

MODÉLISATION DES CONSÉQUENCES POSSIBLES DE LA FUTURE DEMANDE BIOÉNERGÉTIQUE MONDIALE POUR LE BOIS ET LES FORÊTS EN FRANCE

JOSEPH BUONGIORNO – RONALD RAUNIKAR – SHUSHUAI ZHU

L'accroissement de la demande mondiale et du coût correspondant de l'énergie a conduit à de nombreuses propositions pour augmenter l'utilisation de la biomasse renouvelable. Une étude récente (Raunika *et al.*, 2010) a examiné les conséquences mondiales pour le bois et pour les forêts de la demande en bioénergie impliquée par les scénarios du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Cette note présente une exploration de quelques effets de tels développements pour la France, ses industries du bois et ses forêts.

MÉTHODES

Deux scénarios ont été examinés, ne différant que par la future demande mondiale en bioénergie. Le scénario haut est le scénario A1 du GIEC (voir Nakicenovic *et al.*, 2000). Il suppose une forte croissance économique mondiale et une faible croissance démographique. D'autre part, il fait l'hypothèse d'un très fort accroissement de la demande en bioénergie. De 2006 à 2030, la consommation mondiale augmente de 90 %. L'alternative, le scénario A1', suppose que la consommation mondiale en bioénergie augmente de 24 % de 2006 à 2030.

Les projections ont été faites avec le modèle GFPM (*Global Forest Products Model* ou modèle mondial des produits forestiers) sur la base des statistiques de la FAO (2011), augmentées des chiffres de FCBA (2010) pour la France.

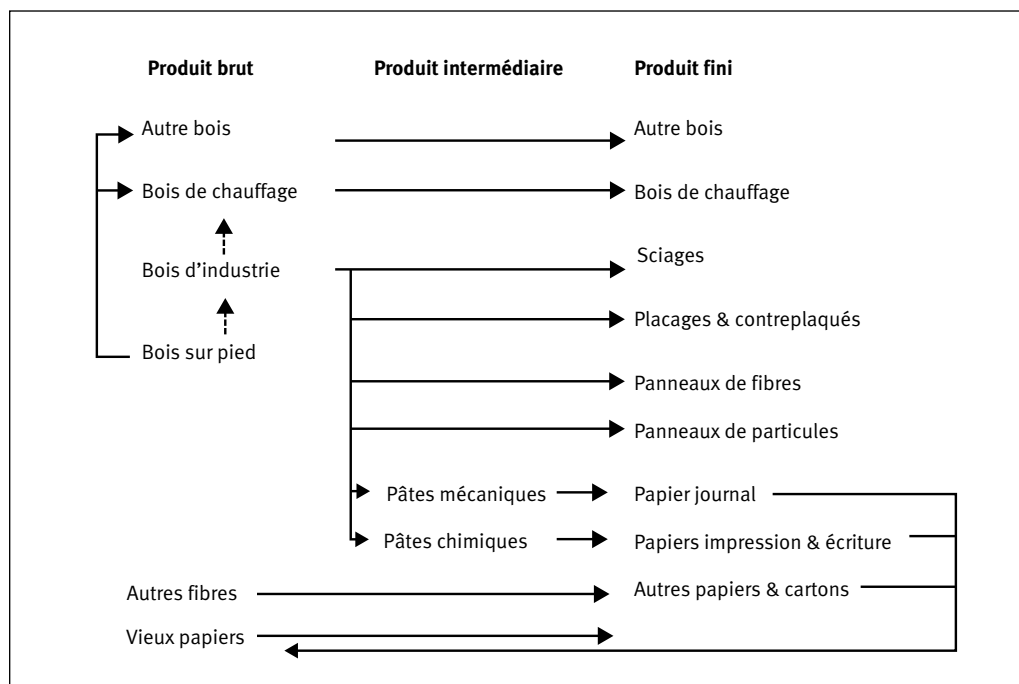
Le GFPM est un modèle économique spatial dynamique du secteur forestier mondial dans lequel l'équilibre économique mondial du secteur pour une année donnée est une fonction de l'équilibre pour l'année précédente et d'une optimisation des marchés dans l'année courante. Le GFPM et certaines applications sont décrites dans Buongiorno *et al.* (2003). La version courante, le logiciel, les données, et la documentation peuvent être obtenus sur : <http://fwe.wisc.edu/facstaff/Buongiorno/book/GFPM.htm>.

Le GFPM simule l'évolution des marchés des produits bois, et des ressources forestières dans 180 pays. Pour chaque pays, le modèle calcule la consommation, la production, les importations et les exportations de quatorze groupes de produits, allant du bois de chauffage aux pâtes et papiers, ainsi que la superficie forestière et le volume de bois sur pied. Pour chaque année projetée, les prix obtenus équilibrent l'offre et la demande par pays et par produit.

La figure 1 (p. 58) symbolise la filière bois d'un pays, de la production de produits bruts tels que le bois rond industriel et le bois de chauffage, qui dépend directement du volume de bois

sur pied, jusqu'à la demande pour les produits finis, sciages, panneaux, papiers et cartons. Les produits intermédiaires tels que les pâtes mécaniques et chimiques dépendent de la production des produits papetiers, et induisent la demande pour le bois rond industriel, les fibres non-bois, et les papiers recyclés. Une partie du bois rond industriel peut devenir bois énergie quand le prix du bois énergie atteint celui du bois rond industriel (flèche pointillée, figure 1, ci-dessous).

FIGURE 1 LA FILIÈRE-BOIS REPRÉSENTÉE DANS CHAQUE PAYS DU GFPM



La phase statique du GFPM décrit l'équilibre spatial global, et sa phase dynamique simule les changements d'année en année⁽¹⁾. L'équilibre spatial est calculé en maximisant le "surplus social" (Samuelson, 1952) qui est ici la valeur des produits finis, nette du coût de production des produits bruts, du coût de transformation en produits intermédiaires et finis, et du coût des transports.

Les contraintes qui définissent l'équilibre sont d'un côté les importations du pays plus la production domestique, et de l'autre la quantité directement consommée, utilisée par d'autres produits, ou exportée. Les coefficients de l'équation expriment l'utilisation de chaque intrant dans la production d'autres produits. Ces coefficients varient au cours du temps avec les technologies, comme l'utilisation des vieux papiers dans la production des papiers et cartons.

Le GFPM représente la demande finale et l'offre de produits bruts par des équations économétriques. L'offre et la demande intermédiaire sont représentées par des coefficients entrée-sortie, et par le coût unitaire de production couvrant la main-d'œuvre, l'énergie, et le capital. Avec une approximation linéaire locale de l'offre, de la demande, et du coût de production, le problème de l'équilibre a une fonction objective quadratique et des contraintes linéaires.

(1) Buongiorno et Zhu (2011a) contient la formulation mathématique complète des procédures du GFPM (version 2010).

La solution duale de ce programme donne les prix locaux de chaque produit. Sauf autre contrainte, le prix est le même pour les exportateurs, et le prix des importateurs est le prix des exportateurs plus le coût du transport. Les prix peuvent toutefois différer davantage, à cause des contraintes d'inertie exprimant l'ajustement incomplet du commerce au changement des conditions économiques (Buongiorno *et al.*, 2003, p. 43).

La phase dynamique du GFPM simule les forces endogènes et exogènes qui changent les conditions de l'équilibre d'année en année. Un changement exogène important est l'évolution de la demande, à prix constant, sous l'effet de la croissance économique. Les équations de demande ont été estimées à partir d'observations chronologiques dans divers pays⁽²⁾. Les élasticités par rapport au produit national brut (PNB) déterminent les déplacements de la demande, et les élasticités par rapport au prix définissent la surface sous la courbe de demande qui représente la valeur des produits pour les consommateurs.

Les modèles d'offre du bois rond industriel et du bois de chauffage lient la récolte nationale au prix et au volume de bois sur pied. Le volume de bois sur pied change avec la superficie forestière, la récolte, et l'accroissement de la forêt résiduelle. L'évolution de la superficie forestière dépend du PNB par habitant, suivant une « courbe environnementale de Kuznets » selon laquelle le taux de reboisement, négatif dans les pays pauvres, augmente avec un accroissement de la richesse, devient positif, puis diminue dans les pays les plus riches⁽³⁾.

L'accroissement du volume de bois sur pied, hors récolte, est décrit par une relation inverse entre l'accroissement et la densité des peuplements, estimée à partir des données de l'inventaire forestier mondial (FAO, 2006). Cette courbe, comme celle de Kuznets, est calibrée de manière à évaluer l'accroissement courant de chaque pays.

Les données pour calibrer les paramètres entrée-sortie et les coûts de production viennent principalement du FAOSTAT (FAO, 2011). La calibration procède par programmation linéaire. Les coefficients entrée-sortie sont estimés sur les données de 1992 à 2006 en minimisant la différence entre production calculée et observée pour tous les produits et pays, compte tenu de la fourchette des possibilités techniques de production, telles que le volume de bois rond par mètre cube de sciage. Les coûts de main-d'œuvre, énergie, et capital, sont estimés par la différence entre le prix, et le coût du bois et des fibres par unité de produit.

En appliquant le GFPM, les hypothèses du GIEC pour la future demande mondiale en bioénergie ont été traduites en hypothèses par pays. Elles supposent que, à prix constant, le rapport de la consommation de bois énergie au PNB augmente dans les pays riches, et diminue dans les pays pauvres, pour converger à long terme⁽⁴⁾.

Les autres hypothèses sont les mêmes dans les deux scénarios. En particulier, l'évolution économique et démographique, et les changements technologiques, sont identiques dans A1 et A1'. Pour la France dans les deux scénarios, le produit national brut augmente à une moyenne annuelle de 1,9 % par an de 2006 à 2030. Durant la même période, l'accroissement annuel moyen de la population est de 0,3 % par an.

Donc, la comparaison des scénarios A1 et A1' donne une mesure de l'effet partiel de l'augmentation en demande bioénergétique, toutes choses égales par ailleurs (croissance démographique et économique, structure des marchés, évolution des techniques de production).

(2) Les méthodes sont décrites dans Simangunsong et Buongiorno (2001), mises à jour avec des données de 1961 à 2005.

(3) Turner *et al.* (2006) décrivent les méthodes et les données utilisées pour développer les équations d'offre de bois rond, de changement de superficie forestière, et d'accroissement du volume sur pied. Les méthodes de calibration des coefficients entrée-sortie et des coûts correspondants sont décrites dans Buongiorno et Zhu (2011b).

(4) L'hypothèse d'une convergence en utilisation énergétique est en accord avec les tendances macro économiques (Lucas, 2000 ; Sala-i-martin, 2006), et celles observées dans la consommation d'autres produits du bois (Buongiorno, 2009).

RÉSULTATS

Prix

Pour chaque année de prévision, le GFPM prédit les prix d'équilibre dans un marché mondial compétitif, pour les produits forestiers définis par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le bois énergie étant initialement le bois de chauffage de la classification FAO (2009). À ces prix, dans tous les pays et pour tous les produits, l'offre (production domestique plus importations) est égale à la demande (consommation domestique plus exportations).

Le tableau I (ci-dessous) résume l'évolution des prix en France. Les prix sont des indices calculés par le modèle GFPM, en valeur réelle (nette d'inflation), exprimés en euros 2006, et basés sur la valeur unitaire des importations et des exportations.

Dans le scénario A1 avec forte demande bioénergétique, le prix du bois énergie fait plus que doubler de 2006 à 2030. Il converge avec le prix du bois rond industriel (bois couramment utilisé pour la production de sciages, panneaux et pâtes) qui augmente de 23 %. Selon le modèle, en 2030 plus de 30 % du bois rond industriel est utilisé pour satisfaire la forte demande en bioénergie, et le prix du bois est pratiquement le même qu'il soit destiné à la production d'énergie ou de produits traditionnels.

La forte augmentation du prix du bois rond industriel dans le scénario A1 conduit de 2006 à 2030 à une augmentation du prix des panneaux et des pâtes chimiques, mais beaucoup plus modeste que l'augmentation du prix du bois rond industriel.

TABLEAU I

**Indices des prix des produits forestiers en France
avec une forte augmentation de la demande bioénergétique mondiale
de 2006 à 2030 (scénario A1) et une augmentation modérée (scénario A1')**

	Unité	Scénario A1			Scénario A1'	
		2006	2030	2030 /2006	2030	2030 /2006
Bois énergie	€/m ³	41	99	141 %	75	82 %
Bois rond industriel	"	80	99	23 %	75	- 6 %
Sciages	"	260	252	-3 %	226	- 13 %
Placages et contreplaqués	"	450	459	2 %	411	- 9 %
Panneaux de particules	"	247	258	5 %	226	- 8 %
Panneaux de fibres	"	339	346	2 %	313	- 8 %
Pâte mécanique	€/t	396	388	- 2 %	336	- 15 %
Pâtes chimiques	"	535	556	4 %	492	- 8 %
Pâtes, autres fibres	"	982	1017	4 %	1020	4 %
Vieux papiers	"	123	168	37 %	168	37 %
Papier journal	"	558	514	- 8 %	491	- 12 %
Papier, impression et écriture	"	907	795	- 12 %	764	- 16 %
Autres papiers et cartons	"	805	713	- 11 %	698	- 13 %

Malgré l'augmentation du prix des diverses fibres, les prix des papiers et cartons diminuent, par suite d'un affaiblissement de la demande ⁽⁵⁾.

Avec le scénario A1' malgré la demande plus faible en bioénergie, le prix du bois énergie augmente d'environ 80 % de 2006 à 2030. Vers 2030, le prix du bois énergie converge avec le prix du bois rond industriel qui diminue de 6 % en valeur réelle de 2006 à 2030. Donc, ce scénario implique aussi le détournement de bois industriel vers la production d'énergie, mais considérablement moindre que dans le scénario A1.

La diminution du prix du bois rond industriel dans le scénario A1', jointe aux changements techniques économisant le bois⁽⁶⁾, conduisent à un affaiblissement du prix de tous les produits dérivés du bois. Cet affaiblissement du prix, en valeur réelle (net d'inflation), du bois brut et de ses dérivés dans le scénario A1' a aussi été constaté dans un scénario simulant la poursuite des tendances passées, sans stimulation de la demande en bois énergie.

Consommation

Suivant l'hypothèse du GIEC concernant l'accroissement de la demande mondiale en bioénergie, la consommation de bois énergie en France triple presque de 2006 à 2030 avec le scénario A1 et augmente de plus de moitié avec le scénario A1' (tableau II, ci-dessous).

TABLEAU II

Consommation française de produits forestiers avec une forte augmentation de la demande bioénergétique mondiale de 2006 à 2030 (scénario A1) et augmentation modérée (scénario A1')

	Unité	Scénario A1			Scénario A1'	
		2006	2030	2030 / 2006	2030	2030 / 2006
Bois énergie ⁽¹⁾	10 ³ m ³	22 500	60 432	169 %	34 580	54 %
Bois rond industriel ⁽²⁾	"	27 993	31 195	11 %	32 462	16 %
Sciages	"	12 350	12 579	2 %	12 717	3 %
Placages et contreplaqués	"	627	601	- 4 %	621	- 1 %
Panneaux de particules	"	3 293	3 550	8 %	3 692	12 %
Panneaux de fibres	"	800	884	10 %	927	16 %
Pâte mécanique	10 ³ t	682	1 495	119 %	1 505	121 %
Pâtes chimiques	"	3 130	3 454	10 %	3 470	11 %
Pâtes, autres fibres	"	0	0		0	
Vieux papiers	"	5 524	7 593	37 %	7 558	37 %
Papier journal	"	893	981	10 %	992	11 %
Papier, impression et écriture	"	4 473	6 226	39 %	6 314	41 %
Autres papiers et cartons	"	5 580	6 344	14 %	6 374	14 %

(1) Volume sous écorce, inclus le bois de chauffage provenant de la forêt. (2) Volume sous écorce, exclus le bois énergie.

(5) Les équations du GFPM impliquent une diminution annuelle de la demande de 0,8 % pour le papier journal et de 0,4 % pour les autres papiers et cartons, à PNB et prix constants.

(6) Par exemple, la part de vieux papiers dans la fabrication de papiers et cartons augmente de 2 % de 2006 à 2030.

La consommation de bois rond industriel hors énergie augmente de 11 % dans le scénario A1, et davantage, 16 %, dans le scénario A1', impliquant donc plus d'activité dans les industries du bois traditionnelles avec une moindre consommation de bois rond industriel pour l'énergie.

Dans le modèle GFPM, la demande des produits finis (sciages, panneaux, papiers et cartons) dépend directement du PNB et inversement du prix. L'hypothèse du PNB étant la même dans les deux scénarios, la consommation est modérément plus faible pour tous les produits finis dans le scénario A1, en accord avec la diminution des prix dans A1' (voir tableau I, p. 60). Les différences de consommation entre les deux scénarios sont plus marquées en valeur relative pour les panneaux de particules et les panneaux de fibres.

La consommation de pâtes et de vieux papiers dépend de la production de papiers et cartons, et des méthodes de production. Les changements techniques représentés dans le GFPM qui supposent une convergence des méthodes de production dans les divers pays avec en particulier une augmentation de l'utilisation de vieux papiers, identiques dans les deux scénarios, conduisent à une augmentation plus rapide de la consommation de vieux papiers et de pâtes mécaniques que de pâtes chimiques.

Production

L'évolution de la production en France est liée à la demande nationale et à l'offre et à la demande du reste du monde, les importations et exportations étant déterminées par les avantages comparés des pays.

Avec la plus forte hausse de demande bioénergétique mondiale (scénario A1), la production française de bois énergie entre 2006 et 2030 augmente de 300 % (tableau III, p. 63), et de 160 % avec la demande plus modérée (scénario A1'). Par contre, alors que la production de bois rond industriel hors énergie n'augmente que de 6 % avec le scénario A1, elle augmente de 30 % environ avec A1'.

En accord avec cette tendance de la production de bois rond industriel, la production des autres produits augmente plus, ou diminue moins, dans le scénario A1' que dans A1, à l'exception des autres papiers et cartons. La production de pâtes chimiques est particulièrement stimulée avec la demande modérée de bois énergie du scénario A1' par rapport à A1.

Les deux dernières lignes du tableau III montrent les revenus bruts des producteurs avec les prix du tableau I, et la valeur ajoutée définie par la différence entre la valeur des produits et valeur du bois et fibres utilisés par tout le secteur. L'accroissement en revenu brut de 2006 à 2030 obtenu avec la forte demande bioénergétique du scénario A1 est presque double de celui obtenu avec A1'. Par contre, à cause de la faible valeur ajoutée du bois énergie (l'hypothèse étant que le bois énergie est commercialisé en bois rond ou en plaquettes et particules), l'augmentation en valeur ajoutée pour l'ensemble du secteur forestier est modérément supérieure dans le scénario A1'.

Balance commerciale

Le tableau IV (p. 64) montre le changement de valeur des exportations nettes (exportations moins importations) françaises, de 2006 à 2030, dans les deux scénarios.

Avec la plus forte demande en bioénergie (scénario A1), l'exportation nette de bois énergie augmente de plus de 3 milliards d'euros de 2006 à 2030, et de près de 2 milliards avec le scénario A1'. Pour le bois rond industriel hors énergie, la balance commerciale de la France qui est excédentaire en 2006 devient neutre en 2030 avec le scénario A1, alors qu'avec A1' l'exportation nette de bois rond industriel augmente de près de 400 millions d'euros.

TABLEAU III
**Production française de produits forestiers
 avec une forte augmentation de la demande bioénergétique mondiale (scénario A1)
 et une augmentation modérée (scénario A1')**

	Unité	Scénario A1			Scénario A1'	
		2006	2030	2030 / 2006	2030	2030 / 2006
Bois énergie ⁽¹⁾	10 ³ m ³	22 927	94 062	310 %	59 936	161 %
Bois rond industriel ⁽²⁾	“	29 394	31 198	6 %	38 923	32 %
Sciages	“	9 842	11 847	20 %	11 985	22 %
Placages et contreplaqués	“	416	528	27 %	560	34 %
Panneaux de particules	“	4 521	4 075	- 10 %	4 217	- 7 %
Panneaux de fibres	“	1 322	1 066	- 19 %	1 123	- 15 %
Pâte mécanique	10 ³ t	645	1 475	128 %	1 494	132 %
Pâtes chimiques	“	1 540	2 628	71 %	2 904	88 %
Pâtes, autres fibres	“	59	70	18 %	70	18 %
Vieux papiers	“	6 204	10 112	63 %	10 118	63 %
Papier journal	“	1 103	1 082	- 2 %	1 093	- 1 %
Papier, impression et écriture	“	3 350	5 895	76 %	5 983	79 %
Autres papiers et cartons	“	5 668	6 506	15 %	6 403	13 %
Total revenu brut	10 ⁶ €	17 716	30 715	73 %	24 918	41 %
Total valeur ajoutée	“	8 780	9 730	11 %	9 870	12 %

(1) Volume sous écorce, inclus le bois de chauffage provenant de la forêt.

(2) Volume sous écorce, exclus le bois énergie.

Pour les autres produits, la balance commerciale s'améliore considérablement de 2006 à 2030 dans les deux scénarios pour les papiers d'impression et d'écriture, les pâtes chimiques, et les sciages. Elle se détériore surtout pour les panneaux de particules et de fibres, et le papier journal.

La plus grande différence entre les deux scénarios advient pour les pâtes chimiques dont la balance commerciale s'améliore de 390 millions d'euros de 2006 à 2030 avec une forte demande bioénergétique (scénario A1), et de 570 millions avec une demande plus modérée (scénario A1').

Pour l'ensemble du secteur forestier, le déficit commercial total de 1,7 milliard d'euros en 2006 devient un surplus de 3,2 milliards en 2030 sous le scénario A1. Ce surplus est réduit dans le scénario A1', essentiellement à cause de la réduction des exportations de bois énergie.

L'une des raisons de l'augmentation substantielle du surplus projeté dans la balance commerciale vient de l'accroissement brut courant du volume sur pied de la forêt française. Selon les données FCBA (2010), il est couramment de près de 4 %, comparé à une moyenne de 1,2 % pour le reste du monde. Dans le GFPM, l'offre bois change en fonction du changement du prix et du volume sur pied déterminé en partie par l'accroissement. Ce fort accroissement conduit à un avantage comparé du secteur forestier français par rapport à d'autres pays.

TABLEAU IV **Balance commerciale française de produits forestiers
avec une forte augmentation de la demande bioénergétique mondiale (scénario A1)
et une augmentation modérée (scénario A1')**
(Certaines données ont été arrondies)

	Unité	Scénario A1			Scénario A1'	
		2006	2030	2030 /2006	2030	2030 /2006
Bois énergie.	10 ⁶ €	18	3 329	3 312	1894	1877
Bois rond industriel	“	112	0	- 112	479	367
Sciages	“	- 652	- 184	468	- 165	487
Placages et contreplaqués.	“	- 95	- 34	61	- 25	70
Panneaux de particules.	“	303	135	- 167	119	- 184
Panneaux de fibres.	“	177	63	- 114	61	- 115
Pâte mécanique	“	- 14	- 8	7	- 4	11
Pâtes chimiques.	“	- 850	- 460	390	- 279	571
Pâtes, autres fibres.	“	58	71	13	71	13
Vieux papiers.	“	84	424	340	431	347
Papier journal	“	117	52	- 65	50	- 68
Papier, impression et écriture	“	- 1018	- 263	755	- 253	765
Autres papiers et cartons	“	70	116	45	20	- 50
Total.	“	- 1692	3 242	4 934	2 399	4 091

Surface forestière, récolte, et volume sur pied

Dans cette application du modèle GFPM, l'évolution de la surface forestière française est prédéterminée par l'évolution du PNB par habitant en France et par les prédictions globales du GIEC ⁽⁷⁾. Ces hypothèses étant les mêmes dans les deux scénarios, la superficie forestière est la même en 2030, et 3 % plus haute qu'en 2006 (tableau V, p. 65).

Le volume sur pied dépend de l'accroissement du stock et de la récolte. Le taux d'accroissement annuel du stock, initialement de 4 % par an, dépend inversement du volume sur pied résiduel par hectare. Selon ce modèle et la récolte rapportée ci-dessus, le volume sur pied augmente de près de 20 % de 2006 à 2030 avec le scénario A1, et de 30 % avec la demande plus faible en bois énergie de A1'.

La récolte totale (bois énergie et bois rond industriel) augmente d'environ 140 % de 2006 à 2030 avec une demande en bois énergie modérée (scénario A1') et de 90 % avec A1 (tableau V, p. 65). Il en résulte que, alors qu'en 2006 la récolte n'était approximativement que de 60 % de l'accroissement courant (FCBA, 2010), vers 2030, la récolte excède l'accroissement courant de plus de 32 % dans le scénario A1 mais de seulement 1 % dans A1'.

(7) L'évolution de la surface forestière est calculée par le GFPM avec la courbe environnementale de Kuznets mentionnée plus haut, liant le taux de change au PNB par habitant. Dans cette application, la surface forestière a été ensuite ajustée proportionnellement pour concorder avec les scénarios globaux du GIEC.

TABLEAU V **Superficie forestière, volume sur pied, accroissement et récolte en France avec une forte augmentation de la demande bioénergétique mondiale (scénario A1) et une augmentation modérée (scénario A1')**

	Unité	Scénario A1			Scénario A1'	
		2006	2030	2030 /2006	2030	2030 /2006
Superficie forêts	10 ³ ha	15 554	16 082	3 %	16 082	3 %
Volume sur pied ⁽¹⁾	10 ⁶ m ³	2 464	2 987	21 %	3 190	29 %
Accroissement courant ⁽¹⁾	10 ³ m ³ /an	99 555	105 516	6 %	109 218,8	10 %
Récolte ⁽¹⁾	10 ³ m ³ /an	62 262	149 059	139 %	117 642	89 %
Récolte/accroissement		0,63	1,32		1,01	

(1) Sur écorce.

CONCLUSIONS

Cette note donne un aperçu des conséquences possibles pour la France de deux scénarios concernant la future demande mondiale en bioénergie. L'approche a utilisé le modèle GFPM, comportant une description agrégée de la France, comme celle des autres pays. Le but a été de dégager, pour la France, l'effet d'une très forte augmentation de la demande bioénergétique mondiale, telle qu'elle est envisagée dans certains scénarios du GIEC. Dans ce cas, le phénomène essentiel est l'augmentation du prix mondial du bois, sur lequel la France aurait peu d'influence, mais auquel les producteurs et consommateurs français répondraient. Les résultats suggèrent pour la France un effet notable sur le commerce extérieur dont la description justifie un modèle mondial. Le reste du monde pourrait être moins détaillé que dans le GFPM, mais au prix de ne pas bénéficier du jugement de ceux qui connaissent bien la situation d'un pays particulier.

Pour le développement de politiques nationales, un modèle plus détaillé de la France pourrait être envisagé. Par exemple, le laboratoire du Service forestier américain de Madison développe, au sein du GFPM, un module plus détaillé pour les États-Unis, le USFPM (*US Forest Products Module*, voir Kramp et Ince, 2010). La structure du USFPM, la même que celle du GFPM, permet une représentation plus fine des conditions du pays tout en maintenant le modèle mondial. Une approche différente est envisagée pour le modèle du secteur forestier français (Caurla *et al.*, 2010), où l'attention est premièrement portée vers une description détaillée de la France, avec une représentation plus agrégée du reste du monde.

Dans cette étude faite avec le GFPM, un scénario haut basé sur les projections du GIEC conduit à augmenter de près de trois fois la consommation de bois énergie en France de 2006 à 2030. L'alternative conduit à une augmentation de plus de 50 %.

Le scénario haut provoque une augmentation du prix du bois énergie de 140 %, et entraîne la convergence du prix du bois énergie et du prix des autres bois ronds industriels vers 2030, quand une partie du bois couramment utilisé par les industries du bois traditionnelles devient source d'énergie.

Les revenus bruts des producteurs dans l'ensemble du secteur bois sont plus élevés avec une forte demande en bioénergie. Toutefois, une forte hausse de la demande en bois énergie conduit à une plus faible augmentation de la valeur ajoutée.

Avec le prix mondial élevé du bois énergie obtenu dans les deux scénarios, les exportations de bois énergie augmentent considérablement, conduisant à une amélioration de la balance commerciale de l'ensemble du secteur, mais à peu de changement pour les industries traditionnelles.

Suivant les deux scénarios, le volume sur pied des forêts françaises en 2030 est plus élevé qu'en 2006, mais dans les deux cas, en contraste avec la situation actuelle, leur accroissement annuel vers 2030 devient inférieur à la récolte. Donc, les deux régimes, et surtout le scénario haut, apparaissent non durables à long terme sans investissements sylvicoles supplémentaires.

Les projections obtenues doivent être prises avec précaution car elles résultent d'un modèle qui est l'expression de nombreuses hypothèses concernant le fonctionnement des marchés, les valeurs des paramètres, et l'évolution de variables exogènes telles que le PNB. Alors que l'avenir est naturellement très incertain, même les données passées et présentes sont imprécises et incomplètes, et de nombreuses simplifications doivent être faites⁽⁸⁾.

Tout en tenant compte de ces précautions, les résultats sont importants car ils soulignent d'une part le lien, et le conflit potentiel, entre le bois énergie et le bois d'industrie. D'autre part, une politique mondiale extrême pour le bois énergie va à long terme inévitablement à l'encontre de la forêt comme puits de carbone et berceau de diversité. L'histoire des taillis pour soutenir les salines et les fonderies de la révolution industrielle (Badré, 1992 ; Degron, 1995) nous dit combien la forêt énergie, dense, à courte révolution, et à production intensive, est différente de la futaie naturelle.

Joseph BUONGIORNO
Professeur émérite
Département d'Écologie des Forêts et de la Faune
UNIVERSITÉ DU WISCONSIN
MADISON WI 53706 (ÉTATS-UNIS)

membre étranger de l'Académie d'Agriculture de France
(jbuongio@wisc.edu)

Ronald RAUNIKAR
Chercheur associé
Département d'Écologie des Forêts et de la Faune
UNIVERSITÉ DU WISCONSIN
MADISON (ÉTATS-UNIS)

— Actuellement —
Économiste
U.S. Geological Survey
MENLO PARK, CALIFORNIE (ÉTATS-UNIS)

Shushuai ZHU
Assistant scientifique
Département d'Écologie des Forêts et de la Faune
UNIVERSITÉ DU WISCONSIN
MADISON WI 53706 (ÉTATS-UNIS)

Remerciements

L'étude conduisant à cette note a été financée en partie par la Station Sud du Service forestier américain. Les auteurs remercient M. Bernard Roman-Amat pour son assistance avec les statistiques françaises, et deux lecteurs anonymes pour leurs commentaires et suggestions, tout en retenant la responsabilité de toute erreur.

(8) Par exemple, cette application a tenu compte de l'usage des rémanents d'exploitation comme source d'énergie, et de l'usage des résidus de scierie dans la fabrication de panneaux de particules et de fibres, mais non des résidus de scierie comme source d'énergie. Toutefois, la structure du GFPM permet cette option et elle est appliquée dans le USFPM (Kramp et Ince, 2010). Il est aussi possible, comme le suggère un lecteur, que les paramètres du GFPM surestiment l'offre de bois en France, dont le morcellement des propriétés paraît limiter la réponse au changement de prix.

BIBLIOGRAPHIE

- BADRÉ (L.). — Les forêts et l'industrie en Lorraine à la fin du XVIII^e siècle. — *Revue forestière française*, vol. 44, n° 4, 1992, pp. 365-369.
- BUONGIORNO (J.). — International trends in forest products consumption: is there convergence? — *International Forestry Review*, vol. 11, n° 4, 2009, pp. 490-500.
- BUONGIORNO (J.), ZHU (S.), ZHANG (D.), TURNER (J.), TOMBERLIN (D.). — The Global Forest Products Model: Structure, Estimation, and Applications. — San Diego : Academic Press/Elsevier, 2003. — 301 p. (Logiciel, données, et documentation courantes disponibles sur <http://fwe.wisc.edu/facstaff/Buongiorno/>).
- BUONGIORNO (J.), ZHU (S.). — Using the Global Forest Products Model (GFPM version 2010). — Madison: Department of Forest and Wildlife Ecology, University of Wisconsin, 2011a. — 34 p. (Staff Paper series # 69) (<http://fwe.wisc.edu/facstaff/Buongiorno/>).
- BUONGIORNO (J.), ZHU (S.). — Calibrating and updating the Global Forest Products Model (GFPM version 2010). — Madison: Department of Forest and Wildlife Ecology, University of Wisconsin, 2011b. — 34 p. (Staff Paper series # 70) (<http://fwe.wisc.edu/facstaff/Buongiorno/>).
- CAURLA (S.), LECOCQ (F.), DELACOTE (P.), BARKAOUI (A.). — The French forest sector model : version 1.0. Presentation and theoretical foundations. — Cahiers du LEF, INRA, Nancy, 2010, 40 p. (Document de travail n° 2010-04) (http://www.nancy.inra.fr/lef/cahiers_du_lef).
- DEGRON (R.). — Historique de la forêt de Romesberg : une forêt de Lorraine sous l'emprise des salines. — *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° 5, 1995, pp. 590-597.
- FAO. — Évaluation des ressources forestières mondiales 2005. — Rome : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2006. — 320 p. (Publication FAO Forêts ; 147).
- FAO. — FAO Annuaire Produits Forestiers 2003-2007. — Rome : FAO, 2009. — 243 p.
- FAO. — FAOSTAT, base de données statistiques des produits forestiers. — Rome : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2011. (<http://faostat.fao.org/site/626/default.aspx#ancor>).
- FCBA (Forêt cellulose bois-construction ameublement). — Mémento 2008/2009. — Paris : FCBA, 2010. — 26 p. (Disponible sur : http://www.fcba.fr/librairie/docs/memento_2008_2009.pdf)
- KRAMP (A.), INCE (P.). — The U.S. Forest Products Module (USFPM). — Présentation à l'atelier "How Forest Sector Models Tackle Climate Policies", Nancy, France, 3-4 juin 2010.
- LUCAS (R.E., Jr.). — Some macroeconomics for the 21st century. — *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, n° 1, 2000, pp. 159-168.
- NAKICENOVIC (N.), DAVIDSON (O.), DAVIS (G.), GRÜBLER (A.), KRAM (T.), LEBRE LA ROVERE (E.), METZ (B.), MORITA (T.), PEPPER (W.), PITCHER (H.), SANKOVSKI (A.), SHUKLA (P.), SWART (R.), WATSON (R.), ZHOU (D.). — Special Report on Emissions Scénarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge (U.K.) : Cambridge University Press, 2000. — 599 p. (Disponible sur : <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>).
- RAUNIKAR (R.), BUONGIORNO (J.), TURNER (J.A.), ZHU (S.). — Global outlook for wood and forests with the bioenergy demand implied by scénarios of the intergovernmental panel on climate change. — *Forest Policy and Economics*, 12, 2010, pp. 48-56.
- SALA-I-MARTIN (X.). — The world distribution of income: Falling poverty and ... convergence, period. — *Quarterly Journal of Economics*, vol. 121, n° 2, 2006, pp. 351-397.
- SAMUELSON (P.A.). — Spatial price equilibrium and linear programming. — *American Economic Review*, vol. 42, n° 3, 1952, pp. 283-303.
- SIMANGUNSONG (B.), BUONGIORNO (J.). — International demand equations for forest products : A comparison of methods. — *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 16, 2001, pp. 155-172.
- TURNER (J.), BUONGIORNO (J.), ZHU (S.). — An economic model of international wood supply, forest stock and forest area change. — *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 21, 2006, pp. 73-86.

MODÉLISATION DES CONSÉQUENCES POSSIBLES DE LA FUTURE DEMANDE BIOÉNERGÉTIQUE MONDIALE POUR LE BOIS ET LES FORÊTS EN FRANCE [Résumé]

L'article présente une exploration, menée au moyen d'un modèle mondial de la filière-bois, de l'effet sur la filière-bois française des modifications actuelles et prévisibles de la demande mondiale en énergie issue de la biomasse. Deux scénarios contrastés sont testés. Les résultats sont mis en perspective et soulignent le conflit potentiel entre usages du bois : bois d'œuvre, bois d'industrie et bois énergie.

MODELLING THE POTENTIAL CONSEQUENCES OF FUTURE WORLDWIDE BIOMASS ENERGY DEMAND FOR THE FRENCH FORESTS AND TIMBER [Abstract]

This article describes an investigation conducted, using a world model for the forestry and forest-based industries, on the effects of the current unpredictable changes in worldwide demand for biomass energy on this sector in France. Two contrasting scenarios are tested. The results are commented and the potential conflict between various would uses — workable timber, industrial timber and dendroenergy — is underscored.
