

Sylviculture et économie d'un projet de stockage additionnel de carbone induit par la conversion de taillis de hêtre méditerranéens

par Jonathan PITAUD et Gilles MARTINEZ

Atténuer les changements climatiques en améliorant la gestion forestière est l'un des grands défis de notre époque. Mais si souvent cette amélioration permet d'augmenter la conservation du carbone, elle implique aussi un manque à gagner pour le propriétaire forestier. Aujourd'hui, les nouveaux marchés volontaires du carbone permettent de payer ce service écosystémique, mais ils doivent pouvoir s'appuyer sur une évaluation fiable, à la fois au regard des critères écologiques, environnementaux et économiques. L'étude présentée ici se base sur le cas concret d'une conversion d'un taillis de hêtre en futaie en évaluant le service de séquestration de carbone et la valorisation économique de ce service.

Préambule

Cet article fait suite au travail réalisé dans le cadre d'un stage de fin d'études (AgroParisTech, dominante Gestion forestière) au sein du Centre régional de la propriété forestière Provence-Alpes-Côte-d'Azur, en lien notamment avec le groupe de travail Carbone de la Forêt privée française. Il s'agit d'un résumé. Ce mémoire a obtenu le prix 2015 de la Fondation Xavier-Bernard délivré par l'Académie d'Agriculture de France. Le lecteur souhaitant plus de détails pourra se référer au mémoire en ligne sur le site www.agroparistech.fr.

Introduction

A l'heure où la gestion forestière est soumise aux exigences croissantes des nombreuses parties prenantes — tendant ainsi à confirmer la nécessité d'une approche multicritères — le modèle économique fondé sur l'idée que le bois rémunère seul l'ensemble des services rendus par les écosystèmes forestiers, semble essoufflé. A partir de ce constat, les réflexions se multiplient pour améliorer la connaissance, la quantification et la valorisation des services écosystémiques, en vue de diversifier la structure de revenus et d'intensifier la gestion en forêt privée. Cet objectif amène à un changement d'échelle où l'approche traditionnelle centrée sur la propriété individuelle se voit de plus en plus débordée par un regard élargi au niveau de massifs forestiers.

L'élargissement de cette perspective avait déjà accompagné les gestions intégrant la fonction de protection des biens et des personnes, rendue par les forêts. Depuis longtemps ce rôle fait l'objet d'une reconnaissance économique, entre autres par le biais de la politique de restauration des terrains en montagne (RTM). D'autres services sont connus, comme par exemple le rôle des forêts dans la qualité et la quantité d'eau disponible, ou encore dans la conservation de la biodiversité, mais ils restent encore souvent difficiles à quantifier et encore plus à valoriser sur le plan monétaire.

Aujourd'hui, le contexte environnemental attire l'attention des forestiers vers le rôle des forêts dans la transformation du dioxyde de carbone atmosphérique en biomasse grâce à la photosynthèse avec tout d'abord un rôle de stockage, le temps du développement des arbres avant leur exploitation. Cet enjeu amène à des réflexions vers des gestions

Photo 1 :

Taillis de hêtre
avant coupe.

Photo Marie de Guisa.



contribuant à l'atténuation des changements climatiques. La quantification de cette fonction est relativement plus facile à appréhender que celle d'autres « aménités » alors qu'il existe par ailleurs un marché censé refléter sa valeur.

Faisant suite à une expérience menée par la Forêt privée en Rhône-Alpes visant à financer, sur la base des bénéfices attendus en termes de carbone, les investissements nécessaires à l'amélioration de taillis de châtaignier, nous avons étudié le potentiel de transfert de la démarche sur des taillis de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) de l'arrière-pays provençal.

Les essentiels du carbone forestier

Afin d'appréhender la problématique du carbone en forêt, nous rappelons que l'étude du service de captation du carbone atmosphérique comprend trois effets, couramment nommés les « 3S » :

- le **stockage** en forêt dans le volume de bois qui s'accroît du fait de la production primaire de biomasse des suites de la photosynthèse. La part importante de carbone stockée dans les sols reste difficile à prendre en compte et ne figure pas dans la présente analyse ;

- la **séquestration** dans les produits bois qui prolongent la durée du stockage après l'abattage des arbres (menuiserie, construction...). Cet effet dépend surtout de la durée de vie des produits ;

- la **substitution** à des énergies ou des matériaux induisant des émissions supérieures de gaz à effet de serre, par rapport au bois.

Les réflexions se limitent souvent à la composante « stockage ». Or en termes de développement durable (c'est-à-dire en intégrant les dimensions économiques), le bénéfice global doit être évalué en considérant l'ensemble des « 3S ». C'est en tous cas la stratégie affichée par la Forêt privée française. Cette approche est renforcée dans le contexte de la forêt méditerranéenne où ne considérer que le stock en forêt conduirait à encourager des politiques capitalisantes, c'est-à-dire où on prélèverait moins que l'accroissement biologique, à l'opposé des attentes sociétales qui réclament une intensification de la gestion

pour mobiliser et utiliser le bois, diminuer le risque incendie, rouvrir les paysages en cours de fermeture, etc.

Ainsi, financer uniquement le stock forestier freinerait les initiatives des gestionnaires, sans répondre aux enjeux liés au déficit de gestion caractéristique de la forêt privée méditerranéenne, et par ailleurs engendrerait un « effet d'aubaine » en faveur de sylvicultures peu intensives.

Trois types de stratégies coexistent pour augmenter le service de stockage fourni par la forêt. Elles sont définies par la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) :

- éviter la déforestation (projets REDD, *Reducing emissions from deforestation and forest degradation*) ;
- boiser des terres qui ne l'étaient pas en 1990 (date de référence) ;
- améliorer la gestion.

En France métropolitaine, l'enjeu majeur se situe dans la troisième composante (« amélioration de la gestion ») qui ouvre un large éventail de possibilités. Malheureusement les cadres réglementaires de financement de projets d'amélioration de la gestion n'existent pas en France métropolitaine et les réponses se limitent souvent aux seuls critères ciblant l'accroissement du stock en forêt.

Partant de ce constat, à savoir que les marchés réglementaires n'offrent pas actuellement de possibilités de financements conformes à une politique forestière durable (qui reviendrait à conserver un stock conséquent en forêt tout en améliorant les peuplements et les produits fournis), la Forêt privée s'est tournée vers les marchés volontaires fondés sur des modèles économiques de mécénat.

En reprenant les critères de qualité exigés dans les démarches réglementaires, le projet de mécénat doit garantir :

- l'additionnalité du stockage de CO₂ par rapport à un scénario de référence crédible et ce, notamment, pour mettre en évidence le rôle déclencheur du financement « compensateur » pour la réalisation du projet afin d'éviter au maximum les effets d'aubaine. En clair, en suivant un scénario de gestion A, traditionnel, le sylviculteur stocke une certaine quantité de CO₂. Pour être rémunéré, il devra prouver que le scénario de gestion B stocke une quantité supérieure de CO₂ moyennant un manque à gagner ;

- la mesure et le suivi dans le temps des émissions évitées selon une méthodologie certifiée. La méthode de calcul doit toujours, en cas de doute, favoriser l'hypothèse la plus prudente afin de ne pas surestimer le bénéfice ;

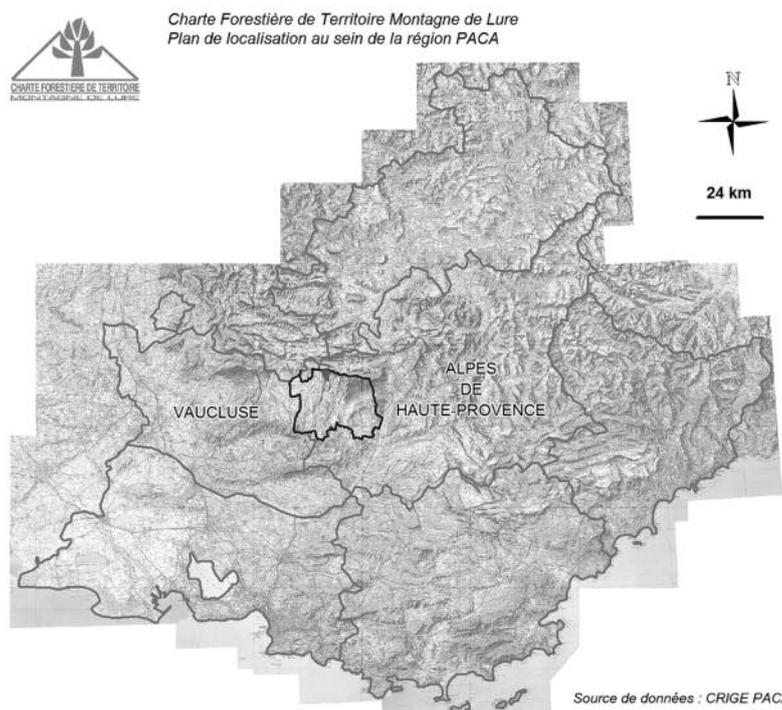
- la permanence du stockage ;
- l'absence de double compte (vente de crédits déjà comptés par ailleurs ou déjà vendus).

En synthèse, la problématique abordée dans cet article concerne les taillis de hêtre du montagnard provençal. Il s'agit de modéliser le coût de la conversion de ces taillis, c'est-à-dire leur passage progressif d'un mode de reproduction végétatif (taillis) vers un mode sexué (futaie) présentant un meilleur potentiel de valorisation à terme.

La recherche vise le chiffrage d'une incitation financière transparente, portée par un montage attractif pour un mécène concerné par l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.

A ce titre, la démarche entre dans le cadre des mécanismes de « mécénat d'atténuation ». Enfin la méthode reprend les bases des critères de qualité définis dans les dispositifs réglementaires de financement de projets d'amélioration de l'impact « carbone » de la gestion sylvicole.

Carte :
Localisation du territoire de l'étude.



Année	Intensité de prélèvement	Part de bois d'œuvre dans le volume prélevé (%)	Remarque
2014	60 %	0	Éclaircie forte de rattrapage. Ouverture de cloisonnements.
2034	40 %	5	Maintien d'un capital sur pied modéré permettant une régénération protégée par le couvert. Récolte des bois mûrs.
2054	40 %	10	
2074	40 %	20	
2094	40 %	25	
2114	40 %	25	

Tab. 1 :
Échéancier du scénario alternatif de conversion à la futaie.

Méthode

La méthode employée pour répondre à cette question repose sur la comparaison de deux itinéraires techniques sylvicoles : on prend comme scénario de référence celui qui correspond à la pratique courante et on définit un second itinéraire qui intègre le projet de mécénat.

Chaque itinéraire fait l'objet d'une caractérisation détaillée permettant de développer les différentes composantes du scénario à long terme, de façon crédible. Sur la base de modèles techniques de croissance, les analyses mesurent l'impact en termes de carbone et l'éventuel bénéfice carbone entre les différents scénarios. Les résultats alimentent les études économiques nécessaires à l'évaluation de l'additionnalité (comparaison

Photo 2 :
Coupe rase de taillis de hêtre, 7 ans après, commune de La Rochemore
Photo J.P.



de l'impact « carbone » entre les deux scénarios).

Le modèle a été développé sur le périmètre géré par l'association syndicale libre (ASL) Le Tréboux qui regroupe 41 propriétaires forestiers privés pour 1 007 hectares boisés. Les hêtraies représentent 230 hectares et ont été historiquement traitées en taillis simple, c'est-à-dire suivant une fréquence de coupes à blanc tous les 20 ans en moyenne. Pour autant l'étude des photographies aériennes disponibles sur le site Géoportail a permis de dater la dernière coupe au début des années 1950. Les peuplements actuels de hêtre ont ainsi environ 65 ans (± 5 ans). On dit qu'ils sont « capitalisés » au regard de la référence de gestion dans la mesure où ils ne sont plus exploités.

Ils se situent sur le versant sud de la montagne de Lure, sur la commune de La Rochemore (Alpes de Haute-Provence). On les trouve en exposition est ou ouest sur les pentes des « combes » qui caractérisent ce massif. L'altitude varie entre 1 200 m et 1 500 m et l'apport en eau se situe entre 1 000 et 1 300 mm/an avec des précipitations plutôt bien réparties dans l'année pour la région (du fait d'une topographie propice) et une certaine humidité atmosphérique. Le potentiel de production du hêtre dans ces conditions de milieux est relativement intéressant même si ces peuplements se situent en limite de leur aire de répartition en France.

Le choix du scénario de référence s'est naturellement orienté vers une gestion en continuité avec les pratiques traditionnelles à savoir le traitement en taillis simple sur des rotations de 50 ans, même si les rotations étaient plus courtes au début du siècle dernier (de l'ordre de 20 ans, LADIER *et al.*, 2007). Le *Guide des sylvicultures de montagne des Alpes du Sud françaises* (LADIER, REY et DREYFUS, 2012) préconise aujourd'hui des rotations de 40 à 50 ans dans ces conditions de milieux. Sur ces bases et compte tenu de l'âge des peuplements, alors que la pratique de la coupe rase régulière figure d'une part comme itinéraire technique dans le Schéma régional de gestion sylvicole qui encadre la gestion en forêt privée méditerranéenne et, d'autre part, se trouve largement mise en œuvre localement (Cf. Photo 2), nous avons fixé comme scénario de référence la coupe rase tous les 50 ans. Ce scénario débute donc par une coupe puisque les peuplements peuvent globalement être considérés comme « mûrs » — hypothèse forte et non

sans conséquence. Cet itinéraire ne produit que du bois de chauffage (bois bûche).

Le scénario alternatif repose quant à lui sur la conversion des taillis en futaie par des éclaircies préparatoires réalisées lors d'opérations de balivages (sélections successives des ultimes semenciers en réserve). Cet itinéraire technique suppose le passage par le régime transitoire de la « futaie sur souche ». Il existe peu de recul technique sur ce type d'itinéraire dans le contexte local. La seule référence identifiée a été l'expérimentation installée par l'Office national des forêts, il y a 14 ans, dans la forêt domaniale du Défens sur la même commune, dans un contexte écologique comparable (LADIER 2014). On peut encore la considérer comme expérimentale.

S'agissant de la Forêt privée, l'ASL Le Tréboux guide son action au travers d'un plan simple de gestion concerté et applique depuis 4 ans sur une de ses unités de gestion, des modalités de balivage directement inspirées des normes techniques expérimentées en forêt publique.

L'échéancier des coupes pour cet itinéraire est décrit dans le tableau I. Il se décline dans une séquence de coupes de rotation 20 ans et d'intensité de prélèvement 40 % (la première à 60 %). La part de bois d'œuvre objectif dans la récolte augmente progressivement par amélioration du peuplement, jusqu'à représenter 25 % du volume. L'objectif à terme est de produire des grumes de hêtre de diamètre 40-45 cm pouvant produire des sciages de qualité courante.

Un dispositif de placettes permanentes afin de caractériser et suivre dans le temps

Afin de combler le manque dans la littérature de caractérisation technique de ces hêtraies, nous avons installé un réseau de 43 placettes permanentes réparties sur quatre ensembles pour une densité d'une placette par hectare sur chacun. Si ce dispositif offre des perspectives intéressantes en terme de développement, il nous a surtout permis de recueillir les données dendrométriques indispensables à une quantification précise du carbone de ces taillis.

C'est aussi une façon de disposer d'un suivi



précis, contrôlable et fiable dans le temps dans la perspective d'une contractualisation de mécénat. Ce site serait ainsi le premier en France à le proposer alors que d'autres expériences s'appuient sur la littérature, comme par exemple des tables de production. Un ensemble de placettes (treize sur les quarante-trois) a déjà fait l'objet d'un balivage. Il se trouve situé sur le versant des Antorbes. Les autres ont été implantées avant coupe dans des situations topographiques différentes.

Les mesures effectuées ont consisté à calculer le capital sur pied par essence et la qualité potentielle (présence d'une bille de pied susceptible d'être sciée sur 5 m, en fonction de sa rectitude et de la branchaison). Le coût d'installation est de 11 hommes/jour (hors saisie et traitement de la donnée).

Critères de comparaison des itinéraires

Du point de vue du carbone, nous avons considéré, pour le stock en forêt, uniquement la biomasse aérienne des arbres de diamètre supérieur à 7,5 cm à 1,30 m de haut (arbres pré comptables).

Le carbone contenu dans les racines, le sol, l'humus, le bois mort au sol et le sous-étage, a été ignoré en faisant l'hypothèse que ces compartiments réagiraient de façon proche

Photo 3 :
Installation de placettes
aux Antorbes.
Photo M. de Guisa.

- 1 - GIEC :
Groupe d'experts
intergouvernemental
sur l'évolution du climat.
- 2 - Voir notamment GIEC,
2006. 2006 IPCC
*Guidelines for National
Greenhouse Gas
Inventories*, Volume 4:
AFOLU,
Chapter 12: Harvested
Wood Products:
http://www.ipccggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_12_Ch12_HWP.pdf
- 3 - Voir cependant
les éléments de débat au
sujet de la controversée
« neutralité carbone » du
bois énergie dans l'article
de P. Leturcq (2011)
« La neutralité carbone
du bois énergie :
un concept trompeur ? »
in *Rev. For. Fr.*
LXIII - 6-2011.

dans les deux scénarios ou éventuellement en défaveur du scénario alternatif (on s'attend plutôt à une minéralisation plus importante du carbone du sol après une coupe rase de taillis qui augmentera la température du sol et donc l'activité des agents minéralisateurs, par défaut de couvert forestier). La biomasse aérienne est mesurée grâce à l'estimation du volume qui est convertie en matière sèche puis en carbone en utilisant des coefficients de conversion issus des recommandations méthodologiques de Forêt privée de France et de l'Institut pour le développement forestier (MARTEL, 2014 a et b) qui sont principalement inspirés du rapport CARBOFOR (LOUSTAU, 2004) et des recommandations du GIEC¹. Le volume total aérien est estimé grâce à la formule issue de VALLET *et al.* (2006) à deux entrées (diamètre et hauteur), fonction de la robustesse des arbres (rapport de la racine carrée de la circonférence à 1,30 m et de la hauteur totale) ce qui permet de l'utiliser dans des contextes très différents.

La séquestration dans les produits bois est exclue de l'analyse ce qui aurait tendance à avantager le scénario de référence dans lequel les produits « bois de chauffage » ont une durée de vie plus courte. De fait la différence de séquestration entre les deux scénarios est négligée en raison d'une durée de vie attendue peu importante, des quelques produits qui seront éventuellement sciés (la qualité espérée des grumes sera certainement modeste, de type billons pour l'emballage).

L'effet de substitution est pris en compte à travers les hypothèses de qualité des produits exploités : bois énergie ou bois d'œuvre. Nous nous contenterons d'utiliser un coefficient communément admis² indiquant la quantité d'émission évitée (en équivalent CO₂) par l'utilisation de bois comme énergie ou comme matériau en substitution à du carbone fossile.

Pratiquement, la substitution est quantifiée par deux coefficients issus de la note méthodologique de MARTEL (2014c).

Le premier, développé en partenariat avec l'Ademe, correspond aux émissions évitées par l'utilisation de bois énergie. Il semble faire consensus et prend en compte le bouquet énergétique français³. On considère qu'un mètre cube de bois valorisé en énergie permet d'éviter l'émission de 0,457 tCO₂.

Pour le bois matériau, il faudrait, en toute rigueur, avoir une idée des produits transformés qu'on pourrait obtenir, des rendements

de transformation et du mix de matériaux auxquels ils se substituerait, ainsi que des analyses de cycle de vie de chacun des matériaux et des émissions associées. Vu les incertitudes auxquelles on est confronté, ce travail n'a pas été fait. Nous avons utilisé le coefficient proposé par MARTEL : 0,8 tCO₂ évitées par l'utilisation d'un mètre cube de bois rond dans le secteur de la construction. Ce coefficient fait l'objet de discussions mais il est utilisé faute de mieux pour un compartiment de l'étude dont les bénéfices, nous le verrons, sont négligeables.

Les critères synthétiques de comparaison liés au carbone sont les suivants.

Le premier est le bénéfice potentiel d'atténuation (BPA) repris de MARTEL et CASSET (communication personnelle, 2014). Il s'agit du stock moyen sur pied prévu à l'équilibre (si le projet suppose une phase de transition) et à l'échelle de la vie du peuplement (la révolution). Il correspond à la différence des stocks sur pied moyens que nous pensons constater sur une période correspondant à un motif périodique (ex. 50 ans pour le taillis).

Le second concept est nouveau et nous l'avons nommé bénéfice actualisé en séquence infinie « Carbone » ou BASIC. Il repose sur la théorie keynésienne d'une préférence des acteurs économiques rationnels en faveur du présent, que nous adaptons à la préférence pour le présent à séquestrer du carbone.

En effet, dans une stratégie d'atténuation des changements climatiques, il y a un intérêt à réduire les émissions de gaz à effet de serre au plus tôt afin de ne pas réagir une fois des augmentations fortes de températures constatées à la fin du siècle. De plus, il y a, on le verra de façon plus approfondie, des incertitudes pouvant devenir importantes à long terme. Nous pouvons donc voir un intérêt à l'actualisation des flux de carbone en considérant qu'une tonne de CO₂ séquestrée en 2016 vaut davantage que la même tonne séquestrée dans 100 ans qui est d'une part entachée de risque (sera-t-elle toujours là ?) et éventuellement moins « utile » pour une politique publique volontariste d'atténuation.

Ainsi, après avoir construit une scénarisation à long terme des flux de carbone, il est possible de les cumuler, quel que soit leur rang de survenance dans le temps, grâce au calcul actuariel (voir à ce sujet l'article de CHANDIOUX et RICODEAU dans le numéro de mars 2014 de *Forêt Méditerranéenne*). En

d'autres termes, en actualisant à une date présente, la séquence infinie des « flux » de carbone, on obtient un « capital carbone » propre à chaque projet. On rappelle qu'en économie, la notion de « bénéfice actualisé en séquence infinie », BASI (ou Valeur actuelle nette, VAN) correspond à la valeur présente d'un capital rémunéré à un taux d'actualisation engendrant des revenus suivant une périodicité déterminée sur un horizon d'investissement qui peut être infini (exemple du marché des actions). Cette approche est facilement transposable dans le domaine du carbone et offre l'avantage d'exprimer cette préférence pour le présent dans le stockage de carbone, avec une valeur qui aura une forte sensibilité en fonction de l'hypothèse du taux d'actualisation.

On remarque que par construction, le BASI Carbone est égal au bénéfice potentiel d'atténuation, BPA pour un taux d'actualisation nul. En effet, dans le cas d'un taux nul, chaque flux additionnel annuel de carbone a le même poids relatif dans le stock présent (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de décote du flux futur dans le cumul actualisé des flux sur l'ensemble de la vie du peuplement) quel que soit sa date de survenance. Ainsi la « production » additionnelle moyenne de carbone est la même que celle qui est calculée dans le bénéfice potentiel d'atténuation (BPA).

L'effet de substitution est mesuré sur la base des comparaisons entre émissions de CO₂ susceptibles d'être évitées sur 100 ans.

Du point de vue économique, la rentabilité des deux scénarios sera uniquement comparée sur la base de leur BASI (bénéfice actualisé en séquence infinie) en choisissant plusieurs taux d'actualisation. Cela évite le problème habituel de non-concordance des durées des projets, même si dans notre cas, nous aurions pu nous contenter d'un horizon d'analyse de 100 ans, soit deux rotations de taillis ou cinq rotations de balivages en conversion. Cela permet par ailleurs une estimation de la valeur du capital.

Les hypothèses de prix sur pied sont les suivantes :

– bois de chauffage : 13 €/m³,

– bois d'œuvre : trois niveaux de prix servent à l'analyse compte-tenu de l'impossibilité d'anticiper ceux-ci dans une région où la filière de valorisation de ces produits n'existe pas encore. Nous proposons une hypothèse pessimiste (14 €/m³), réaliste (22 €/m³) et optimiste (30 €/m³).

Le taux d'actualisation varie entre 1 et

4 %, correspondant à des exigences de rentabilité différentes. On suppose de plus, un surcoût de gestion dans le scénario alternatif qui nécessite de désigner les arbres à conserver et un suivi plus fin de l'exploitation. Celui-ci est estimé à 125 €/ha et par coupe (de l'ordre de 0,25 homme/jour de technicien par hectare permettant de désigner physiquement les tiges sur une partie de la coupe, puis de laisser le bûcheron reproduire cette désignation, ce qui impose un suivi plus fin du chantier).

Résultats

Les hypothèses les plus importantes étant posées, nous pouvons présenter les résultats obtenus. Ils se composent des résultats dendrométriques du réseau de placettes permanentes, valorisés dans la calibration empirique de modèles de croissance nous ayant permis une scénarisation fine à long terme d'évolution du stock de carbone aérien des peuplements.

Des mesures de hauteur relativement

Tab. II :
Synthèse des résultats dendrométriques par sites.

Site	Antorbes (déjà balivé)	Combe Maurel	Pré d'Engande	Tréboux
Nombre de placettes	13	10	10	10
G 10 et + (m ³ /ha)	13,7 (±14 %)	31,5 (±18 %)	31,7 (±13 %)	26,7 (±22 %)
N 15 et + (tige/ha)	378 (±21 %)	887 (±29 %)	709 (±33 %)	737 (±30 %)
D _g 10 et + (cm)	16,3	15,8	11,5	13
D _g 15 et + (cm)	19,7	19,7	15,5	17
D ₀ (cm)	27,5	33,5	21,8	24,3
H ₀ estimée (m)	15,8	15,8	11,8	12
Âge estimé en 2014 (ans)	74	62	63	62
Fertilité (GSMAS)	2	2	2-3	2-3
Volume total aérien Vallet (m ³ /ha)*	127 (±19 %)	290 (±19 %)	245 (±14 %)	195 (±23 %)
Tonnes de CO ₂ aérien (tCO ₂ /ha)*	126 (±19 %)	275 (±20 %)	245 (±14 %)	186 (±24 %)

G : surface terrière en m²/ha

N = nombre de tiges/ha

D_g = diamètre moyen

et D₀ = diamètre dominant (lorsque la densité > 1 100 tiges / ha, D₀ désigne le diamètre moyen des 100 tiges les plus grosses par ha)

H₀ = hauteur dominante (lorsque la densité > 1 100 tiges / ha, H₀ désigne la hauteur totale des 100 tiges les plus hautes par ha)

GSMAS : Guide des sylvicultures de montagne des Alpes du Sud françaises

* dont bois mort sur pied

Stocks aériens prévus selon le traitement (tCO₂/ha)

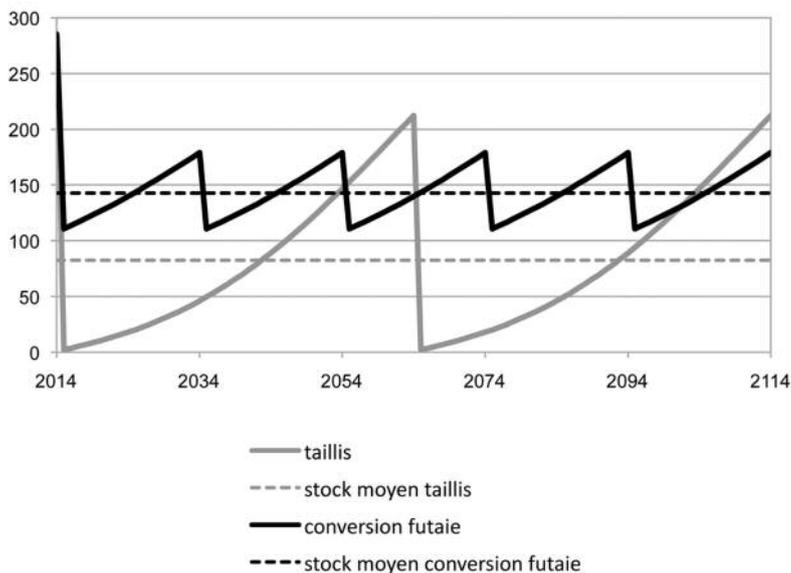


Fig. 1 : Scénarios d'évolution du stock de carbone aérien par itinéraire sylvicole.

nombreuses nous ont permis d'utiliser des relations hauteur-diamètre par site afin de cuber la biomasse totale aérienne grâce à la formule de VALLET *et al.* (2006). Cette méthode a été encore récemment améliorée par le projet EMERGE⁴ et est jugée extrapolable à la plupart des peuplements métropolitains à partir de modèles de « robustesse⁵ » des arbres (rapport entre la racine carrée de la circonférence à 1,30 m et la hauteur totale).

Nous avons donc obtenu, pour chaque ensemble de placettes, une estimation (à environ ± 20 % au risque statistique de 5 %) de la biomasse ligneuse pré comptable par hectare (Cf. Tab. II).

Connaissant l'âge des peuplements, nous pouvons avancer un accroissement moyen sur la période. Néanmoins, afin de décrire la dynamique de croissance du taillis de façon plus réaliste que la (trop) simple approximation « accroissement courant = accroissement moyen », nous avons compilé l'ensemble des données à disposition dans la calibration — empirique — de modèles de croissance inspirés d'une croissance du volume, de type logistique.

La charge maximale d'accueil du milieu provient des observations de LADIER (2014) qui a constaté, sur la modalité témoin, une

stagnation de la surface terrière durant les 15 dernières années à un niveau qu'on peut supposer être un maximum où la compétition régit la mortalité des arbres. Les autres paramètres du modèle sont calibrés afin d'être conformes aux observations issues des mesures dendrométriques (volume à 65 ans par exemple). Nous obtenons la scénarisation suivante qui compare le volume total aérien des deux itinéraires sylvicoles (Cf. Fig. 1).

La différence des moyennes de stock correspond au bénéfice potentiel d'atténuation évalué à 60 tCO₂/ha en faveur de la conversion vers la futaie.

La dérivée de ces courbes nous donne une scénarisation des flux de carbone qui nous a permis les calculs de BASI Carbone dont les résultats sont présentés dans le tableau III ci-dessous. Le choix de débiter par une coupe — les peuplements sont « mûrs » — conduit à un écart entre les itinéraires, plus important en début de période d'analyse. L'actualisation des flux met ce phénomène en évidence puisque le bénéfice (en termes de différence de BASI) est supérieur au BPA dès lors que le taux d'actualisation n'est pas nul.

En appliquant les coefficients issus de la note méthodologique de MARTEL (2014c) concernant les effets de substitution, on trouve en moyenne sur un échancier de 100 ans, un résultat de 1,8 tCO₂/ha/an, quel que soit l'itinéraire choisi. De fait l'écart entre les deux scénarios est négligeable par rapport au stock de biomasse sur un horizon de 100 ans. Le scénario de référence conduit à récolter plus de volume (bois de feu), compensé par la valorisation (limitée) en bois d'œuvre du scénario alternatif. Ce critère est donc jugé indifférent pour l'analyse des deux scénarios. De plus, rappelons que son évaluation n'est réalisée qu'à titre informatif puisque cette notion pose des problèmes de double compte, c'est-à-dire de comptabilisation de la même biomasse dans différentes composantes de substitution.

La scénarisation de la croissance (et des récoltes) permet aussi de calculer les BASI économiques dont les résultats sont exposés dans la figure 2.

Il résulte de l'étude économique que le

Tab. III (ci-contre) :

Bénéfices carbone attendus (tCO₂/ha).
* Ce BASI est la différence entre le BASI des flux engendrés par l'itinéraire de balivage et celui du taillis simple.

4 - Projet financé par l'Agence Nationale de la Recherche pour une refonte des outils de dendrométrie dans le contexte des nouveaux enjeux d'estimation de la ressource bois (gestion comptable et durable des volumes, biomasses et minéralomasses en forêt), en lien notamment avec la montée en puissance de la filière bois-énergie. Voir *Rendez-Vous techniques* - ONF 07/2013.
5 - Concept anglo-saxon de « *hardiness* ».

Taux d'actualisation	1 %	2 %	3 %	4 %
Bénéfice potentiel d'atténuation	60	60	60	60
BASI « Carbone » *	67	74	79	84

report des revenus occasionné par la conversion n'est pas compensé par l'augmentation de leur fréquence ni par l'augmentation du prix du bois. En somme, le manque à gagner à très court terme de ne pas faire une coupe rase dans un peuplement mûr grève trop fortement le scénario économique. À cela s'ajoutent les frais de gestion supplémentaires. Nous en concluons qu'un propriétaire, presque indépendamment de ses exigences de rentabilité et agissant conformément à la rationalité économique uniquement, a intérêt à choisir la coupe rase.

D'ailleurs, malgré les incertitudes pesant sur tous les calculs, nous pouvons conclure que le manque à gagner induit par le balivage est significatif. Il est de l'ordre de 1 100 €/ha (en € 2015) et ce, pratiquement quel que soit le taux d'actualisation. Remarquons aussi que pour les taux relativement élevés, l'hypothèse de prix du bois d'œuvre n'a que peu d'influence sur le résultat. Ce constat permet de s'affranchir théoriquement des hypothèses de destination de ces bois.

Bilan au regard des critères de qualité des projets carbone

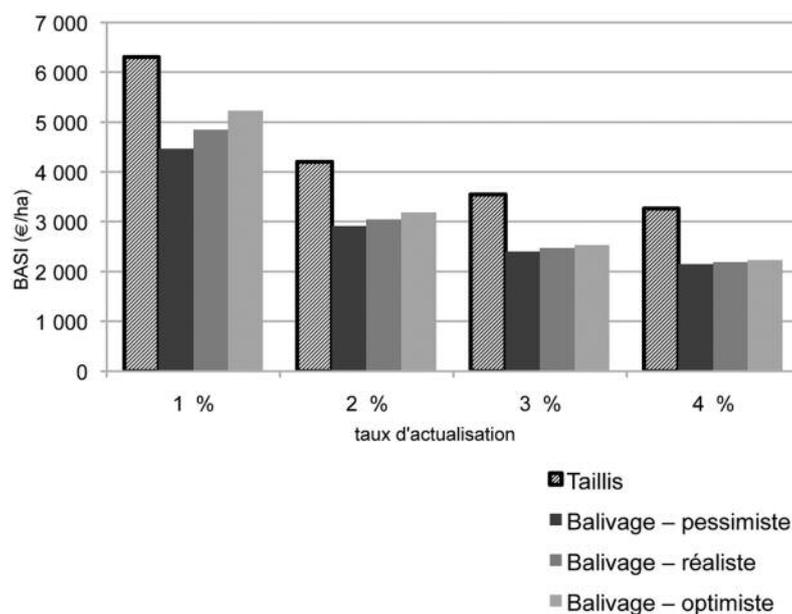
La première conclusion de l'étude est que la conversion vers la futaie des taillis de hêtre du montagnard méditerranéen occasionne un bénéfice carbone additionnel de l'ordre de 60 tCO₂/ha (selon les concepts). L'additionnalité, à savoir le supplément de carbone stocké en moyenne sur un horizon de 100 ans en suivant le scénario alternatif, se traduit par une perte sur le capital économique.

Concernant la permanence du bénéfice et les risques de fuite, nous devons nous interroger sur la durabilité de chaque traitement et sur le risque incendie.

Pour le premier point, il n'existe pas de recul suffisant pour affirmer la capacité à régénérer en continu et sous couvert le hêtre dans ces conditions de milieu, ce que suppose le scénario de conversion. Néanmoins, nous avons observé l'abondance de semis de l'année durant l'été 2014 ainsi que la présence non négligeable, même si encore peu visible, d'une régénération issue de graine et jugée acquise.

Quant au risque incendie sur le périmètre

BASI par scénario sylvicole et de prix



de l'ASL du Tréboux, il a été évalué « modéré » suivant les critères du Plan départemental de protection des forêts contre l'incendie (PDPFCI). Par ailleurs, d'importants investissements de lutte ont été réalisés récemment par l'ASL (dont un bassin DFCI de 500 m³) alors que des opérations de reconquête pastorale ont permis d'engager des travaux de sylviculture préventive au travers de coupe-feux. De plus, les feuillus sont moins sensibles au risque et l'éclaircie engendre une diminution de la biomasse combustible. Dans le cadre d'une contractua-

Fig. 2 : BASI par itinéraire économique et hypothèse de prix du bois d'œuvre.

Photo 4 : Versant des Antorbes trois ans après coupe. Ce visuel ne concerne qu'une seule tranche. Photo J.P.



lisation des services écosystémiques, nous prévoyons de réduire de 10 % le bénéfice carbone pour intégrer ces risques (10% correspond aux usages pour un risque courant).

Enfin, une analyse des co-bénéfices, sociaux, économiques et environnementaux, nous montre qu'ils sont nombreux. Dans ce contexte sylvopastoral, la conservation d'un couvert dans la hêtraie est stratégique au cœur de l'été afin d'apporter de l'ombre et un complément alimentaire aux brebis durant leur parcours. De plus, la conversion vers la futaie participe de la conservation du paysage dans la mesure où l'impact paysager des interventions est « lissé » dans le temps (Cf. Photo 4 du versant des Antorbes balivé progressivement au cours des quatre dernières années où même les cloisonnements d'exploitation ne se voient plus dans les secteurs traités en premier).

Enfin, du point de vue de la biodiversité, le balivage permet de conserver des arbres de dimension plus importante et d'augmenter la maturité (future) des peuplements, encore très faible à l'échelle du massif. La maturité, traduite notamment par des bois de grande dimension, permet à de nombreuses espèces emblématiques de se développer. On peut citer à cet égard les cortèges cavernicoles aujourd'hui limités par la rareté des gros bois (Cf. Photos 5 et 6). De plus, des passages en coupe plus fréquents et le maintien d'un couvert plus clair contribuent à la conservation d'un mélange d'essences (érables, alisier blanc, cytises, sapin pectiné...) qu'un taillis

Photo 5 :
Hêtre à cavités,
futaie sur souche
en forêt domaniale
du Défens.
Photo J.P.



dense de hêtre peut perdre par régularisation monospécifique. Notons que ces considérations ne seraient pas remises en cause, à l'échelle globale de l'unité de gestion, par la mise en œuvre d'un système d'exploitation qui intégrerait des objectifs sylvicoles d'amélioration du peuplement et pastoraux de pâturage du sous-étage (et de la strate herbacée) dans la mesure où l'ouverture modérée et continue du couvert serait favorable à cette pratique.

Conclusion

En conclusion, nous avons mis en évidence la possibilité d'installer un paiement pour service écosystémique fondé sur la prise en compte de l'impact carbone de la gestion sylvicole et l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Ces résultats plaident clairement en faveur du développement de la technique de conversion des taillis de hêtre dans le montagnard méditerranéen sur la base d'un calcul du manque à gagner. La démarche a fait l'objet d'une évaluation par un groupe d'experts travaillant sur le carbone forestier et l'installation d'un réseau de placettes permanentes ambitieux et peu coûteux contribue à sa crédibilité. Ce réseau permettra, en outre, après un second cycle de mesures, de fournir davantage de données techniques sur ces peuplements encore peu caractérisés.

Le financement de tels projets par du mécénat d'atténuation représente une opportunité pour lever les blocages (notamment économiques) à une amélioration de la gestion forestière et déployer plus largement une gestion concertée et multifonctionnelle des peuplements forestiers méditerranéens.

J.P., G.M.

Jonathan PITAUD
Gilles MARTINEZ
Ingénieurs forestiers AgroParisTech
Méls :
jonathan.pitaud@gmail.com
gmartinez@imagreen.fr

Bibliographie

- LADIER (Jean), DREYFUS (Philippe) et REBOUL (Daniel). 2007 — La place du hêtre en région méditerranéenne. — Dans : *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n° 2 « Gestion des hêtraies dans les forêts publiques françaises » — Fontainebleau : ONF, p. 105-111.
- LADIER (Jean), REY (Freddy) et DREYFUS (Philippe). 2012 — *Guide des sylvicultures de montagne Alpes du Sud françaises*. — ONF, IRS-TEA — 301 p.
- LADIER (Jean). 2014 — Comparaison de scénarii sylvicoles dans un taillis de hêtre. Forêt Domaniale de Lure. Compte rendu de mesure après 11 ans. — Avignon : ONF — 6 p.
- LOUSTAU (Denis) (Coord.). 2004 — Séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles. — Rapport Final Projet GICC 2001 "Gestion des impacts du changement climatique" et Convention Gip ECOFOR no. 3/2001, Juin 2004. INRA : Bordeaux-Pierroton, 137 p.
- MARTEL (Simon). 2014a — Méthodologie spécifique pour des projets de gestion forestière améliorée de type conversion de taillis en futaie. — CNPF/FPF — 25 p. [document de travail confidentiel]
- MARTEL (Simon). 2014b — Projets carbone et marchés volontaires, État des lieux. — CNPF/FPF — 3 p.
- PITAUD (Jonathan). 2014 — Construction des bases technico-économiques d'un projet carbone de gestion forestière améliorée. Conversion de taillis de hêtre méditerranéens en futaie. — Rapport de stage de fin d'études : AgroParisTech, Nancy — 64 p.
- VALLET (Patrick), DHOTE (Jean-François), LE MOGUÉDEC (Gilles), RAVART (Michel) et PIGNARD (Gérôme). 2006 — Development of



total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. — *Forest Ecology and Management* (229), p. 98-110

Photo 6 :
Gros hêtre remarquable
au Tréboux.
Photo L.-M. Duhen.

Résumé

L'étude vise à évaluer le service de séquestration de carbone fourni dans le cadre d'un projet dit de gestion forestière améliorée de conversion de taillis de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) en futaie. Les peuplements en question font partie d'un regroupement de propriétaires (association syndicale libre « le Tréboux ») des Alpes-de-Haute-Provence situés sur le versant sud de la montagne de Lure. En parallèle, une réflexion sur la valorisation économique de ce service est menée en ciblant les marchés volontaires du carbone. Après avoir caractérisé le contexte des marchés du carbone, le projet est évalué au regard des critères de qualité exigés par ces derniers dont l'additionnalité et la permanence.

Afin de faire face au manque de connaissances de ces peuplements, il a été choisi d'installer un réseau de 43 placettes permanentes. Outre son rôle de suivi dans le temps et donc de validation de la démarche, les données dendrométriques qui en sont issues ont permis de calibrer empiriquement des modèles de croissance. Nous sommes donc en mesure de proposer une scénarisation à long terme fondée sur les observations de terrain.

Cette scénarisation permet, dans le respect des méthodologies développées par l'Institut pour le développement forestier et la Forêt privée française, de quantifier le bénéfice additionnel lié principalement à la séquestration de carbone en forêt. La conversion du taillis en futaie conduirait à la conservation, à long terme, d'une quantité de biomasse supérieure représentant environ 60 tCO₂/ha. Par ailleurs, la scénarisation des récoltes met en évidence un manque à gagner important pour le propriétaire. Convertir le taillis plutôt que de conserver ce mode de gestion produit un report des recettes et des surcoûts de gestion non compensés par un prix du bois éventuellement plus élevé. Cette moins-value est estimée à 1 100 €/ha pour la meilleure fertilité. Celle-ci pourra servir de base au paiement de ce service écosystémique.

Summary

Silviculture and the economic implications of a project for increasing the size of the carbon sink by the conversion of beech coppice (*Fagus sylvatica* L.)

This study aims to evaluate the service as a carbon sink supplied by stands involved in an improved forest management project converting beech coppice (*Fagus sylvatica* L.) to high standard forest. The stands belong to an owners association (*Association syndicale libre « le Tréboux »*) situated in Alpes-de-Haute-Provence, on the southern side of Lure mountain (South-East France). At the same time, we considered the profitable dimension of this service, focusing on voluntary carbon markets. Then, having identified the characteristics of the carbon markets, we analyse to what extent the project fits in with market demand relative to additionality and permanence.

In order to make up for the lack of knowledge about these stands, we decided to set up a network of 43 permanent plots. In addition to its purpose of long-term monitoring which will enhance the project's credibility, tree measurement data enabled us to develop empirical growth models. As a result, we are able to propose a long-term projection of stand growth based on field observations.

This projection enables us, in accordance with the methodology developed by the Institute for Forest Development and the French organisation of private forest owners, to quantify the additional profit deriving in the main from carbon sequestration in the forest "sink". On a long-term basis, converting coppice to high standard forest should ensure a greater quantity of forest biomass, approximately 60 tCO₂/ha. On the other hand, the harvesting schedule shows that conversion leads to a substantial financial loss for the owners: converting coppice rather than maintaining the practice postpones income and increases management costs, neither of which are likely to be compensated by an eventual increase in the market price of the wood. This loss should be about 1 100 €/ha for the most fertile land. This could be used as the benchmark for setting a payment for this service to the ecosystem.

Resumen

Silvicultura y economía de un proyecto de almacenaje adicional de carbono inducido por la conversión de monte bajo de haya

El estudio evalúa el servicio de la captura de carbono suministrada en el marco del proyecto de gestión forestal mejorando la conversión del monte bajo de haya (*Fagus sylvatica* L.) en monte alto. Las masas en cuestión forman parte de una reagrupación de propietarios (asociación sindical libre "el Tréboux") de los Alpes de la Alta Provenza situados en la vertiente sur del monte Lure. En paralelo, se lleva a cabo una reflexión sobre la valorización económica de este servicio dirigido a los mercados voluntarios de carbono. Después de haber caracterizado el contexto de los mercados de carbono, el proyecto se evaluó en relación a los criterios de calidad exigidos por estos últimos en adicionalidad y permanencia.

Con el fin de compensar la falta de conocimientos de estas masas, se optó por instalar una red de 43 parcelas permanentes. Además de su papel de seguimiento en el tiempo y la validación del proceso, los datos dendrométricos obtenidos han permitido calibrar empíricamente los modelos de crecimiento. Por lo que estamos en condiciones de proponer una escenarización a largo plazo basada en las observaciones de terreno.

Esta escenarización permite, de acuerdo a las metodologías desarrolladas por el Instituto para el desarrollo forestal y el Monte privado francés, cuantificar el beneficio adicional relacionado principalmente a la captura de carbono en el monte. La conversión de monte bajo en monte alto permitiría la conservación, a largo plazo, de una cantidad de biomasa superior a las 60 tCO₂/ha. Además, la escenarización de las cosechas pone en evidencia una pérdida importante de recursos para el propietario. Convertir el monte bajo en lugar de conservar este modo de gestión produce un aplazamiento de los ingresos y los sobre costes de gestión, no compensados por un precio de la madera eventualmente mas elevado. Esta disminución se estima en 1.100 €/ha por una mejor fertilidad. Esta podrá servir de base al pago de este servicio ecosistémico.