HAL open science

Enjeux de la production multifonctionnelle en forêt : Coûts et efficacité

Nicolas Robert, Anne Stenger-Letheux

To cite this version:

Nicolas Robert, Anne Stenger-Letheux. Enjeux de la production multifonctionnelle en forêt : Coûts et efficacité. Innovations Agronomiques, 2012, 18, pp.63-70. 10.17180/dv5d-9870 . hal-01019828

HAL Id: hal-01019828

https://hal.science/hal-01019828v1

Submitted on 28 May 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.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Innovations Agronomiques 18 (2012), 63-70

Enjeux de la production multifonctionnelle en forêt : Coûts et efficacité

Robert N.[1,2], Stenger A.[2]

[1] Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), 73 avenue de Paris, 94160 Saint-Mandé

[2] Laboratoire d'économie forestière, UMR AgroParisTech (Engref) – INRA, 14 rue Girardet, 54042 Nancy cedex

Correspondance: nicolas.robert@ign.fr

Résumé

La demande en produits et services forestiers est en croissance et se diversifie : production de bois, matériau et source d'énergie renouvelables, lutte contre le changement climatique, mais aussi préservation de la biodiversité, maintien de la qualité paysagère, récréation… Ces multiples services écosystémiques sont produits conjointement en forêt. Évaluer la nature des jointures de production permet de mesurer l'effet d'une augmentation de l'offre d'un des services sur le profit et sur l'offre d'autres services. Nous analysons sur le plan théorique les effets possibles de la rémunération de l'un des services sur l'offre multifonctionnelle. Ces paiements peuvent donner lieu à un accroissement ou à une diminution de l'offre de services non-marchands suivant les interactions entre les productions. Nous illustrons ce propos par la modélisation du profit maximum lié au bois en fonction du stockage de carbone et de la qualité paysagère d'un peuplement régulier de chêne. Les résultats montrent que le profit est substituable au stockage de carbone et à la qualité paysagère. Ces deux derniers services sont partiellement complémentaires. Un arbitrage devient nécessaire lorsque la production maximale des deux services est souhaitée. Nous soulignons que lorsqu'un propriétaire maximise la qualité paysagère de sa forêt, cette même forêt stocke plus de carbone que si son objectif était de maximiser le profit. Enfin, si on propose à ce propriétaire une rémunération pour un stockage additionnel de carbone au coût d'opportunité du stockage additionnel sans tenir compte du paysage, alors le propriétaire pourra considérer le montant comme insuffisant car ne compensant pas la perte de qualité paysagère.

Mots-clés : gestion forestière multifonctionnelle, services écosystémiques, coûts d'opportunité, paiement pour services environnementaux

Abstract: Multi-functionality in forest management: costs and efficiency.

The demand for forest goods and services is increasing and diversifying: production of wood as a material and a source of renewable energy, global change mitigation, but also biodiversity preservation, landscape quality, recreation… These numerous ecosystem services are jointly produced in forests. Determining the jointness in the production of ecosystem services helps in evaluating the impact of an increase in the supply of one service over the profit and the supply of other services. We theoretically analyze the possible effects of proposing a financial compensation for the increase in the provision of one service on the offer of other services. These payments can result in an increase or a decrease in the supply of non-marketed services depending on the interaction between productions. To illustrate this point, we model the maximum profit possible in a regular oak stand as a function of the quantity of carbon stored in the trees and the landscape quality. The results show that the profit is a substitute for carbon storage and landscape quality. The latter two services are partially complementary. However, trade-offs show up when the maximum production of both services are considered. We emphasize that when an owner maximizes the landscape quality of his forest, this forest stores more carbon than when the goal was to maximize profit. Finally, if a payment is proposed to the owner to compensate for the financial opportunity cost of additional carbon storage without taking account of the landscape quality,

then the owner may consider the amount insufficient because it does not compensate the loss of landscape quality.

Keywords: multipurpose forest management, ecosystem services, opportunity costs, payment for environmental services

Produire du bois, constituer des habitats propices à la biodiversité, offrir un potentiel de chasse ou de promenade, stocker du carbone sont quelques unes des nombreuses fonctions des forêts. La plupart de ces produits et services sont liés entre eux, soit positivement (productions compatibles), soit négativement (productions substituables). Pour mieux gérer les ressources forestières, il est nécessaire de connaître la relation entre ces productions ainsi que les possibilités et volontés d'offre de biens et services par les propriétaires forestiers. Après une présentation des comportements de production des propriétaires forestiers privés, nous montrons sur un exemple que la modélisation d'itinéraires de gestion fournit des informations sur les liens entre productions et sur le coût d'opportunité d'un changement de gestion. Ces informations permettent d'identifier les paramètres essentiels pour la définition de politiques publiques.

Augmentation de la demande de services écosystémiques

Le volume de bois en forêt s'accroît en France métropolitaine parce que d'une part les superficies forestières augmentent, et que d'autre part la quantité de bois exploitée est encore inférieure à l'accroissement annuel en volume de bois dans les forêts (IFN, 2011). Le relativement jeune âge des peuplements forestiers français (peuplements pas encore matures) pourrait être une des raisons de ce sous-prélèvement apparent. Cependant, le stock de gros bois et très gros bois augmente plus rapidement que le stock total, ce qui souligne une sous-exploitation du bois y compris dans les catégories matures (Colin, 2007). Cette différence entre prélèvement et accroissement peut avoir pour origine les difficultés techniques pour la coupe, mais aussi des contraintes socio-économiques telles que le morcellement de la propriété qui handicape la rentabilité de l'exploitation. Remarquant que l'utilisation de bois pour la production d'énergie et comme matériau de construction pourrait contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et que du bois est disponible dans les forêts françaises, des politiques d'augmentation des prélèvements de bois ont été définies. Celles-ci doivent conduire à une meilleure exploitation des ressources tout en préservant les fonctions environnementales et sociales de la forêt. Dans quelles mesures cela est-il possible ? De cette question découlent deux problématiques majeures : celle de l'identification et de la mesure des services écosystémiques (ensemble des biens et services produits par l'écosystème) et celle de l'évaluation des politiques publiques permettant d'accroître l'offre de services écosystémiques.

Consentement à offrir des services écosystémiques en forêt

L'état des ressources forestières bois et non-bois que l'on observe résulte de l'action de multiples acteurs – les propriétaires forestiers et sylviculteurs – qui prennent leurs décisions dans leur environnement socio-économique. Le bois constitue dans de nombreux cas la principale source de revenus forestiers de ces propriétaires qui peuvent également valoriser d'autres produits et services, tels que la chasse (éventuellement louée), les loisirs… Les propriétaires sont pour la plupart également sensibles – sans qu'ils en retirent nécessairement une rémunération – à la production de biens publics par leurs forêts comme la préservation de la biodiversité, la séquestration de carbone ou encore le paysage (Raunikar et Buongiorno, 2006). Ils élaborent leurs stratégies de gestion en tenant compte

autant que possible de l'ensemble des biens et services qu'ils ont choisi de produire sur leurs parcelles. Les objectifs et les modes de gestion peuvent différer d'une parcelle à l'autre. Un propriétaire peut par exemple privilégier les aspects paysagers et de récréation sur les parcelles proches de sa résidence et gérer les parcelles plus lointaines principalement pour la production de bois. L'état de la ressource à l'échelle du massif est le résultat des arbitrages des différents propriétaires.

L'une des principales décisions des propriétaires est l'âge de la coupe finale. Ce paramètre est déterminant pour la production de bois et de services écosystémiques. En partant du principe que l'objectif d'un propriétaire peut être de maximiser son revenu, Faustmann (1849) a modélisé l'âge optimum de coupe en fonction de la croissance en valeur et du taux d'escompte. Un tel modèle peut représenter le comportement de propriétaires industriels qui, en France, sont minoritaires. Sur la base du principe de Faustmann, Hartman (1976) a proposé un modèle permettant de mieux rendre compte du comportement des propriétaires privés non-industriels : il a ajouté à la fonction d'utilité proposée par Faustmann (1849) un terme d'utilité des aménités (voir équation 1).

$$U(t) = \frac{G(t)\cdot e^{-rt} + \int_0^t e^{-rx} F(x)\mathrm{d}x}{1-e^{-rt}} \qquad (1)$$

avec $U(t)$: utilité de la forêt si la révolution a une période égale à t ; $G(t)$: valeur du bois sur pied à t ; $F(x)$: utilité des aménités au temps x (compris entre 0 et t).

En posant que $F(x)$ croît avec le stock de bois sur pied, les résultats de Hartmann soulignent le fait que la valorisation par le propriétaire d'aménités incompatibles avec la production de bois entraîne une réduction du revenu bois par rapport au profit optimum. La différence de profit entre les deux scénarios correspond au consentement à payer du propriétaire pour accroître les aménités (Raunikar et Buongiorno, 2006). Passant à l'échelle d'un ensemble de peuplements, Uusivuori et Kuuluvainen (2005) ont montré qu'il était possible de calculer la séquence optimale de coupes pour un propriétaire qui valorise les aménités et le profit sur un ensemble de parcelles.

La valorisation des aménités dépend des caractéristiques du propriétaire. Binkley (1981) explique la variabilité des comportements des propriétaires par le fait que certaines caractéristiques individuelles pèsent dans la décision de coupe. Ainsi, les propriétaires privés non-industriels sont souvent appelés des « ménages producteurs » parce qu'ils sont attentifs aux aménités produites sur leur propriété et que ces aménités sont des arguments de leur fonction d'utilité. À l'aide d'un modèle économétrique, Garcia *et al*. (2011) ont démontré que le comportement des propriétaires ; en particulier leur préférence pour les aménités par rapport au profit, dépend de leurs caractéristiques socio-économiques et de la dynamique forestière dans la région repérée par la facilité d'exploitation, le volume de bois scié et la fragmentation de la propriété.

Rôle des paiements pour services environnementaux

Les comportements observés parmi les propriétaires privés non-industriels sont très variables, et le profit peut être jusqu'à négligeable relativement au bénéfice tiré des aménités. Les services écosystémiques valorisés par les propriétaires forestiers, essentiellement la récréation ou la chasse, ne constituent qu'une partie de l'ensemble des services rendus. Le stockage du carbone, la préservation de la biodiversité, de la qualité des eaux, ou la protection contre l'érosion ont de la valeur pour la société, mais pas nécessairement pour les propriétaires. Si la production de biens (services) publics et de bien privés est complémentaire, alors les propriétaires privés vont produire les deux types de biens. La gestion forestière pratiquée pour maximiser l'utilité privée va être bénéfique pour la société. En revanche, si les biens publics et privés sont substituables, alors, lorsque qu'un propriétaire maximise son utilité, le bénéfice de la forêt pour la société diminue. Si la société consent à rémunérer les propriétaires pour préserver le bien-être sociétal, alors ce paiement doit compenser la perte de bénéfice

du propriétaire (voir figure 1 d'après Pagiola et Platais, 2002). Le coût d'opportunité lié à une modification de gestion pour accroître la production de services écosystémiques constitue une première estimation du paiement nécessaire à production de biens publics.

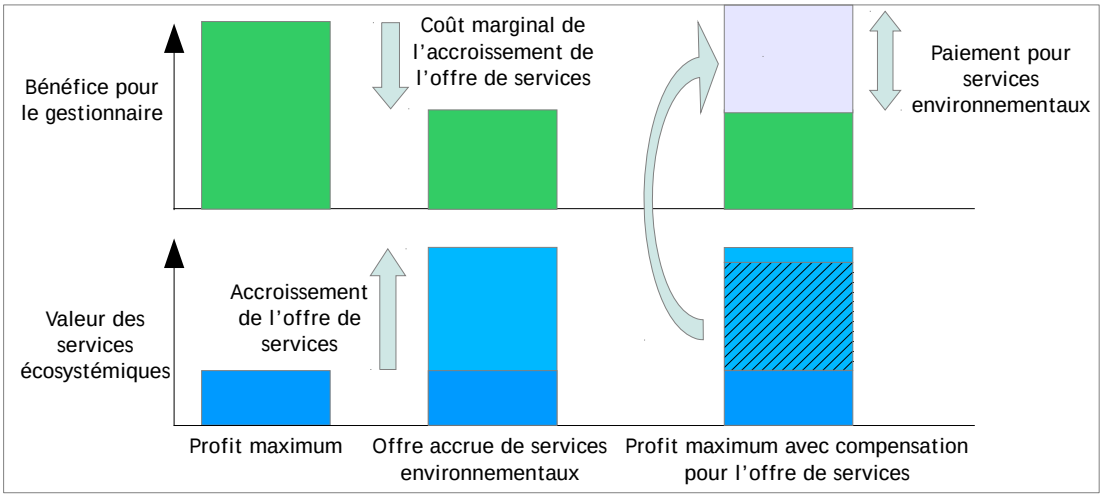

Figure 1 : Le paiement pour services environnementaux doit compenser la perte de bénéfices liée à la production de ces services (adapté de Pagiola et Platais, 2002)

Estimation des coûts d'opportunité

Le coût d'opportunité correspond à la valeur des biens et services auxquels le producteur renonce pour produire une quantité accrue de services. La perte de profit est la principale valeur considérée dans les analyses du coût d'opportunité de la séquestration de carbone ou de la préservation de la biodiversité. Cependant, le choix et la décision de contribuer à l'offre d'un service environnemental en particulier peuvent avoir des conséquences sur la qualité ou la quantité des autres services environnementaux. Si pour préserver la biodiversité, il faut réduire la pression de chasse, alors un propriétaire chassant dans sa forêt considérera que le paiement pour mieux préserver la biodiversité doit compenser non seulement la perte de recette financière, mais également la perte de jouissance de la chasse.

Alors que le bois est un produit marchand, de nombreux services écosystémiques sont non-marchands. Leur valeur ne peut être estimée qu'en utilisant des méthodes indirectes (Stenger *et al.,* 2009) qui ne permettent que de donner des ordres de grandeur. La comparaison avec un montant de paiement nécessite de plus de rassembler l'ensemble des valeurs sur une même échelle (généralement l'échelle monétaire), ce qui constitue une difficulté supplémentaire et rend complexe les optimisations économiques traditionnelles, sous contrainte de production minimale du service objet de paiement, par des méthodes du type de celle de Hartman (1976). Afin d'approcher les différents coûts d'opportunité, nous proposons une estimation basée sur la caractérisation des frontières de production entre services écosystémiques et d'une fonction de profit dépendant de la production de ces services.

L'allocation d'un territoire à la forêt et la gestion du peuplement pour la production de bois ou d'autres biens et services sont des activités économiques qui peuvent être définies théoriquement. La production peut être définie comme une fonction de création d'un bien, d'une valeur, d'un service à partir d'un ou plusieurs intrants (biens, travail, capital).

Une fonction de transformation peut être exprimée sous la forme suivante (Bowes et Krutilla, 1989) :

$$T(Y,X) \geq 0 \qquad (2)$$

où T est la fonction de transformation des quantités d'intrants X en des quantités de produits (extrants) Y (X et Y sont des vecteurs). L'ensemble des couples $(X,Y|T(X,Y)=0)$ sont sur la frontière délimitant le domaine des possibles et de l'impossible. Les points sur la frontière correspondent à la maximisation des productions en fonction des intrants et décrivent donc un ensemble de systèmes de production efficaces.

De cette fonction de transformation peut être dérivée une fonction de coût $C(X,Y)$ correspondant au coût minimum de la combinaison d'intrants X capable de produire Y et une fonction de profit $\Pi(X,Y)=PY-C(X,Y)$ avec P le vecteur de prix des extrants Y. Pour les produits non-marchands, le prix est considéré comme nul. L'enveloppe des possibilités de profits en fonction de l'offre de certains services écosystémiques permet d'évaluer le coût d'opportunité d'un accroissement de l'offre pour un service en termes de variation de profit et de variation de la valeur des autres services (voir figure 2).

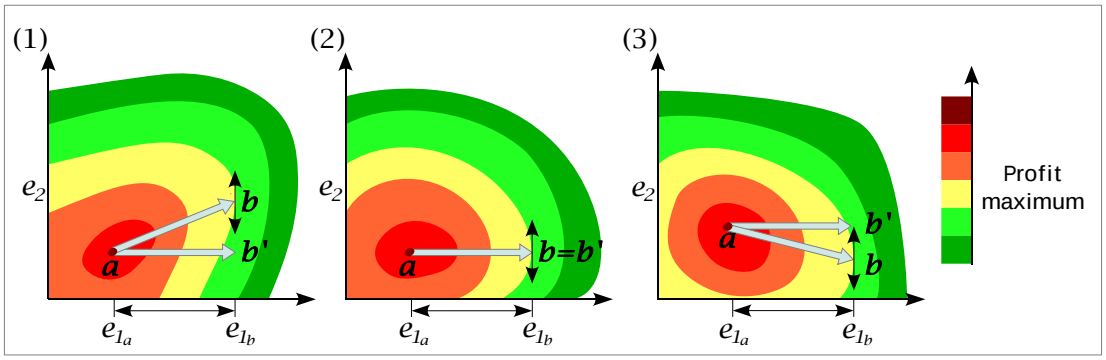

Figure 2 : Coût d'opportunité de l'accroissement de la fourniture du service environnemental e_1 de e_{1a} à e_{1b} suivant la forme de la fonction de profit et les éventuelles contraintes sur e_2. Les courbes représentent le profit maximum en fonction de la production de deux services environnementaux e_1 et e_2. En partant du profit maximum *a*, toute augmentation de l'un des services environnementaux a un coût. En raison de la jointure de production entre e_1 et e_2, l'augmentation de la fourniture de e_{1a} à e_{1b} à moindre coût peut nécessiter une augmentation simultanée de e_2 (cas 1), un maintien de la production de e_2 (cas 2) ou une diminution de la production de e_2 (cas 3). Dans le cas 3, le coût d'opportunité du passage du scénario *a* à *b* est composé de la perte monétaire et de la diminution de production du service e_2. En passant du scénario *a* à *b'* le coût d'opportunité monétaire est supérieur, mais n'inclut pas de réduction du service e_2.

Lorsque plusieurs services (e_1 et e_2) sont offerts et que la production de ces services interagit avec le profit maximum réalisable, l'augmentation de l'un des services à moindre coût entraîne :

– aucune modification de la production de l'autre service si les services sont indépendants (cas 2) ;

– une augmentation de l'autre service si des économies d'envergure sont possibles (cas 1) ;

– une diminution de l'autre service s'il existe des économies d'envergure (cas 3).

Dans le dernier cas, il est important de noter qu'imposer une conservation du niveau de production du service e_2 crée un coût additionnel. Si le consentement à payer est suffisant pour pouvoir monter un projet d'augmentation de l'offre de e_1 en compensant le coût d'opportunité sans tenir compte du service e_2, il n'est pas certain que ce projet soit réalisé si le service e_2 a une importance pour le propriétaire et est menacé. L'enveloppe du profit en fonction des services écosystémiques est un outil qui permet de mieux comprendre l'interaction entre productions et l'effet potentiel du paiement pour services environnementaux. Ces connaissances sont utiles à la mise en place de stratégies et de réglementation des paiements, en imposant par exemple des contraintes sur les services non rémunérés.

La détermination de telles fonctions nécessite d'être capable de mesurer ou d'estimer les services écosystémiques produits et de les relier au processus de production. Nous présentons dans la partie

suivante un exemple de fonction et analysons les implications potentielles en termes de gestion et de politique publique.

Exemple : gestion multi-fonctionnelle d'une futaie de chênes

À l'aide du simulateur Fagacées (Vallet, 2005), nous modélisons des itinéraires de gestion variés dont certains correspondent aux standards actuels et passés. Sur la base d'informations en sortie du simulateur, nous déterminons la valeur des bois produits en utilisant une estimation du volume par tarif et un prix des bois en fonction du diamètre des arbres coupés (calibrée d'après Chavet et Chavet, 2011). Le stockage de carbone par les arbres est estimé à l'aide de tarifs de biomasse total (Vallet et *al.*, 2006). Enfin, nous abordons la valeur paysagère du peuplement par l'intermédiaire d'un indicateur développé sur la base de résultats d'enquêtes disponibles dans la littérature (Robert et Stenger, 2011). Les services étant rendus sur le moyen et long terme, nous actualisons les résultats et calculons la valeur présente nette en supposant que la gestion est répétée à l'infini. Le taux d'actualisation est fixé à 2 %. La valeur du stockage de carbone ou de la qualité du paysage pourrait augmenter plus vite que celle du bois. Nous appliquons un terme correctif pour l'actualisation de –1 % pour ces deux services. Les résultats sont représentés sur un graphique montrant l'ensemble des possibilités de production des services « stockage de carbone dans la biomasse » et « qualité paysagère ». Le profit maximum pour chaque couple est délimité par des courbes de niveau (voir figure 3).

Sur ce graphique, on lit qu'un propriétaire maximisant son revenu peut proposer un service de stockage de carbone tout en augmentant la qualité paysagère de son peuplement. Cet itinéraire sera moins coûteux que l'augmentation du stockage simple, sauf dans le cas où le stock de carbone doit passer de 77 tC/ha à plus de 140 tC/ha. Dans cette situation extrême, l'augmentation du stock sera effectuée de préférence sans modification de la qualité paysagère ou au prix d'une légère dégradation. Si le propriétaire forestier est sensible à la qualité paysagère de son peuplement, il pourrait accepter un paiement un peu plus faible que le coût d'opportunité minimum du stockage de carbone car l'utilité qu'il retirerait de l'accroissement de ce service compenserait en partie la perte de revenu total.

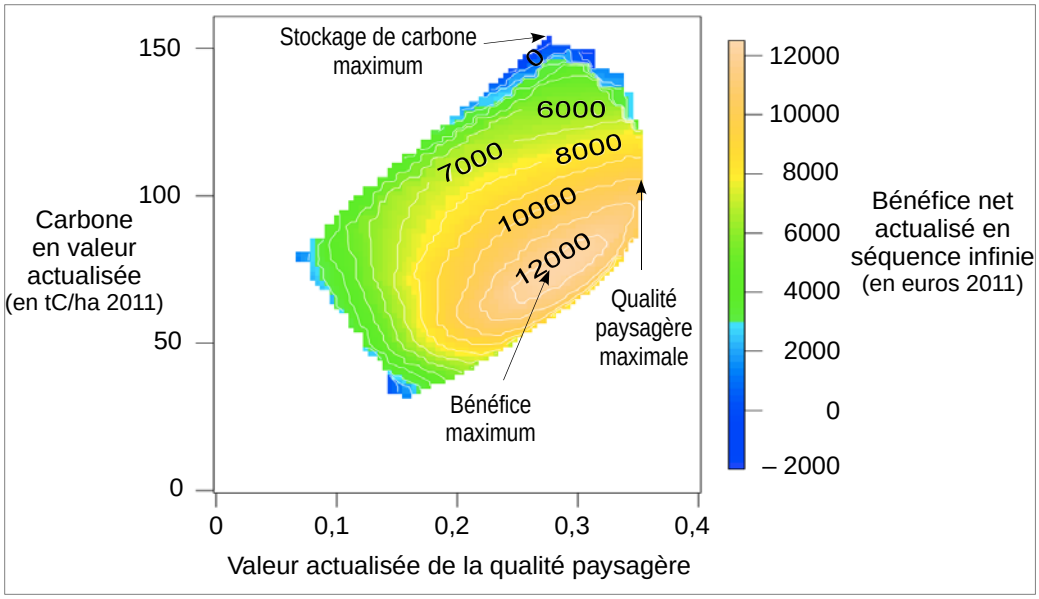

Figure 3 : Profit actualisé maximum au cours d'une révolution en fonction des valeurs présentes nettes des services de stockage de carbone et de paysage. En choisissant l'itinéraire maximisant la qualité paysagère de la forêt plutôt que celui maximisant le bénéfice, le propriétaire renonce à une partie des bénéfices, mais fourni un

service de stockage de carbone plus élevé sans coût additionnel. S'il est demandé à ce même propriétaire d'accroître le stockage de carbone dans sa forêt, alors, il devra non-seulement renoncer à une part plus importante du bénéfice, mais aussi à une partie de la qualité paysagère.

Comme nous l'avons mentionné au début de cet article, la plupart des propriétaires en France ne maximisent pas le profit, mais font un compromis entre profit et aménités. Dans l'exemple présenté ici, si un propriétaire valorise à la fois le profit et la qualité paysagère de sa forêt, et qu'il gère efficacement sa forêt, alors l'itinéraire qu'il suit est situé sur une ligne entre le bénéfice maximum et la qualité paysagère maximale. Plus il privilégie le paysage, plus il stocke, sans incitation, de carbone. Si un propriétaire maximisant la qualité paysagère de sa forêt est rémunéré pour un stockage additionnel de carbone, alors il choisira de produire le service en suivant la frontière de production entre stockage de carbone et paysage tant que cela ne coûtera pas plus cher de conserver ces deux services simultanément (jusqu'à un stock de carbone de 120 tC/ha). Au-delà, il devra arbitrer entre un coût plus important pour préserver (ou faiblement réduire) la qualité paysagère et un coût plus faible du stockage, mais une perte paysagère importante. Assurer la fourniture du service de stockage additionnel de carbone pourrait nécessiter un paiement plus important lorsque le propriétaire valorise le paysage que lorsqu'il est indifférent à ce service.

D'autres applications des frontières de production et d'analyse du profit en fonction de la fourniture d'un service environnemental sont développés dans la littérature en prenant l'exemple du stockage de carbone, la préservation de la biodiversité à l'échelle de l'unité de gestion (Boscolo et Vincent, 2003) ou de la région (Montgomery, 2002 ; Polasky et *al.*, 2008). Ces travaux n'ont en revanche pas analysé les effets de la jointure de production entre services environnementaux.

Conclusion

Ce travail met en valeur l'intérêt d'une meilleure connaissance des jointures entre productions et des volontés d'offrir des services environnementaux pour imaginer et définir des politiques capables de garantir l'offre de services écosystémiques. Les fonctions de profit apportent des informations appropriées pour analyser les propositions de politiques publiques telles que le développement des paiements pour services environnementaux pour lesquels il convient de définir les mécanismes les plus incitatifs en essayant de lever les déficits informationnels liés aux préférences des propriétaires.

La méthode employée ici contribue à qualifier les jointures entre services écosystémiques nécessaire à l'évaluation des instruments de politique publique visant à maintenir ou augmenter l'offre d'un seul service environnemental. Elle permet d'analyser l'opportunité de mise en place de paiements pour offrir des services environnementaux et d'éviter les gaspillages et inefficacités consécutifs à des doubles paiements (paiements indépendants pour chaque service) lorsque la production des services s'accroît conjointement.

L'exemple proposé ne concerne que les peuplements réguliers de chênes, en environnement certain. Une extension à d'autres types de peuplements donnerait une vision plus large du potentiel de production jointe de services écosystémiques. Il serait également intéressant de déterminer 'effet des aléas (vents, parasites…) et du changement climatique sur l'enveloppe des possibilités de production. Enfin, l'échelle d'analyse retenue dans ce document est celle de la parcelle. Pour de nombreux services, tels que la biodiversité, la récréation, le passage à une échelle plus grande (massif, région…) serait nécessaire pour analyser ou proposer des scénarios de gestion.

Références bibliographiques

Binkley C.S., 1981. Timber supply from private nonindustrial forests: a microeconomic analysis of landowner behavior, volume 92 de Bulletin. Yale University / School of Forestry and Environmental Studies.

Boscolo M., Vincent J., 2003. Nonconvexities in the production of timber, biodiversity, and carbon sequestration. Journal of Environmental Economics and Management 46, 251–268.

Bowes M.D., Krutilla J.V., 1989. Multiple-Use Management: The Economics of Public Forestlands. Resources for the Future.

Chavet M., Chavet P., 2011. Cours indicatif au m réel sur écorce des bois sur pied, découpe commerciale. La forêt privée. Revue forestière européenne 318, 48–49.

Colin A., 2007. Suivi des écosystèmes forestiers caractérisés par la présence de gros bois à fort enjeu environnemental. État des lieux et de ses variations dans le temps. Rapport technique, Inventaire Forestier National.

Faustmann M., 1849. Berechnung des Wertes, welchen Waldboden, sowie noch nicht baubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen, Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, pp. 441-455.

Garcia S., Kéré É.N., Stenger A., 2011. Déterminants de l'offre de bois des propriétaires forestiers privés : une analyse multi-niveaux des décisions de récolte. In 60e congrès de l'AFSE.

Hartman R., 1976. Harverting decision when a standing forest has value. Economic Inquiry 14, 52–58.

IFN, 2011. Prélèvement de bois en forêt et production biologique : des estimations directes et compatibles. L'IF 28, 16.

Montgomery C.A., 2002. Compatibility of timber and conservation: Tracing the tradeoff frontier. In Johnson A., Haynes R., Monserud R. (Eds) USDA Forest Service General Technical Report Pacific Northwest, volume 563, pages 225–232, Portland. US Department of Agriculture, Forest Service Pacific Northwest Research Station.

Pagiola S., Platais G., 2002. Payments for environmental services. Environment Strategy Notes 3, 4. World Bank.

Polasky S., Nelson E., Camm J., Csuti B., Fackler P., Lonsdorf E., Montgomery C., White D., Arthur J., Garber-Yonts B., Haight R., Kagan J., Starfield A., Tobalske C., 2008. Where to put things? Spatial land management to sustain biodiversity and economic returns. Biological Conservation 141, 1505–1524.

Raunikar R., Buongiorno J., 2006. Willingness to pay for forest amenities: The case of non-industrial owners in the south central United States. Ecological Economics 56, 132–143.

Robert N., Stenger A., 2011. Compatibility of timber production, protection of biodiversity, carbon sequestration and recreation in forest stands: What can be learned from growth simulations? In Southern forest economics workers 2011 annual meeting. Little Rock, AR, États-Unis. 20-22 mars 2011.

Stenger A., Harou P., Navrud S., 2009. Valuing environmental goods and services derived from the forests. Journal of Forest Economics 15, 1–14.

Uusivuori J., Kuuluvainen J., 2005. The harvesting decisions when a standing forest with multiple age-classes has value. American Journal of Agricultural Economics 87, 61–76.

Vallet P., 2005. Impact de différentes stratégies sylvicoles sur la fonction "puits de carbone" des peuplements forestiers. Modélisation et simulation à l'échelle de la parcelle. Thèse de doctorat, ENGREF.

Vallet P., Dhote J.F., Le Moguedec G., Ravart M., Pignard G., 2006. Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. Forest Ecology and Management 229, 98–110.