

## **FFSM : un modèle de la filière forêts-bois française qui prend en compte les enjeux forestiers dans la lutte contre le changement climatique**

*Dans le cadre des politiques visant à atténuer les émissions de gaz à effets de serre, la France s'appuie aujourd'hui largement sur la substitution énergétique. Cela se traduit par la mise en place de plans d'aide à la mobilisation de bois-énergie ou à la production de chaleur issue de biomasse. En revanche, l'action de l'Etat ne repose pas, à ce jour, sur des mesures privilégiant la séquestration du carbone en forêt du fait de la prise en compte très partielle de la séquestration in situ dans les politiques climatiques internationales découlant du Protocole de Kyoto. Des chercheurs du laboratoire d'économie forestière de Nancy ont développé le French Forest Sector Model (FFSM), un modèle bioéconomique de la filière forêt-bois française, utilisé pour des simulations de politiques climatiques et l'analyse de leurs impacts. Les premiers résultats du modèle FFSM montrent que : (i) une politique ambitieuse de substitution peut être à l'origine de tensions sur la ressource et sur les marchés du bois d'industrie ; (ii) une politique de séquestration présente un meilleur bilan carbone à l'horizon 2020 qu'une politique de substitution ; (iii) la mise en place d'une taxe carbone généralisée aurait un effet globalement positif sur la filière forêt-bois française.*

D'après les résultats des simulations du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il existerait un potentiel considérable d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES) au niveau mondial dans les décennies à venir. Le secteur forestier, par le biais de la modification de certaines pratiques de gestion forestière, d'usage des sols, de récolte et d'usage des bois récoltés permettrait d'éviter un volume d'émission correspondant à 3 % à 14 % des émissions totales actuelles (toutes sources confondues). Ce potentiel d'atténuation passe par deux leviers physiques : la substitution et la séquestration (voir encadré 1).

Si les impacts environnementaux des politiques bois-énergie (bilan des émissions de GES, conséquences sur l'évolution de la ressource forestière) ont déjà été évalués, en revanche les conséquences économiques sur la filière, notamment les effets de compétition et les conséquences sur les profits des producteurs, sont largement absentes de la littérature scien-

tifique (Delacote et Lecocq, 2011). Il était donc important d'évaluer les conséquences de ces politiques sur la filière, à la fois d'un point de vue environnemental mais aussi d'un point de vue économique. D'autre part, même si, à l'heure actuelle, seules des politiques bois-énergie sont mises en place, nous avons voulu évaluer les conséquences de deux politiques alternatives : une politique s'appuyant sur la séquestration en forêt et une politique s'appuyant sur le levier substitution en mobilisant, contrairement aux politiques actuelles, une taxe carbone intersectorielle.

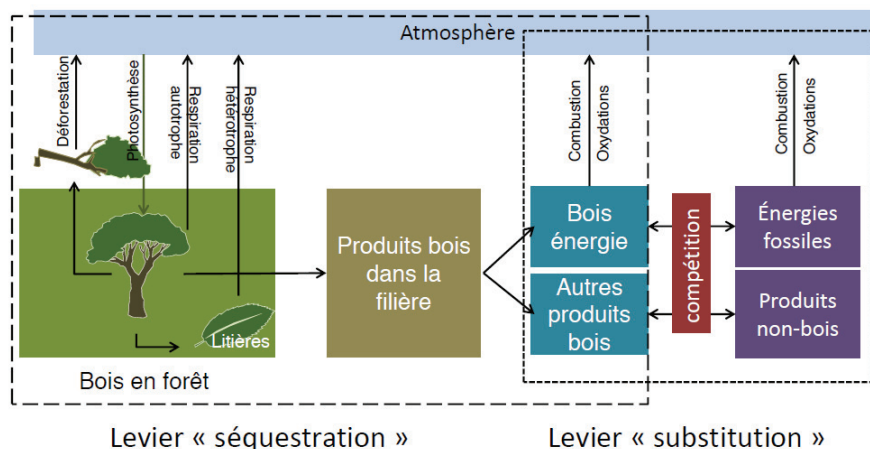
Pour répondre à ces deux niveaux d'interrogation, l'équipe de modélisation de la filière forestière française du Laboratoire d'économie forestière de Nancy (LEF) a construit un modèle bioéconomique régionalisé de la filière forêt-bois française : FFSM pour *French Forest Sector Model*. Ce modèle représente l'ensemble de la filière forêt-bois française en désagrégant la représentation de la ressource et de l'économie au niveau de chaque région administrative (voir encadré 2).

### **Encadré 1 : substitution et séquestration, les deux leviers physiques d'atténuation des GES dans la filière forêt-bois**

La séquestration : la gestion des surfaces forestières influence la quantité de carbone séquestré dans la biomasse forestière. Densification des forêts, afforestation, reforestation et diminution de la déforestation permettent d'augmenter la séquestration nette de carbone dans les écosystèmes forestiers. En outre, la séquestration du carbone dans les produits bois à longue durée de vie, les charpentes par exemple, retarde le retour du carbone dans l'atmosphère (levier séquestration sur la figure 1).

La substitution : les émissions liées à la consommation de produits bois sont généralement plus faibles que celles entraînées par la consommation de produits non-bois substitués. La consommation de produits bois-énergie (en substitution aux énergies fossiles) et la consommation de certains produits bois (en substitution aux produits issus d'autres filières pour la construction, l'isolation, l'emballage ou le mobilier) permettent par conséquent de réduire les émissions d'origine fossile (levier substitution sur la figure 1).

**Figure 1 : schéma simplifié des flux de carbone entre le réservoir atmosphère, le réservoir terrestre et le réservoir fossile. Mise en évidence des deux leviers d'atténuation de la filière forêt-bois.**



**Encadré 2 : Le modèle FFSM (French Forest Sector Model)**

FFSM est le premier modèle représentant de manière spécifique et exhaustive la filière forêt-bois française (Caurla et al., 2011). Le modèle comprend un module biologique de la ressource (Wernsdörfer et al., 2011) et un module économique désagrégé en trois niveaux de filière.

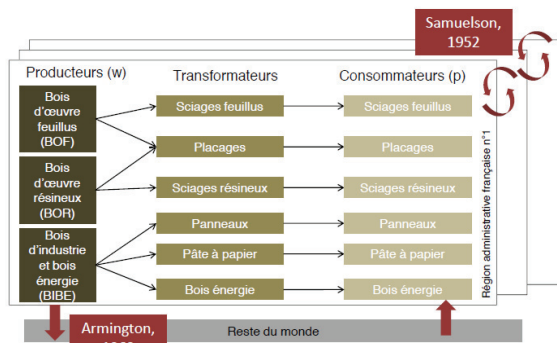
Le module ressource est dynamique récursif, et capture l'évolution de la ressource forestière nationale et régionale désagrégée en 132 domaines d'études : répartition par classe de diamètre, région, type de peuplement forestier, essence feuillue ou résineuse. Il calcule également le bilan d'émissions de l'ensemble de la filière, en prenant notamment en compte les effets de substitution entre produits dans la filière.

Le module économique est résolu en équilibre partiel statique (figures 2 et 3). La résolution en équilibre partiel du modèle implique que les effets de rétroaction entre la filière forêt-bois et le reste de l'économie française ne sont pas pris en compte, hypothèse acceptable du fait de la faible part de la filière forêt-bois dans l'économie française (moins de 1 % du PIB). Enfin, les prix internationaux sont considérés comme exogènes dans ce modèle.

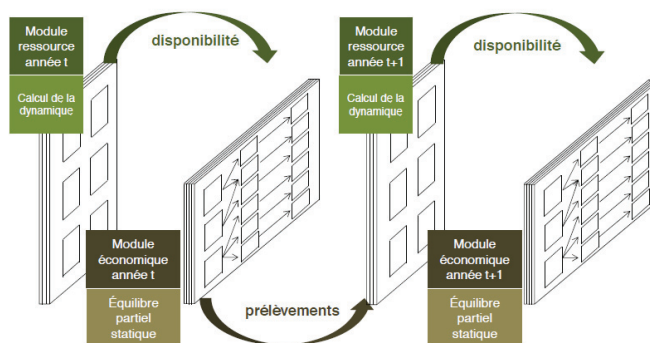
Le modèle simule annuellement les équilibres prix/quantités des marchés nationaux de trois produits bois bruts et de neuf produits bois transformés (voir figure 2), dont on peut déduire des calculs de surplus agrégés des producteurs et des consommateurs. Il permet d'estimer également les volumes d'échanges entre régions françaises et entre la France et le reste du monde. Les échanges domestiques entre régions sont modélisés via une représentation spatiale à la Samuelson 1952 (voir Caurla et al., 2010), alors que les échanges internationaux s'appuient sur la théorie de la substituabilité imparfaite d'Armington (1969 voir Sauquet et al. 2011). La mobilisation de deux méthodologies différentes permet de rendre compte des différents niveaux de substituabilité entre produits. En effet, les bois en France et à l'international sont moins substituables que les bois français entre eux, en raison de différences entre les essences, des habitudes de consommation et des coûts de transactions.

FFSM permet ainsi de simuler la mise en place de politiques publiques et d'évaluer leurs impacts à l'aune (i) de critères environnementaux comme l'évolution de la ressource forestière et le bilan carbone de la filière; et (ii) de critères économiques tels que les équilibres de marchés nationaux et la balance commerciale. L'horizon temporel retenu pour les simulations est 2020.

**Figure 2 : Le module économique de FFSM représente 3 niveaux de la filière et 9 produits bois.**



**Figure 3 : La dynamique modulaire et récursive de FFSM.**



## Les conséquences environnementales et économiques des politiques bois-énergie

La directive européenne 2009/28/EC porte à 23 % l'objectif d'incorporation d'énergie renouvelable dans le mix énergétique français à l'horizon 2020. Dans ce contexte, plusieurs programmes de dynamisation de la filière bois-énergie ont été mis en place. Ces programmes ont pour objectif de structurer la filière en distribuant des aides au changement de système de chauffage pour les particuliers ; en développant les chaufferies collectives, les réseaux de chaleur et les filières d'approvisionnement ou en mettant en place des projets de cogénération de chaleur et d'électricité.

Au sein de la communauté forestière, l'accueil réservé à ces programmes est mitigé. Certains voient favorablement la mise en place d'une véritable filière énergie, source potentielle d'emplois et de réduction du déficit commercial de la France pour les produits bois. D'autres craignent une compétition avec la filière trituration (pâtes à papier et panneaux de particules) en concurrence pour le même type de produit bois brut que le bois-énergie. D'autres encore, dans un contexte d'incertitude sur la disponibilité supplémentaire en bois s'inquiètent des tensions éventuelles sur la ressource forestière. Pour tenter d'éclaircir ce débat, nous avons traduit les objectifs de mobilisation nationaux en consommation supplémentaire de bois-énergie pour calibrer le modèle FFSM grâce auquel nous avons simulé les impacts de trois politiques: une subvention à la consommation, une subvention à la production et une demande publique fixe. Ces politiques représentent les différents types de mesures mises en place par l'État.

Un premier résultat concerne le niveau de tension sur la ressource forestière induit par ces politiques. Ce niveau dépend de la politique considérée mais également du niveau de disponibilité supplémentaire théorique. Au niveau national, des études récentes (voir Cauria et al. 2009) estiment qu'une disponibilité brute supplémentaire d'environ 40 à 50 millions de m<sup>3</sup> par an de bois sur pied est présente en forêt. En enlevant la ressource techniquement difficile à exploiter, ou exploitable mais à des prix supérieurs au prix actuel du marché, la ressource supplémentaire de bois industrie et bois-énergie (BIBE) qui est la matière première des produits bois-énergie forestiers, serait de 12 millions de m<sup>3</sup> par an. L'inventaire forestier national de 2011 (voir Cauria et al. 2009) a récemment réévalué à la baisse cette disponibilité, arguant du fait que les incertitudes sur le comportement d'offre des petits propriétaires forestiers n'avaient pas été prises en compte par la plupart des études. Afin de prendre en compte cette incertitude sur la disponibilité supplémentaire, nous avons considéré deux hypothèses : une hypothèse haute de disponibilité correspondant aux estimations des études disponibles et une hypothèse basse de disponibilité prenant en compte l'absence d'offre des petits propriétaires forestiers et correspondant à une disponibilité supplémentaire initiale de 6 millions de m<sup>3</sup> par an à l'échelle de la France.

Dans l'hypothèse de disponibilité basse de la ressource, quelle que soit la politique retenue, les résultats des simulations aboutissent à une tension sur la ressource (c'est à dire une réduction du niveau de ressource disponible de l'ordre de 0,4 % à 0,85 %) à l'horizon 2020. En revanche, dans l'hypothèse haute de disponibilité, seule la politique de subvention à la production conduit à une tension sur la ressource à l'horizon 2020 (la baisse estimée est de l'ordre de 0,14 %). Outre la mise en évidence des différences entre les politiques, ce résultat montre combien il est important de mobiliser l'ensemble des propriétaires forestiers, y compris les petits propriétaires, pour la production de bois-énergie afin d'éviter une surexploitation de la ressource dans les forêts domaniales, communales ou dans les grandes propriétés privées.

Sur le plan économique ensuite, les résultats des simulations montrent que la subvention à la production réduit le déficit de la balance commerciale et évite les phénomènes de compétition avec la filière trituration. La subvention à la consommation et la demande fixe, de leur côté, bien que moins coûteuses pour l'État, entraînent une compétition accrue avec la filière trituration. Aucune des trois politiques considérées n'est optimale à la fois du point de vue de la tension sur la ressource, de la compétition intra-filière, du déficit commercial et du coût global.

Nous avons simulé plusieurs options grâce au modèle FFSM afin de trouver celle qui permettrait tout à la fois de réduire le déficit commercial, préserver la compétitivité de la filière trituration tout en diminuant le coût total pour les finances publiques et en réduisant les impacts négatifs sur la ressource. Les résultats montrent qu'il faudrait pour cela combiner les incitations en amont (de type subvention à la production) et les incitations en aval (de type demande publique fixe).

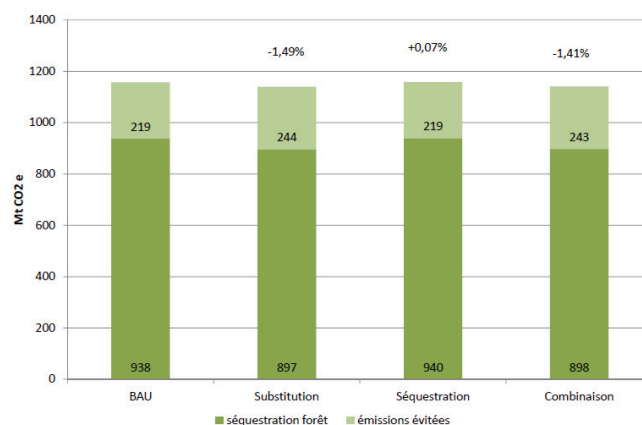
## Comparaison des impacts économiques et environnementaux d'une politique de substitution énergétique et d'une politique de séquestration de carbone en forêt

Comme le choix du levier d'action dans la stratégie climatique forestière nationale n'est pas sans conséquence, nous avons comparé les résultats en termes économiques et environnementaux d'une subvention à la séquestration en forêt et d'une subvention à la consommation de bois-énergie.

Sur le plan économique, nos résultats montrent qu'à court terme (2020) une subvention à la substitution énergétique est beaucoup plus coûteuse (environ 50 fois plus) pour l'État qu'une politique de séquestration. En effet, la politique de substitution que nous avons simulée s'accompagne d'un effet d'aubaine très important. Les consommateurs de bois-énergie qui auraient de toute façon consommé du bois-énergie en l'absence de politique, se retrouvent de fait subventionnés. Nous montrons également que la politique de substitution est plus facilement acceptable politiquement, dans la mesure où elle permet une augmentation des surplus des consommateurs et des producteurs. A l'opposé, une politique de séquestration augmente le surplus des producteurs, mais réduit celui des consommateurs.

Sur le plan environnemental, nos résultats montrent que la subvention à la séquestration conduit à un bilan d'émissions plus favorable que la subvention à la substitution énergétique (figure 4).

**Figure 4 : Carbone séquestré en forêt et émissions évitées (en millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>) dans la filière dans les trois scénarios en 2020. Variations par rapport au scénario de référence sans politique.**



Source : calculs des auteurs

Nous pensons toutefois que nos résultats pourraient être différents sur le long terme du fait de deux effets. D'un point de vue économique, nous avons considéré que les coûts d'atténuation des émissions de GES liés aux projets de séquestration sont décroissants à court terme car ils augmentent moins vite que le stockage de carbone. Ceci s'explique par le fait que la ressource forestière est largement excédentaire par rapport à l'offre. Ainsi, la conservation d'un arbre à la date  $t$  pour la séquestration de carbone n'a, à la date  $t+1$ , quasiment aucune influence sur le stock disponible valorisable et donc sur le niveau d'offre. Ces coûts pourraient être croissants si l'on considère un horizon de temps plus lointain. En effet, à long terme, les arbres conservés s'accumulent, et le stock disponible se réduisant progressivement, la fonction d'offre devrait devenir plus convexe et les coûts pour le producteur devraient augmenter. Du point de vue du bilan environnemental, la prise en compte des effets de la densité sur les paramètres de croissance, au niveau de la mortalité lorsque le peuplement se densifie, et au niveau du rebond de croissance lorsque le peuplement s'éclaircit, pourrait également modifier les résultats à long terme.

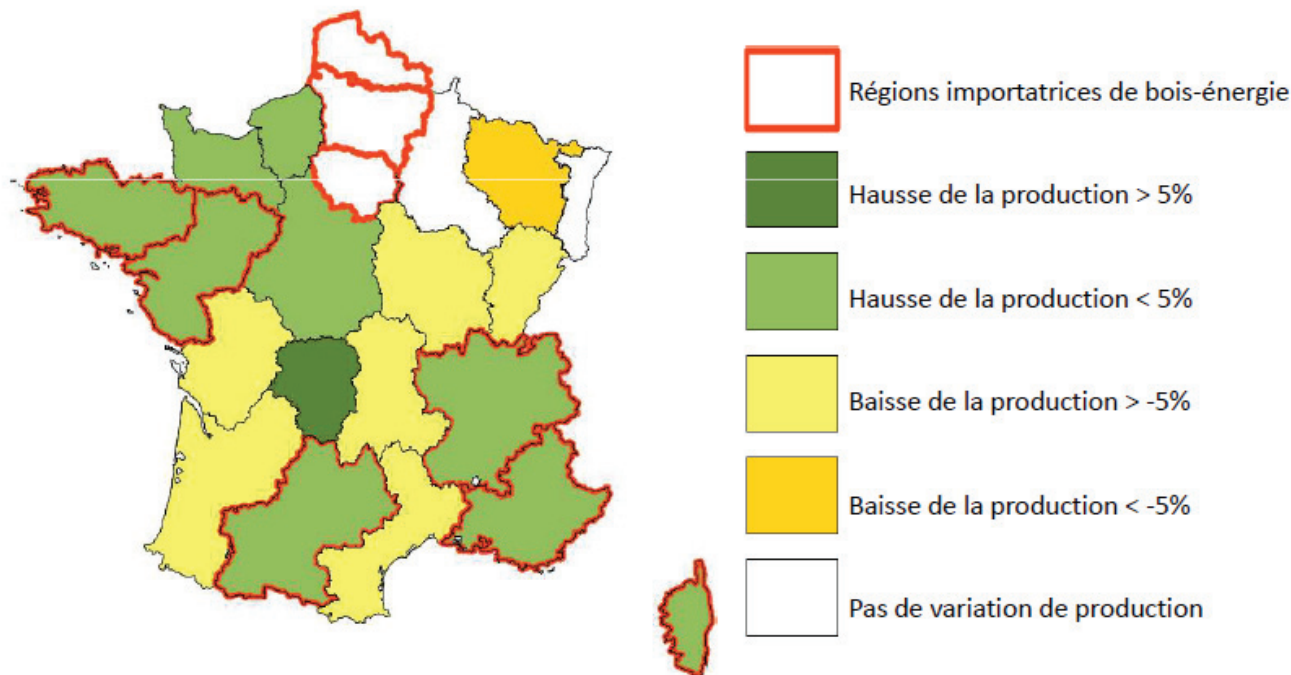
### Impacts attendus d'une taxe carbone intersectorielle sur la filière forêt-bois

Nous avons simulé l'adoption d'une taxe carbone intersectorielle et évalué son impact sur la filière forêt-bois, portant sur une valeur tutélaire du carbone de 17 € par tonne de CO<sub>2</sub> en

2010, avec une augmentation de 2 € par tonne de CO<sub>2</sub> par an. Pour ce faire nous avons modifié la fonction de demande du modèle FFSM en représentant la compétition entre produits bois et substituts non-bois. La taxe a été introduite au niveau des coûts de récolte, des coûts de transformation et des coûts de transport.

Les produits bois émettent, pour la plupart, moins de carbone que leurs substituts non-bois lors des processus de production et de transport. De fait, les résultats de la simulation montrent qu'au niveau national, l'introduction d'une taxe carbone est bénéfique à la filière bois, engendrant une hausse de la production de la plupart des produits bois. Néanmoins, cette augmentation est faible pour l'ensemble des produits concernés (inférieure à 6 % par rapport à un scénario sans taxe). En outre les résultats du modèle FFSM montrent que, même lorsque la production de produit bois augmente au niveau national, ce n'est pas systématiquement le cas au niveau régional (figure 5 pour le cas du bois-énergie). En effet, la taxe augmente le coût du transport et entraîne une relocalisation de la production et une modification des échanges inter-régionaux. Ainsi, les régions initialement importatrices ont tendance à voir leurs importations se réduire (surtout si les importations provenaient de régions éloignées) et leur production augmenter. A l'opposé, les régions exportatrices ont tendance à voir leur production se contracter lorsque ces exportations étaient destinées à des régions éloignées.

Figure 5 : Variations régionales de la production de bois-énergie en 2020 après la mise en place d'une taxe (17€ / tCO<sub>2</sub> en 2010 avec augmentation de 2€ par an) par rapport à un scénario de référence sans taxe.



### Perspectives de recherche : vers FFSM 2.0

Une nouvelle version du FFSM est en cours de développement, avec quatre chantiers prioritaires : la finalisation de la validation du modèle ; la modélisation de l'investissement en forêt et dans la filière ; une meilleure prise en compte des choix de gestion forestière sur le long terme

et enfin, une représentation plus fine des flux physiques au sein de la filière, notamment dans le domaine de la biomasse.

Sur cette base, la version 2.0 du modèle doit permettre au Laboratoire d'économie forestière d'aborder des enjeux de prospective de moyen / long terme (2050 / 2100) afin

d'examiner, en particulier, les politiques d'adaptation au changement climatique dans le domaine forestier. Le LEF a pour mission d'analyser les impacts économiques du changement climatique sur la filière forêt-bois et d'évaluer les stratégies d'adaptation.

Plus largement, la version 2.0 du FFSSM a vocation à devenir un outil d'évaluation des politiques publiques touchant à la forêt. En fonction des besoins, des développements sur les questions liées à la biodiversité, à la politique industrielle ou encore au transport sont par exemple envisageables.

**Sylvain Caurla** INRA, UMR0356 Economie Forestière, F-54000 Nancy, France.

[Sylvain.Caurla@nancy.inra.fr](mailto:Sylvain.Caurla@nancy.inra.fr)

**Philippe Delacote** (auteur de correspondance) INRA, UMR0356 Economie Forestière, F-54000 Nancy, France.

[Philippe.Delacote@nancy.inra.fr](mailto:Philippe.Delacote@nancy.inra.fr)

#### Pour en savoir plus

**Caurla S., Lecocq F., Delacote P., Barkaoui A. (2010).** The French Forest Sector Model version 1.0. Presentation and theoretical foundations. *Cahier du LEF* n°2010-03, Nancy, 41 p.

**Caurla S., Delacote P., Lecocq F., Barkaoui A. (2009).** Fuelwood consumption, uncertainty over resources and public policies: What impacts on the French forest sector? *Cahier du LEF* n°2009-03, Nancy, 24 p.

**Delacote P., Lecocq F. (2011).** Fuelwood, timber and climate: Insights from forest sector modeling. An introduction. *Journal of Forest Economics*, 17(2), 107-109.

**Lecocq F., Caurla S., Delacote P., Barkaoui A., Sauquet A. (2011).** Paying for forest carbon or stimulating fuelwood demand? Insights from the French Forest Sector Model. *Journal of Forest Economics*, 17(2), 157-168.

**Sauquet A., Caurla S., Lecocq F., Delacote P., Barkaoui A., Garcia S. (2011).** Estimating Armington elasticities for sawnwood and application to the French Forest Sector Model. *Resource and Energy Economics*, 33(4), 771-781.

**Wernsdörfer H., Colin A., Bontemps J-D., Chevalier H., Pignard G., Caurla S., Leban, J-M., Hervé J-C., Fournier M. (2011).** Large scale dynamics of a heterogeneous forest resource are jointly driven by geographically varying growth conditions, tree species composition and stand structure. *Annals of Forest Sciences*, 69(7), 829-844.