive et adaptation réactive est l'incertitude sur la localisation des chocs, qui peut entraîner un propriétaire à préférer des actions réactives s'il n'est pas sûr que son peuplement sera touché (Lecocq et Shalizi, 2007).

telle approche doit se faire à la fois au niveau du propriétaire forestier et de ses décisions de plantations, et au niveau du secteur tout entier. Par ailleurs, les spécificités de l'économie des chocs, encore mal comprises, demandent à être étudiées avec plus d'attention.

En termes régionaux, la revue de littérature suggère que **l'ensemble du territoire est concerné par les problèmes climatiques**. Les tensions les plus importantes sont clairement en région méditerranéenne. Mais il serait aussi intéressant d'examiner les implications du changement climatique pour des régions plus septentrionales, où il n'est pas du tout évident que les décisions de court terme, en particulier de choix d'essence, ne doivent pas déjà être adaptées.

Références

- Alcamo, J., J.M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. Coroboy, R.J.N. Devoy, C. Giannakopoulos, E. Martin, J.E. Olesen et A. Shvidenko.** 2007. "Europe." In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (Eds.). Cambridge University Press: Cambridge, pp.541–580.
- Badeau, Vincent, Jean-Luc Dupouey, Catherine Cluzeau, Jacques Drapier et Christine Le Bas.** 2004. *Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises*. Rapport Final dans le cadre du projet CARBOFOR. ECOFOR et INRA: Paris.
- Baeza, M.J., M. de Luís, J. Raventós et A. Escarré.** 2002. "Factors influencing fire behaviour in shrublands of different stand ages and the implications for using prescribed burning to reduce wildfire risk." *Journal of Environmental Management* **65**: 199–208.
- Barthod, Christian.** 2003. "Forests for the Planet: Reflections on the Vast Storms in France in 1999." In: *Proceedings of the XII World Forestry Congress, September 2003, Quebec, Canada*, Volume B, pp.3–9.
- Broadmeadow, M.S.J., D. Ray et C.J.A. Samuel.** 2005. "Climate change and the future for broadleaved tree species in Britain." *Forestry* **78**: 145–161.
- Ciais, P., I. Janssens, A. Shvidenko, C. Wirth, Y. Malhi, J. Grace, E.-D. Schulze, M. Herman, O. Phillips et H. Dolman.** 2004. "The potential for rising CO₂ to account for the observed uptake of carbon by tropical, temperate, and boreal forest biomes." In: *The Carbon Balance of Forest Biomes*, H. Griffiths and P.J. Jarvis (Eds.). Garland Science/BIOS Scientific Publishers: Abingdon, Oxfordshire, pp.109–149.
- Fernandes, P. et H. Botelho.** 2004. "Analysis of the prescribed burning practice in the pine forest of northwestern Portugal." *Journal of Environmental Management* **70**: 15–26.
- Fernando, T.M. et J. Cortina.** 2004. "Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas?" *Forest Ecology and Management* **198**: 303–317.
- Fischlin, A., G.F. Midgley, J.T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M.D.A. Rounsevell, O.P. Dube, J. Tarazona et A.A. Velichko.** 2007. "Ecosystems, their properties, goods, and services." In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (Eds.). Cambridge University Press: Cambridge, pp.211–272.
- Freeman, M., A.S. Morén, M. Strömngren et S. Linder.** 2005. "Climate change impacts on forests in Europe: biological impact mechanisms." In: *Management of European Forest under Changing Climatic Conditions*, S. Kellomäki et S. Leinonen (Eds.), Research Notes 163. University of Joensuu: Joensuu, pp.46–115.
- Fuentes Espinoza, Alejandro.** 2007. *Analyse économique des impacts des changements climatiques sur la forêt*. Mémoire de stage ENGREF: Paris.
- Ha-Duong M., M. Grubb et J.-C. Hourcade.** 1997. "Influence of socioeconomic inertia and uncertainty on optimal CO₂-emission abatement." *Nature* **390**: 270–273.
- Hallegatte, Stéphane, Jean-Charles Hourcade et Patrice Dumas.** 2007. "Why economic dynamics matter in assessing climate change damages: Illustration on extreme events." *Ecological Economics* **62**(2): 330–340.

- Jacobsen, J.B. et B.J. Thorsen.** 2003. "A Danish example of optimal thinning strategies in mixed-species forest under changing growth conditions caused by climate change." *Forest Ecology and Management* **180**: 375–388.
- Jellesmark, Thorsen Bo et Erik Dahl Kjær.** 2007. "Forest Genetic Diversity and Climate Change: Economic Considerations." In: *Climate change and forest genetic diversity Implications for sustainable forest management in Europe*, J. Koskela, A. Buck et E. Teissier du Cros (Eds.). Bioversity International, pp. 69–84
- Joyce, L.A., J.R. Mills, L.S. Health, A.D. McGuire, R.D. Haynes et R.A. Birdsey.** 1995. "Forest sector impacts from changes in forest productivity under climate change." *Journal of Biogeography* **22**: 703–713
- Kellomäki, S. et S. Leinonen (Eds.).** 2005. *Management of European Forests under Changing Climatic Conditions*. Final Report of the Project Silvirat, Research Notes 163. University of Joensuu: Joensuu.
- Lasch, P., M. Linder, M. Erhard, F. Suckow et A. Wenzel.** 2002. "Regional impact assessment on forest structure and functions under climate change: the Brandenburg case study." *Forest Ecology and Management* **162**: 73–86.
- Lecocq, Franck et Zmarak Shalizi.** 2007. *Balancing Expenditures on Mitigation of and Adaptation to Climate Change: An Exploration of Issues Relevant to Developing Countries*. World Bank Policy Research Working Paper 4299. Washington DC: World Bank.
- Lexer, M.J., K. Honninger, H. Scheffinger, C. Matulla, N. Groll, H. Kromp-Kolb, K. Schadauer, F. Starlinger et M. Englisch.** 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**: 53–72.
- Linder, M.** 2000. "Developing adaptive forest management strategies to cope with climate change." *Tree Physiology* **20**: 299–307.
- Loomis, J. et J. Crespi.** 1999. "Estimated effects of climate change on selected outdoor recreation activities in the United States." In: *The impact of climate change on the United States Economy*, R. Mendelshon et J.E. Neumann (Eds.). Cambridge University Press: Cambridge.
- Maracchi, G., O. Sirotenko et M. Bindi.** 2005. "Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe." *Climatic Change* **70**: 117–135.
- Montagné, Claire et Alexandra Niedzwiedz.** 2007. "Évaluation économique des biens et services marchands et non-marchands de la forêt française." *Forêt Entreprise* n°176 (septembre): 30–33.
- Moreno, J.M.** 2005. "Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático. C) Riesgo de incendios forestales." In: *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*, J.M. Moreno (Ed.). Ministerio de Medio Ambiente: Madrid, pp. 581–615.
- Moriondo, M., P. Good, R. Durao, M. Bindi, C. Gianakopoulos et J. Corte-Real.** 2006. "Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area." *Climatic Research* **31**: 85–95.
- Mouillot, F., S. Rambal et R. Joffre.** 2002. "Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem." *Global Change Biology* **8**: 423–437.
- Nabuurs, G.J., O. Masera, K. Andrasko, P. Benitez-Ponce, R. Boer, M. Dutschke, E. Elsidig, J. Ford-Robertson, P. Frumhoff, T. Karjalainen, O. Krankina, W.A. Kurz, M. Matsumoto, W. Oyhantcabal, N.H. Ravindranath, M.J. Sanz Sanchez et X. Zhang.** 2007. "Forestry." In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (Eds.). Cambridge University Press: Cambridge.

- Nilsson, C., I. Stjernquist, L. Barring, P. Schlyter, A.M. Jönsson et H. Samuelsson.** 2004. "Recorded storm damage in Swedish forests 1901-2000." *Forest Ecology and Management* **199**: 165–173.
- Olofsson, E. et K. Blennow.** 2005. "Decision support for identifying spruce forest stand edges with high probability of wind damage." *Forest Ecology and Management* **207**: 87–98.
- Pausas, J.G.** 2004. "Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin)." *Climatic Change* **63**: 337–350.
- Perez-Garcia J., L.A. Joyce, A.D. McGuire et C.S. Binkley.** 1997. "Economic impact of climate change on the global forest sector." In: *Economics of Carbon Sequestration in Forestry*, R.A. Sedjo, R.N. Sampson et J. Wisniewski (Eds.). Lewis Publishers: Boca Raton.
- Peyron, Jean Luc, Lisette Ibanez et Stéphane Couture.** 2004. *Conséquences forestières et économiques de la sécheresse et de la canicule*. Laboratoire d'Economie Forestière: Nancy.
- Pretzsch, H. et J. Dursky.** 2002. "Growth reaction of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) to possible climatic change in Germany. A sensitivity study." *Forstwirtschaft Centralblatt* **121**: 145–154.
- Redfern, D. et S. Hendry.** 2002. *Climate Change and Damage to Trees Caused by Extremes of Temperature*. Forestry Commission Bulletin No 125. Forestry Commission: Edinburgh, Lothians, pp.29–39.
- Schröter, D., W. Cramer, R. Leemans, I.C. Prentice, M.B. Araújo, N.W. Arnell, A. Bondeau, H. Bugmann, T.R. Carter, C.A. Gracia, A.C. de la Vega-Leinert, M. Erhard, F. Ewert, M. Glendining, J.I. House, S. Kankaanpää, R.J.T. Klein, S. Lavorell, M. Linder, M.J. Metzger, J. Meyer, T.D. Mitchell, I. Reginster, M. Rounsevell, S. Sabaté, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, M.T. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, S. Zaehle et B. Zierl.** 2005. "Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe." *Science* **310**: 1333–1337.
- Schumacher, S. et H. Bugmann.** 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.
- Sohngen, B. et R. Sedjo.** 2005. "Impacts of climate change on forest product markets: Implications for North American producers." *The Forestry Chronicle* **81**(5): 669–674.
- Sohngen, B. et R. Mendelshon.** 1999. "Valuing the Impact of Large-Scale Ecological Change in a Market: the Effect of Climate Change on U.S. Timber." *American Economic Review* **88**(4): 689–710.
- Sohngen, B., R. Mendelshon et R. Sedjo.** 2001. "A Global Model of Climate Change Impacts on Timber Markets." *Journal of Agricultural and Resource Economics* **26**(2): 326–343.
- Thurig, E., T. Palosuo, J. Bucher et E. Kaufmann.** 2005. "The impact of windthrow on carbon sequestration in Switzerland: a model-based assessment." *Forest Ecology and Management* **210**: 337–350.

Annexe : Questions associées à la grille d'analyse de l'étude impact

Estimation de la gravité du problème ? Le changement climatique est très important pour la forêt et le secteur forestier, et ce dès le court terme

Quelles sont les principales régions touchées actuellement ou susceptibles d'être touchées à l'avenir ?
Les événements extrêmes touchent l'ensemble des régions forestières françaises.

Estimation de la capacité actuelle à faire face à l'évènement ? Pour le moment, le secteur forestier est pour le moment dans une phase d'analyse des implications du changement climatique. Il n'existe pas de mécanismes spécifiques en marche.

Estimation de la gravité si la tendance au changement climatique se confirme ? Très importante pour le secteur.

Estimation des besoins supplémentaires si la tendance se confirme ? Restent à définir.

Sur quels autres secteurs ce phénomène aura-t-il des incidences ? Utilisateurs des produits bois, typiquement secteur énergétique (bois énergie), construction, ameublement, carton / emballage, pâte à papier. Plus globalement, des impacts sur la forêt auront des impacts sur l'espace rural dans des régions forestières.

Est-ce qu'il y a des seuils d'irréversibilités évidents ? Pas clair à l'issue de l'étude bibliographique.

Quelles sont les limites à raisonner à partir de l'économie actuelle ? Importantes. Les prix du bois sont en hausse, et la part de la filière dans l'activité générale pourrait donc augmenter. En outre, les usages du bois sont en évolution rapide, notamment en faveur de la bioénergie et, dans une moindre mesure, du bois construction.