

9,50 €

n° 245

Mars-Avril  
2019

# FORÊT

## entreprise

*La revue technique des forestiers*

# Le carbone forestier au cœur de notre société

## NUMÉRO SPÉCIAL

Label Bas-Carbone

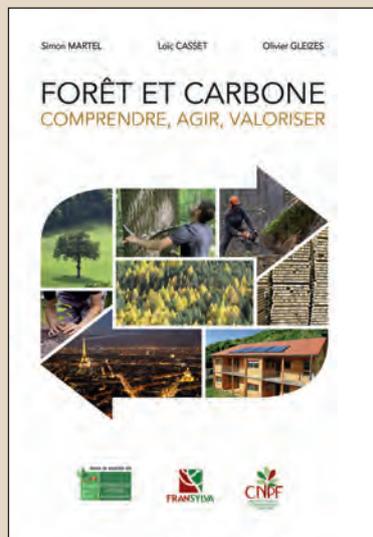
Projets carbone

Actualités scientifiques

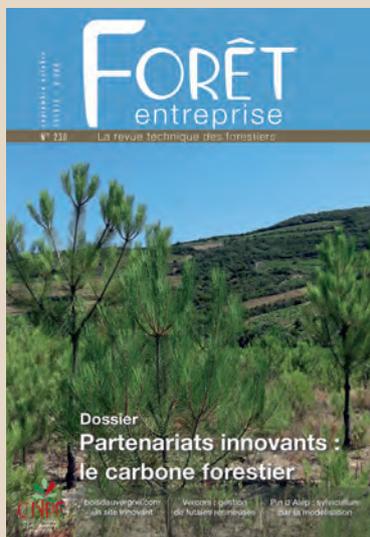
# 2015-2019 : 4 années de publications du CNPF sur le carbone forestier

**T =** à télécharger sur notre site internet à la rubrique carbone : <https://www.cnpf.fr/carbone>

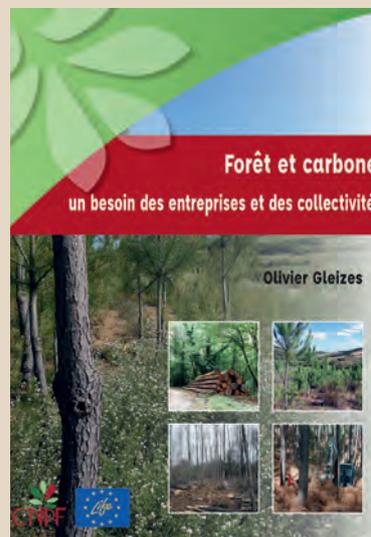
**A =** à acheter dans notre librairie et sur l'application gratuite « Librairie des forestiers »



2015 (A)



2016 (A)



2017 (T)



2017 (T)



2017 (T)



2018 (T)



2018 (T)



2018 (T)



2019 (A)

Institut pour le développement forestier/  
Centre national de la propriété forestière  
47 rue de Chaillot, 75116 Paris  
Tél. : 01 47 20 68 15  
idf-librairie@cnpf.fr

Directeur de la publication  
**Antoine d'Amécourt**

Directrice de la rédaction  
**Claire Hubert**

Rédactrice  
**Nathalie Maréchal**

Conception graphique  
Mise en page  
**Sophie Saint-Jore**

Responsable Édition-Diffusion  
**Samuel Six**

Diffusion - abonnements  
**François Kuczynski**

Publicité  
**Bois International**  
14, rue Jacques Prévert  
Cité de l'avenir - 69700 Givors  
Tél. : 04 78 87 29 41

Impression  
**Imprimatur**  
43 rue Ettore Bugatti  
87280 Limoges  
Tél. : 05 55 04 14 04

Tous droits de reproduction ou de traduction  
réservés pour tous pays,  
sauf autorisation de l'éditeur.

**Périodicité : 6 numéros par an**  
**Abonnement 2019**  
**France : 50 € - étranger : 63 €**  
**édité par le CNPF-IDF**

Commission paritaire des publications et  
agences de presse : n° 1019 B 08072  
ISSN : 0752-5974  
Siret : 18009235500452

Les études présentées dans Forêt-entreprise ne  
donnent que des indications générales. Nous  
attirons l'attention du lecteur sur la nécessité  
d'un avis ou d'une étude émanant d'une per-  
sonne ou d'un organisme compétent avant toute  
application à son cas particulier. En aucun cas le  
CNPF-IDF ne pourrait être tenu responsable des  
conséquences – quelles qu'elles soient – résul-  
tant de l'utilisation des méthodes ou matériels  
préconisés.

Cette publication peut être utilisée dans le cadre  
de la formation permanente.

**Dépôt légal : mars - avril 2019**



## Valorisons notre rôle de sylviculteurs dans l'atténuation du changement climatique

Depuis de nombreuses années, le CNPF se mobilise pour accom-  
pagner les sylviculteurs dans leurs décisions d'adaptation de nos forêts  
au changement climatique. Nous améliorons nos connaissances pour  
comprendre les impacts et agir en adaptant les essences aux stations  
forestières. Nous développons et vulgarisons la gestion durable des  
forêts, grâce à des diagnostics et conseils précis.

Les travaux innovants de l'IDF et des CRPF sur l'atténuation du chan-  
gement climatique aboutissent à un paiement pour service environne-  
mental à l'échelle nationale ; les projets carbone pilotes du CNPF font  
aujourd'hui référence et feront partie des tout premiers projets certifiés  
par le label Bas-Carbone du ministère de la Transition écologique et  
solidaire !

Aujourd'hui, le CNPF déploie toute son expertise pour :

- faire connaître le rôle bénéfique de la forêt dans l'atténuation du  
changement climatique par la séquestration du carbone : la forêt fran-  
çaise capte environ 15 % de nos émissions de gaz à effet de serre  
par an !
- évaluer la quantité de carbone supplémentaire séquestrée dans un  
projet carbone certifié : l'outil Climafor® calcule et compare le carbone  
séquestré par différents itinéraires forestiers ;
- mettre en relation un forestier ou regroupement de forestiers et une  
entreprise responsable pour assurer le financement d'améliorations  
sylvicoles qui ne seraient pas faites autrement.

Nous nous structurons dès maintenant pour répondre aux nom-  
breuses sollicitations sur la France entière ; de plus en plus de nou-  
veaux propriétaires forestiers s'intéressent à l'impact climatique de la  
gestion de leur forêt. La valorisation du carbone forestier constitue un  
des futurs métiers du CNPF.

Le savoir-faire du CNPF sur le carbone forestier vous est exposé  
dans ce numéro spécial et augmenté de Forêt-entreprise : réalisations  
concrètes de projets carbone, présentation du label Bas-Carbone et  
de l'outil Climafor®, restitution d'études récentes scientifiques et points  
de vue de professionnels.

Sachons utiliser à bon escient ces opportunités de partenariat avec la  
société civile, pour le renouvellement ou l'amélioration de nos forêts  
et expliquer notre rôle dans l'atténuation du changement climatique  
à nos concitoyens. Nous participerons ainsi pleinement à la transition  
vers une société bas-carbone.

Anne-Marie BAREAU, vice-présidente du CNPF



S. Gaudin © CNPF

Chaque année, la filière forêt-bois atténue à hauteur de 20 à 25 % les émissions nationales par la séquestration du CO<sub>2</sub> atmosphérique, le stockage dans les produits bois et les effets de substitution ; les forestiers seront ainsi des acteurs majeurs de notre future société bas-carbone.

Numéro suivant N° 246  
Déperissement forestier :  
diagnostic et gestion

**ABONNEZ-VOUS À FORÊT**  
entreprise  
**OU ABONNEZ L'UN DE VOS PROCHES**  
La revue technique des forestiers

Renseignements sur : [www.foretriveefrancaise.com](http://www.foretriveefrancaise.com)  
→ rubrique librairie → les publications de l'IDF  
ou par courriel : [idf-librairie@cnpf.fr](mailto:idf-librairie@cnpf.fr)

**30 % de remise**  
pour les adhérents  
de groupes de développement

**ABONNEMENT NUMÉRIQUE**  
• 1 AN + 2 ANS D'ARCHIVES  
39 €

**ABONNEMENT PAPIER + NUMÉRIQUE • 1 AN**  
60 € • ÉTRANGER : 73 €

**ABONNEMENT PAPIER**  
1 AN • 6 NUMÉROS  
50 € • ÉTRANGER 63 €

Pour tout abonnement numérique, merci de nous communiquer votre adresse email afin d'obtenir votre code d'accès.

Centre national de la propriété forestière -  
Institut pour le développement forestier  
47 rue de Chaillot - 75116 PARIS  
Tél. : 01 47 20 68 39

# Le carbone forestier au cœur de notre société

## NUMÉRO SPÉCIAL

- > + pratique
- > + technique
- > point de vue

- > 4 Le carbone, une chance pour les forestiers  
Olivier Picard
- > 7 Le carbone au CNPF, un savoir-faire au service des forestiers et des entreprises responsables  
Olivier Gleizes
- > 16 Le climat, une préoccupation commune pour les propriétaires et les entreprises  
François Didot
- > 24 Du projet *Vocal* au label Bas-Carbone...  
La certification de projets carbone en forêt française  
Julia Grimault, Olivier Gleizes
- > 30 Quel bilan carbone des pinèdes et des douglasaies sous climat changeant ?  
Simon Martel, David Achat, Christophe Moisy, Lucie Rupil, Denis Loustau



Olivier Gleizes, ingénieur forestier : missions de Développement & Innovation sur les projets carbone du CNPF, la quantification carbone, le référentiel national de certification carbone, les études carbone, en charge des programmes *Vocal*, *Forest CO<sub>2</sub>*, et *Climafor*<sup>®</sup>.



Simon Martel, ingénieur forestier : missions de Recherche & Innovation sur la quantification du carbone, la modélisation des sylvicultures adaptatives, les impacts du changement climatique sur le bilan carbone des forêts, en charge des programmes *Évafora*, *Climafor*<sup>®</sup>, *Forêts-21*.



*Belvédère de Saint-Michel-de-Chabrilhanoux (Ardèche) en châtaignier.*

O. Gleizes © CNPF

- > 38 **Quels outils pour estimer les stocks de carbone du pin maritime des Landes ?**  
Lucie Rupil, Amélie Castro, Jean-Charles Samalens
  
- > 43 **Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ?** Extrait de l'étude Inra-IGN
  
- > 51 **Le CNPF donne la parole à...**  
Arnaud Sergent, Laure Mandaron, Dimitar Nikov et Aude Charrier, Hervé Le Bouler, Jérôme Mousset
  
- > 59 **Gestion, âge, CO<sub>2</sub> : que nous apprennent de récentes publications ?**  
Simon Martel
  
- > 62 **Séquestration de carbone organique dans les sols forestiers : impacts de la gestion sylvicole**  
Laurent Augusto, Laurent Saint-André, Fabrice Bureau, Delphine Derrien, Noémi Pousse, Lauric Cecillon

- > 67 **Les sols des forêts du réseau Renecofor séquestrent le carbone**  
Mathieu Jonard, Manuel Nicolas, David Coomes, Isabelle Caignet, Anaïs Saenger et Quentin Ponette
  
- > 72 **L'effet de substitution : des économies d'émissions de CO<sub>2</sub> en remplaçant les matériaux et énergies dominants par le bois**  
Estelle Vial
  
- > 75 **Climafor<sup>®</sup>, le nouvel outil de quantification du carbone du CNPF**  
Olivier Gleizes, Simon Martel
  
- > 77 **Les enjeux forestiers au cœur des plans climat des collectivités**  
Simon Martel, Olivier Gleizes
  
- > 79 **Compenser c'est bien, mais il faut réduire !**  
Olivier Gleizes, Simon Martel



Couverture de 12 courts de tennis à Grenoble (38). r2k-architectes

La consommation d'un m<sup>3</sup> de produits bois supplémentaires (en substitution d'autres matériaux) évite en moyenne 1,6 tCO<sub>2</sub> d'émissions.

# Le carbone, une chance pour les forestiers

Par Olivier Picard, directeur national R&D et relations européennes, CNPF

La quantification du stockage du carbone en forêt et dans les produits bois représente dix années d'études, de recherche et d'investissement au CNPF avec des avancées franches :

- ▀ une méthode de calcul du carbone avec Climafor® ;
- ▀ une ingénierie de projets carbone ;
- ▀ des itinéraires techniques dédiés ;
- ▀ un réseau de correspondants carbone dans les CRPF ;
- ▀ des publications et des formations.

Au départ, les sylviculteurs cherchaient des moyens pour valoriser les services rendus par la forêt ; le CNPF s'est alors mobilisé sur la valorisation concrète de la séquestration du CO<sub>2</sub> par les forêts.

## Pourquoi le carbone est-il une chance pour les forestiers ?

**Le carbone est un sujet fédérateur pour la filière forêt-bois**, avec les « 5 S » :

- ▀ séquestration du CO<sub>2</sub> par les forêts ;
- ▀ stockage du carbone dans les sols forestiers ;
- ▀ stockage du carbone dans les produits bois transformés ;

- ▀ substitution à des énergies non renouvelables ;
  - ▀ substitution à des matériaux énergivores.
- C'est bien en promouvant la chaîne de la sylviculture jusqu'à l'utilisation finale du bois, que le cercle devient vertueux. Au total, la forêt française capte actuellement 88 MtCO<sub>2</sub>/an. L'utilisation du bois permet d'éviter les émissions de 42 MtCO<sub>2</sub>/an, soit un bilan stockage plus substitution de la filière de 130 MtCO<sub>2</sub>. Ce qui est l'équivalent de 28 % des émissions nationales (457 MtCO<sub>2</sub>e/an). Le secteur forêt-bois est donc un secteur d'activité majeur dans la politique d'atténuation (*schéma p. 6*).

**Le carbone est structurant pour la petite forêt privée** notamment, avec des plans de gestion concertés autour d'itinéraires techniques dédiés au carbone. Les projets carbone constituent un levier pour le développement de la forêt privée. Les sylviculteurs sont motivés pour bénéficier de ces projets, avec un rôle utile et reconnu de lutte contre le changement climatique.

**Le carbone valorise les services forestiers**, auxquels peuvent se greffer d'autres co-bénéfices, comme la biodiversité, l'eau, la

# La forêt dans le bilan carbone en France métropolitaine

## Émissions de gaz à effet de serre

Transport	132
Industrie manufacturière, construction et usage de solvants	95
Agriculture	78
Résidentiel tertiaire	75
Industrie de l'énergie	42
Déchets	19
Autres	16
<b>Total</b>	<b>457</b>

Émissions évitées par effet de substitution par l'utilisation de produits bois « énergie » ou « matériau » **42**

## Séquestration

dans la biomasse forestière	- 70
dans le sol et les bois morts	- 18
<b>Total</b>	<b>- 88</b>

Données en MtCO<sub>2</sub>e (Million de tonnes de dioxyde de carbone équivalent)

Sources : Émissions : Citepa, 2017  
Séquestration et substitution : Inra-IGN, 2017



En savoir<sup>+</sup>

<https://www.cnpf.fr/carbone>

Tonne de carbone/tonne de CO<sub>2</sub>

Unités de mesure du carbone. Deux unités sont utilisées : les économistes et énergéticiens raisonnent en tonnes de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>), les biologistes parlent de tonne de carbone (tC).

1 m<sup>3</sup> de bois ≈ 1 tonne de CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone)

1 tonne de carbone = 3,67 tonnes de CO<sub>2</sub> (3 vols aller-retour Paris – New-York)

lutte contre les inondations ou l'érosion... qui aujourd'hui ne sont ni rémunérés ni valorisés, mais dont on perçoit toute l'utilité avec les récentes catastrophes climatiques.

**Le carbone peut établir des liens entre la société civile, les entreprises et les sylviculteurs.** L'image positive de la forêt est ainsi valorisée. Sa gestion peut permettre d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre (GES); la récolte de bois permet de continuer à stocker le carbone et même d'éviter de nouvelles émissions de carbone fossile. Il peut devenir un vecteur de communication positive, utile dans un contexte de communication parfois négatif sur la sylviculture.

**Le carbone permet de financer le renouvellement des forêts et leur adaptation au changement climatique,** avec de l'argent privé; là où l'argent public se fait de plus en plus rare. Aujourd'hui, après plusieurs projets et de nombreuses collaborations scientifiques, le label Bas-Carbone<sup>1</sup> est validé et publié. Il apporte un cadre juridique et technique aux entreprises, collectivités et forestiers pour construire des projets carbone en forêt se référant à des méthodes agréées et annexées au label. Ce label Bas-Carbone, publié par le gouvernement, s'impose comme la seule référence. Le projet Vocal<sup>2</sup> a permis au CNPF, avec I4CE<sup>3</sup> et le GIP<sup>4</sup> Massif central, de concevoir et valider

les méthodes de calcul du stockage du carbone en forêt et dans les produits forestiers, mais aussi d'expérimenter sur le terrain, en vraie grandeur, l'ingénierie des projets carbone forestiers. Le Groupe La Poste a été et est toujours un partenaire « industriel » du CNPF, qui investit en forêt en sus de la compensation volontaire de ses émissions de GES. De nombreuses entreprises se disent intéressées par la compensation volontaire en forêt, avec les garanties qu'offre le label.

L'enjeu pour les forestiers est de concilier l'adaptation et l'atténuation du changement climatique. La prise en compte du carbone aide à construire une ingénierie sur la base de quelques principes :

- ➡ récolter du bois d'œuvre prolonge longtemps le stockage du carbone dans le bois et évite des émissions de carbone fossile;
- ➡ contractualiser avec des entreprises favorise la gestion et le renouvellement de la forêt, en aidant les sylviculteurs à adapter les essences et la sylviculture aux changements qui s'annoncent, et ainsi accroître le stockage en forêt;
- ➡ mettre au point des sylvicultures qui réduisent les risques et les impacts sur les écosystèmes;
- ➡ développer le concept de sylviculture de précision, avec des outils de diagnostic efficients. ■

<sup>1</sup> Référentiel national de certification de carbone.

<sup>2</sup> Projet *Voluntary Carbon Land Certification* (Vocal) ou certification carbone volontaire.

<sup>3</sup> Institut de l'économie pour le climat.

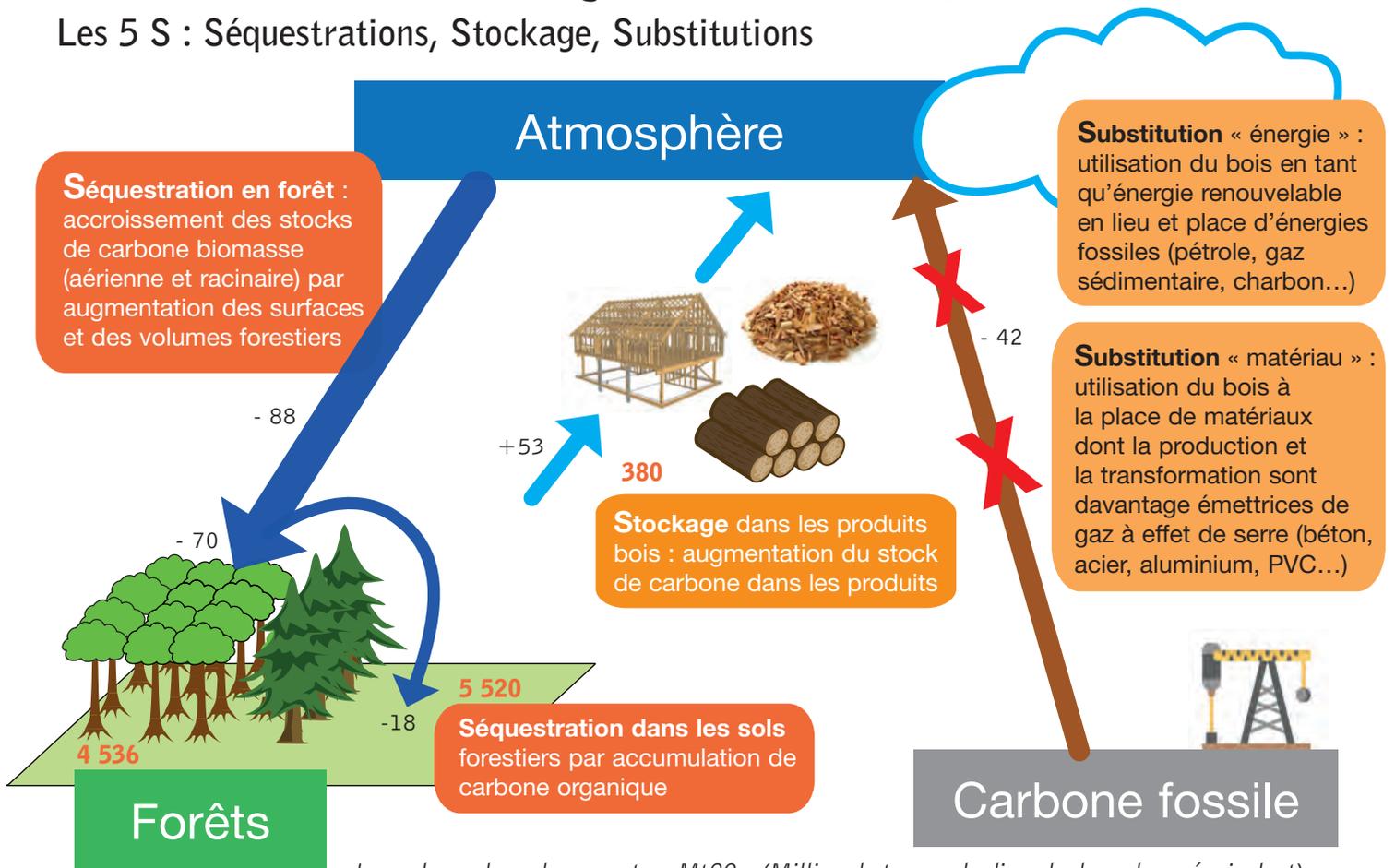
<sup>4</sup> Groupement d'intérêt public pour le développement du Massif central.



<https://youtu.be/x5qFDA6jCpl>

# Rôle de la forêt française dans le cycle du carbone

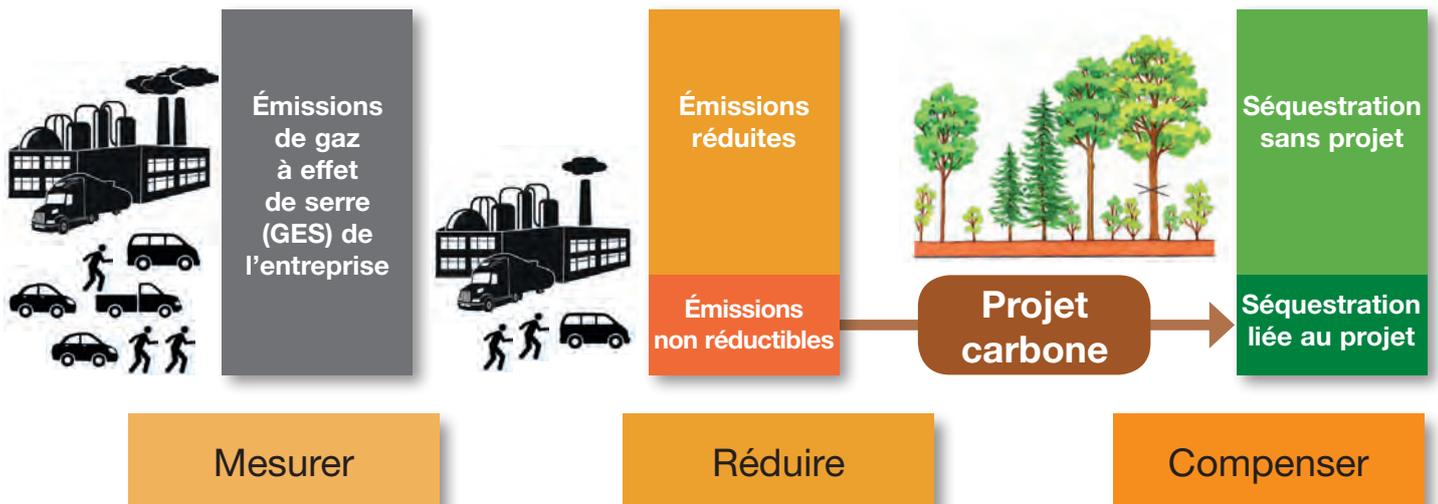
Les 5 S : Séquestrations, Stockage, Substitutions



Les valeurs de carbone sont en MtCO<sub>2</sub>e (Million de tonnes de dioxyde de carbone équivalent) : Valeurs de stocks en orange, valeurs de flux en noir, X émissions évitées.

Source : CNPF-IDF, d'après les données de l'Inra-IGN, 2017.

## La démarche de compensation carbone



La compensation carbone volontaire est un mécanisme de financement par lequel une entreprise, après avoir réduit ces gaz à effet de serre (GES), compense une quantité de GES non réduites par la séquestration d'une quantité équivalente en un autre lieu.

La **responsabilité sociale des entreprises (RSE)** regroupe l'ensemble des pratiques mises en place par les entreprises pour respecter les principes du développement durable : préoccupations sociales, environnementales et économiques.

© CNPF-IDF

# Le carbone au CNPF, un savoir-faire au service des forestiers et des entreprises responsables



par Olivier Gleizes, CNPF-CRPF Occitanie

En savoir<sup>+</sup>



<https://www.cnpf.fr/carbone>

*Le CNPF est pionnier dans la réalisation de projets carbone forestiers. Il déploie son expertise sur trois attentes : faire connaître le rôle des forêts dans l'atténuation du changement climatique, proposer des projets carbone à des entreprises engagées dans une démarche de développement durable ou de responsabilité sociétale des entreprises (RSE) et permettre à des propriétaires de concrétiser des projets forestiers qui n'auraient pas vu le jour sans l'apport de ces financements innovants. Immersion au cœur de plusieurs projets carbone développés par le CNPF dans les territoires avec déjà des premiers enseignements.*

**D**u haut de ses 1912 m d'altitude, le mont Ventoux domine fièrement le Comtat Venaissin. En ce jour de fête nationale du 14 juillet 2016, les cyclistes du Tour de France, partis de Montpellier, grimpent les pentes raides du Géant de Provence, essayant au passage les très fortes bourrasques de mistral. Sous les vivats et les hurras de la foule en liesse, concentrés sur leur effort surhumain, les forçats de la route n'ont probablement pas eu le temps d'admirer la beauté du paysage environnant. Les cédraies emblématiques et autres forêts de pins contribuent pleinement à constituer cet écrin forestier jusqu'aux pierriers sommitaux « lunaires » qui confèrent au mont Chauve sa silhouette si reconnaissable. Pourtant, sur les plateaux de Sault et d'Albion et sur le piémont du mont Ventoux, le CRPF a constaté ces dernières années la multiplication de coupes rases « opportunistes » pour mobiliser de jeunes peuplements bien avant leur âge d'exploitabilité, avec pour objectif la production de bois énergie pour les centrales à biomasse ; cette pratique est particulièrement néfaste vis-à-vis

du carbone dans la mesure où la valorisation des bois n'est pas optimisée, puisque du potentiel bois d'œuvre alimente des chaufferies à biomasse...

## Un contrat carbone pour que la forêt perdure

Le CNPF a donc proposé à Amaury Sport Organisation (A.S.O.) — société organisatrice du Tour de France — de participer à un projet de subvention à des propriétaires qui feraient le choix d'une gestion durable de leur parcelle plutôt que de faire des coupes rases précoces non justifiées et avec un impact sur le paysage. Le CNPF s'est associé au syndicat mixte d'aménagement et d'équipement du mont Ventoux (SMAEMV) dans le cadre de ce partenariat tripartite. Neuf propriétaires ont répondu à cet appel et plus de 50 hectares ont ainsi été mis en gestion (cloisonnements dans des peuplements résineux de pin noir, pin sylvestre, pin maritime et cèdre et balivages dans des taillis de chêne) sur les communes de Revest-du-Bion, Sault, Saint-Christol, Saint-Trinit. C'est le cas de Michel Jourdan qui

[https://youtu.be/naRDyVeyYCE?list=PLluS62exqjS5C5A7\\_tucFRg34nc60JbeV](https://youtu.be/naRDyVeyYCE?list=PLluS62exqjS5C5A7_tucFRg34nc60JbeV)



*L'engagement de la société organisant le Tour de France a aidé l'ouverture de cloisonnements et la réalisation d'une éclaircie sélective dans le peuplement de pin laricio de Corse de M. Jourdan. ►*



Olivier Gleizes © CNPF



Olivier Gleizes © CNPF

▲ *Jean-Michel Préault à côté d'un aulne de Corse, dans une des parcelles du projet carbone. La diversification feuillue et l'adaptation des forêts cévenoles au changement climatique a été l'une des préoccupations du CNPF, des propriétaires et du Groupe La Poste.*

justifie son engagement dans le projet par une conception différente de la gestion actuellement pratiquée : « La forêt ne m'appartient pas ; j'en suis le dépositaire. Ce que je voudrais, c'est que la forêt perdure et qu'elle puisse rapporter sans qu'on ait besoin de la raser totalement ; c'est pour cela qu'ils font des coupes rases anticipées : c'est pour que ça leur rapporte, parce qu'ils ont une mauvaise passe, alors ils décident de couper 10 hectares pour faire du bois et pour faire de l'argent. »

Pour Michel Jourdan, l'aide d'A.S.O. est un véritable coup de pouce apporté en faveur de la mise en gestion de ces forêts surcapitalisées, faute de gestion dans le passé. « Ça ne me fait pas gagner de l'argent, ajoute-t-il, mais je vais pouvoir valoriser ma forêt comme j'en avais envie. C'est vrai que j'ai des beaux cèdres.

Psychologiquement faire du bois d'œuvre, c'est mieux que faire du bois de chauffage et on sait que ça va stocker le carbone aussi. »

Après ce périple dans la Provence de Jean Giono et d'Elzéard Bouffier – *L'homme qui plantait des arbres* –, nous quittons les hauteurs du plateau de Sault et atteignons la plaine. À partir de Carpentras, notre route serpente entre les oliveraies et les vignobles renommés du Comtat Venaissin (Beaumes-de-Venise, Vacqueyras, Gigondas, Rasteau, Cairanne) avec un panorama unique sur les Dentelles de Montmirail dominées par le mont Ventoux en arrière-plan. En franchissant le Rhône, nous tournons désormais définitivement le dos au Vaucluse et remontons les gorges de l'Ardèche et sa très célèbre grotte Chauvet ; nous faisons un arrêt aux Vans, à la frontière du Gard.



Olivier Gleizes © CNPF

## Regroupement de propriétaires forestiers dynamisant

Introduit initialement pour son bois afin de constituer les boiseries des mines de charbon — aujourd’hui fermées — des Cévennes gardoises à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le pin maritime recouvre aujourd’hui une grande partie du paysage forestier ; il a su tirer parti de sa dynamique de croissance dans le jeune âge pour étendre son aire de répartition. Les habitants de ces villages cévenols montagnards ont même tendance à regretter l’omniprésence du pin maritime, comme s’il eût colonisé tout le paysage — constat parfois mâtiné d’une réelle aversion envers cette essence. Le pin de Salzmann, espèce endémique cantonnée à quelques peuplements résiduels, doit, quant à lui, faire profil bas ; un accroissement plus faible, un risque d’hybridation avec les pins noirs (pin laricio de Corse) et la concurrence du pin maritime semblent réduire à néant toute cohabitation sur ce territoire cévenol. Ce combat semblait perdu d’avance, notamment après l’incendie du 2 septembre 2014 à Banne qui faisait partir en fumée quelque 80 hectares d’un jeune peuplement de pin de Salzmann... bientôt suivi par un deuxième incendie le 21 juillet 2015 sur la commune voisine, à Malbosc détruisant un massif de pin maritime ! Mais c’était sans compter sur le dynamisme et le volontarisme des forestiers et des acteurs locaux (Office national des forêts, Centres régional de la propriété forestière, communauté de communes du Pays des Vans en Cévennes...) et d’un jeune retraité et proprié-

taire forestier à la tête d’une association de regroupement des propriétaires du territoire : l’association syndicale libre de gestion forestière (ASLGF) des Cévennes ardéchoises.

Alors que le soleil rayonne ardemment sur les petites parcelles des Cévennes ardéchoises en cette journée de juillet 2018 et que les cigales accrochées aux pins maritimes chantent fort, nous retrouvons Jean-Michel Préault, président de l’ASLGF, dans une parcelle où une expérience inédite d’enrichissement en pin de Salzmann dans des peuplements diffus de pin maritime a été réalisée (les deux pins ne présentant aucun risque d’hybridation) : « On se trouve en face d’un pin de Salzmann qui a été planté il y a 2 ans de cela ; ce pin est tout à fait emblématique et endémique du sud Ardèche ; emblématique au sens où c’est une espèce ancienne qui date de la dernière glaciation ; emblématique par sa valeur de patrimoine ; emblématique aussi par sa valeur d’avenir ; c’est un arbre qui a su s’adapter à différents changements. On pense qu’il pourra aussi s’adapter très bien aux réchauffements climatiques annoncés. Il constitue une alternative au pin maritime qui est très présent. »

Qu’ils soient privés ou publics, les forestiers travaillent ici main dans la main ; c’est pourquoi le CNPF a proposé au financement du Groupe La Poste, ce projet multi-partenarial associant forêts privée et publique. C’est un point positif sur lequel Jean-Michel Préault ne manque pas de réagir : « C’est un partenariat

▲ Une expérimentation inédite d’enrichissement en feuillus méditerranéens sous couvert diffus de pin maritime est réalisée. La même expérimentation avec le pin de Salzmann est effectuée. L’objectif est d’avoir à terme des peuplements mélangés.



▲ Les aulnes de Corse introduits dans les Cévennes ardéchoises présentent une très bonne croissance après seulement deux saisons de végétation.



[https://youtu.be/sT78KdC-BPs?list=PLJuS62exqjS5C5A7\\_tucFRg34nc60JbeV](https://youtu.be/sT78KdC-BPs?list=PLJuS62exqjS5C5A7_tucFRg34nc60JbeV)

« Sans le contrat CLIMAT+ Territoires avec La Poste, ces petites parcelles regroupées dans l'ASLGF n'auraient pas pu être reboisées » Jean-Pierre Compain, président de l'ASLGF Terre de Peyre. ►



Olivier Gleizes © CNPF

aussi avec les forêts communales de Banne, Malbosc et Saint-Paul-le-Jeune, où on a pu faire du cofinancement de reboisement et d'enrichissement en aidant ces plants. Ils ont très bien repris comme les feuillus d'ailleurs, malgré l'été très sec de 2017. »

### Une diversification d'essences grâce au contrat carbone

En effet, l'été 2017 aurait pu être fatal à ces milliers de plants feuillus introduits dans les parcelles incendiées des propriétaires privés de l'association cévenole. Mais à notre grande satisfaction, nous découvrons un taux de reprise exceptionnel et des croissances en hauteur remarquables pour ces terrains pauvres et ce climat marqué par des influences méditerranéennes. « Cette parcelle appartient à l'un de nos propriétaires, indique Jean-Michel. On y a effectué des reboisements avec différents feuillus méditerranéens avec l'appui de

La Poste. On a choisi différents feuillus qui étaient de type méditerranéen et qui allaient résister à un climat aux étés très chauds et très secs ici, comme l'alisier torminal, l'aulne de Corse, le cormier, le micocoulier entre autres... une petite dizaine de feuillus divers et ceci dans le but de faire un peu un contraste avec le pin maritime qui est l'espèce dominante dans cette vallée ; on tente de créer une sorte de biodiversité en apportant des feuillus plus résistants à l'incendie que le pin maritime et peut-être — on l'espère en tout cas — plus résistants au niveau risque de changement climatique. » Et Jean-Michel a raison d'être optimiste : alors que l'été 2017 a été marqué par une absence de précipitations, les jeunes feuillus introduits au printemps 2017 ont malgré tout bien poussé : les aulnes de Corse, les cormiers et les érables planes dépassent déjà les gaines de protection contre le gibier !

**Un projet carbone du CNPF, c'est avant tout un accompagnement des propriétaires par ses techniciens et un suivi sur le moyen terme, à tout le moins, du projet ;** ces plantations innovantes associant des mélanges feuillus (aulne de Corse, chêne rouge d'Amérique, cormier, alisier torminal, érable plane, micocoulier, tilleul à petites feuilles, frêne à fleurs, érable à feuilles d'obier, chêne pubescent) feront l'objet d'inventaires et de suivis par le CNPF.



Olivier Gleizes © CNPF

◀ Un contrat carbone pour reboiser en douglas, protégés contre le gibier par deux tuteurs.

« Après une tempête, seul un financement externe permet de replanter ces parcelles. » Michel Fanget dans une des parcelles reboisées. ▼



Olivier Gleizes © CNPF

## Un partenariat carbone gagnant – gagnant entre les entreprises et les forestiers

Nous poursuivons notre périple en prenant de l'altitude dans les Cévennes lozériennes que nous laissons pour nous diriger désormais aux confins de la Margeride vers la nouvelle commune de Peyre-en-Aubrac (anciennement Aumont-Aubrac). Sur ce territoire, des forestiers regroupés en association (ASLGF) ont souhaité participer à un projet carbone avec le Groupe La Poste pour reconstruire notamment des parcelles détruites par les tempêtes et les neiges lourdes. Malgré une présence importante du gibier, les reboisements (douglas, mélèze, épicéa, feuillus divers) sont dans l'ensemble réussis. Certains propriétaires ont tout de même dû protéger les jeunes plants résineux appétants par la pose de deux tuteurs. Jean-Pierre Compain, président de l'ASLGF Terre de Peyre et directeur de l'école forestière de Javols, est intimement convaincu de l'importance de ce type de partenariat entre forestiers et entreprises engagées, soulignant l'effet incitatif pour de petits propriétaires et l'importance de la surface de travaux réalisés : « Le contrat CLIMAT+ Territoires avec La Poste a permis de reboiser un certain nombre de parcelles, au niveau de l'association — des parcelles de petites surfaces qui sans ce type de projet n'auraient jamais pu être reboisées. Au total, entre les

boisements, les reboisements et l'amélioration des peuplements, on a pu travailler environ 36 ha ».

## Ensemble pour replanter

En remontant la « Méridienne » (autoroute A75), nous accédons au grand territoire des Combrailles dans le Puy-de-Dôme, au nord-ouest de Clermont-Ferrand où des travaux de remise en production de peuplements détruits par la tempête et non valorisables ont fait l'objet de reboisements avec des essences adaptées à ces stations productives. Michel Fanget, jeune retraité et propriétaire de quelques parcelles, nous accueille et nous explique la genèse du projet : « Cette parcelle était plantée en épicéa, puis complètement ravagée en 1999 lors de la tempête de décembre et l'ancien propriétaire avait laissé la parcelle dans un état que je qualifierais de "post-tempête". J'ai racheté la parcelle en 2015, mais il y avait un travail énorme à faire. La seule alternative de sylviculture qui pouvait exister était la replantation. La parcelle fait 4 hectares, le coût d'une plantation est relativement élevé. J'ai eu la chance de pouvoir intégrer le projet CLIMAT+ Territoires à ce moment-là, qui était piloté par le CNPF. Nous avons créé une association syndicale libre, qui nous a permis de nous grouper et de mener un projet de replantation. Grâce au CNPF et à cette ASL, nous avons pu le faire et je tiens à souligner le rôle de La Poste, qui nous a apporté un financement tout



[https://youtu.be/v73pxTPECEQ?list=PLluS62exqjS5C5A7\\_tucFRg34nc60JbeV](https://youtu.be/v73pxTPECEQ?list=PLluS62exqjS5C5A7_tucFRg34nc60JbeV)

L'appui de La Poste a été primordial pour engager le balivage de ce taillis de châtaignier en Haute-Vienne. Cette parcelle devient une vitrine régionale de production de bois d'œuvre de châtaignier ▶



Olivier Gleizes © CNPF



Olivier Gleizes © CNPF

▲ **Croissance juvénile époustouflante du mélèze d'Europe ! Les visites des parcelles reboisées avec l'aide de La Poste sont motivantes et gratifiantes pour les partenaires du contrat carbone.**

à fait intéressant ». 11 hectares de reboisement en douglas et épicéa pour 6 propriétaires sont ainsi réalisés en 2016. Place maintenant aux dégagements pour assurer un avenir au jeune peuplement. Les propriétaires, très concernés par le projet, assurent eux-mêmes ces travaux de dégagement des plants face à la concurrence du genêt, de la ronce et de la fougère. Michel Fanget s'est même amusé à calculer le taux de reprise de ses plants ; il estime ainsi que 98 % de ses douglas sont vivants trois ans après la plantation ; de quoi être serein pour l'avenir !

Cap sur l'ouest dans le Périgord-Limousin, territoire verdoyant. Surplombant un des innombrables étangs du territoire, le château de Montbrun, construit à la fin du XII<sup>e</sup> siècle à Dournazac, est un vestige de l'histoire de France. À proximité du Grand Puyconnieux, un des sommets des monts de Châlus, le château et son spectaculaire donjon quadrangulaire sont aujourd'hui un des sites phares touristiques de Haute-Vienne, et également la porte d'entrée à un projet collaboratif sur les taillis de châtaignier.

## Améliorer la sylviculture du châtaignier

Le châtaignier tient une place importante sur ce territoire qui a su préserver une filière de transformation très dynamique de cette essence avec des scieries et des entreprises artisanales (vanneurs, feuillardiers...). On y trouve d'ailleurs de très bonnes stations sur lesquelles les taillis peuvent être convertis en futaie sur souche afin de stocker davantage de carbone et éviter un stade précoce de coupe à blanc du peuplement (aux alentours de 20 ans). Cette méthode présente l'avantage de **produire rapidement beaucoup de bois d'œuvre, qui pourra être valorisé dans les charpentes, les lambris, les parquets... et prolonger ainsi le stockage du carbone dans la construction bois**. Toutefois, il faut constater que c'est exclusivement la gestion en taillis simple qui se pratique sur ce territoire ; le CRPF a donc souhaité regrouper les propriétaires les plus motivés à engager des travaux de balivage sur les meilleures stations.

Quels qu'aient été leurs efforts, les acteurs locaux ont peiné à trouver des entrepreneurs de travaux forestiers (ETF) qui ont accepté de réaliser des balivages plutôt que des coupes à blanc et ce, alors même qu'il existe sur ce territoire une filière du châtaignier. Dans ce contexte, l'aide de La Poste a été primordiale pour prendre en charge la part d'autofinancement des propriétaires et les motiver à s'engager dans ce type de chantiers. René Léonard, propriétaire dans l'ASLGF Forêt Agir Limousin, s'arrête sur ce point bloquant : « Les entreprises de travaux forestiers avaient l'habitude de faire des coupes rases (des coupes à blanc) et là, on demandait au contraire de faire une sélection, une amélioration de l'existant, mais sans faire une coupe totale et donc



*L'hôpital de Nontron a atténué son empreinte carbone en finançant un arboretum pour tester l'adaptation de nouvelles essences au changement climatique, avec la participation des écoliers du village. ►*



il y a des contraintes supplémentaires pour les ETF et c'est là où justement l'appui financier de La Poste a permis de rémunérer un petit peu mieux les ETF de façon à ce que les chantiers puissent se faire. » La dizaine d'hectares de taillis balivés constitue aujourd'hui une vitrine qui servira à convaincre d'autres propriétaires à s'engager sur la voie d'une gestion du châtaignier sur le long terme.

D'autres propriétaires ont réalisé des boisements, notamment en mélèze d'Europe, essence qui donne des résultats spectaculaires dans le jeune âge. Après seulement trois saisons de végétation, les mélèzes font déjà 3 m de haut en moyenne !

Le président de l'ASLGF Forêt Agir Limousin, Lionel Moreau, considère ce projet carbone comme une démarche citoyenne. « Cette démarche sur laquelle nous nous sommes retrouvés avec nos deux partenaires — le CNPF et La Poste — c'est une démarche citoyenne à la fois de valorisation du patrimoine forestier dont nous avons hérité ou que certains de nos adhérents ont acquis et à la fois d'action sur le changement climatique actuel par une meilleure séquestration du carbone dans nos forêts. C'est également la prise en compte des caractéristiques socio-économiques de notre territoire de façon à pouvoir intervenir dans le présent, mais aussi pour l'avenir pour avoir une meilleure production forestière, pour améliorer la biodiversité et puis — pourquoi pas ? — pour assurer une meilleure régénération de nos forêts. Ce partenariat avec La Poste est donc lié à un certain nombre de principes communs sur lesquels nous nous sommes véritablement retrouvés et sur lesquels nous avons pu construire ensemble une démarche : à la fois dans le cofinancement de ces actions, qui n'auraient pas pu se réaliser autrement

qu'avec ce soutien, mais aussi en se retrouvant sur une façon beaucoup plus globale de vivre au quotidien notre action et d'avoir un impact sur le changement climatique et ses effets sur notre situation présente sur le court, le moyen et le long terme. Nous espérons véritablement que cette collaboration pourra continuer dans les années à venir ; en tout cas notre association et nos adhérents sont mobilisés et nous sommes tout à fait prêts à continuer à travailler dans ce même état d'esprit et sur ces principes avec La Poste et le CNPF ». De nombreuses visites ont lieu sur le territoire ; gageons que ces chantiers inciteront à augmenter la surface annuelle de balivage dans le secteur !

### Tester de nouvelles essences

Notre route nous mène maintenant vers le sud, à quelques kilomètres seulement du projet haut-viennois, dans le Périgord vert où nous allons à la rencontre des écoliers de Saint-Martial-de-Valette dans le cadre de l'opération « La forêt s'invite à l'école » ; ces derniers participent au boisement d'Alain Lapeyre, cofinancé par le centre hospitalier de Nontron. Astrid Soula, la responsable développement durable de l'hôpital, explique que le centre hospitalier est engagé depuis 2010 dans une politique de développement durable et lie cette action à une volonté de limiter l'impact de la consommation annuelle de papier de l'établissement. Elle s'est rapprochée du CNPF pour atténuer son empreinte carbone par du stockage de carbone en forêt. Elle insiste sur la portée expérimentale de ce petit arboretum réalisé avec 250 plants de chêne rouge d'Amérique, chêne sessile, chêne pédonculé, pin laricio de Corse et cèdre de l'Atlas, car « cette plantation permettra de tester l'adaptation de ces essences dans un contexte de changement climatique ».

Tableau 1 - Exemple d'estimation qualitative des co-bénéfices

	Lozère	Puy-de-Dôme	Haute-Vienne	Ardèche	Dordogne
Séquestration du CO <sub>2</sub>	✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓	✓	✓✓✓✓
Enrichissement de la biodiversité/Intégrité environnementale/ Beauté des paysages	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓
Caractère innovant et démonstratif sur le territoire	✓✓	✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓
Participation à l'emploi local	✓✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓✓
Adaptation au changement climatique	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓

En quittant le Périgord vert dans le nord de la Dordogne, nous nous arrêtons maintenant dans le Périgord blanc entre Périgueux et Bergerac vers le sud du département où l'avenir de l'essence emblématique du territoire est malheureusement bien plus préoccupant. Le châtaignier y subit des dépérissements intenses sur d'importantes surfaces. La faute aux nouvelles conditions climatiques (étés plus secs)?, à l'épuisement des souches de taillis? Difficile de donner une réponse. Toujours est-il que pour le groupement forestier du Vernois, sans l'aide de La Poste, la transformation de ces jeunes taillis moribonds n'aurait pas pu se faire, tant la surface impactée était importante (presque 15 hectares). Le reboisement en pin maritime devrait permettre d'assurer une vocation de production adaptée à la station tandis que la réalisation d'un arboretum associant la bagatelle de vingt essences permettra d'apporter une visée expérimentale sur les essences potentiellement adaptées au changement climatique dans ce secteur de la Dordogne.

Signature d'un projet carbone avec TDV Industries à Laval (Mayenne). ▼



## Des co-bénéfices au-delà du financement carbone

Le carbone est-il pour autant l'unique motivation des entreprises participant à un projet en forêt ?

Quelque difficile qu'ait été leur estimation par le CNPF, **les co-bénéfices demeurent primordiaux, car ils permettent à l'entreprise de communiquer sur le projet outre son bénéfice carbone dans l'atténuation du changement climatique.** La préservation d'une mare forestière, la création d'un arboretum (Dordogne), la création de bordures feuillues paysagères (Puy-de-Dôme), la sauvegarde de la ressource génétique locale du pin de Salzmann (Ardèche), le recours à l'emploi local (Haute-Vienne) ou encore l'intégration du paysage en vue de sa préservation (Lozère ou Vaucluse) sont autant de co-bénéfices environnementaux, sociaux, économiques issus des projets du CNPF. Bien qu'il s'avérât difficile de les quantifier, le CNPF en a réalisé une estimation qualitative (tableau 1). Les propriétaires comprennent généralement bien l'importance de ces co-bénéfices, comme l'explique Michel Fanget (ASLGF Combrailles) : « Dans le cadre du projet CLIMAT+ Territoires, une parcelle de 5600 m<sup>2</sup> a été plantée uniquement avec des essences feuillues. Deux types d'essences feuillues : d'une part le chêne rouge à 80 % et 20 % de châtaignier. Comme on se trouve quand même en bordure de route et en bordure de pré, il y a tout un aspect biodiversité et paysager qui a été pris en compte ».

Le voyage s'achève en Dordogne, il aurait pu se prolonger dans d'autres départements. De nouveaux projets carbone ont en effet vu le jour (tableau 2).

Tableau 2 - Récapitulatif et caractéristiques des projets carbone réalisés par le CNPF.

La dernière colonne correspond au financement apporté par l'entreprise et l'autofinancement supporté par le propriétaire.

Entreprise	Départements	Année	Surface de travaux (ha)	Nombre de propriétaires	Montant estimatif du projet carbone
 Neuffize OBC	Drôme & Isère	2011-2013	40	19	64 000 €
 LE GROUPE LA POSTE	Lozère	2015-2019	43,7	22	100 369 €
 LE GROUPE LA POSTE	Puy-de-Dôme	2015-2016	10,9	6	30 678 €
 LE GROUPE LA POSTE	Haute-Vienne	2015-2019	18	14	47 932 €
 LE GROUPE LA POSTE	Ardèche	2015-2020	25	12	99 389 €
 LE GROUPE LA POSTE	Dordogne	2016-2019	18	4	64 000 €
 LE GROUPE LA POSTE	Vaucluse Alpes-de-Haute-Provence	2017-2018	52,8	9	-
 COTEAUX DU LYONNAIS	Dordogne	2018	0,2	1	1 463 €
 LE GROUPE LA POSTE	Rhône	2018-2019	2	1	10 000 €
 LE GROUPE LA POSTE	Aveyron (nord)	2018-2020	7,1	1	52 577 €
 LE GROUPE LA POSTE	Aveyron (sud)	2018-2019	2,1	1	3 528 €
 TDV	Mayenne	2018-2019	2,5	1	5 981 €

NB : Les projets carbone susmentionnés sont réalisés par le CNPF dans le cadre des programmes européens FEDER Vocal et Life Forest CO<sub>2</sub>.

En Mayenne, l'entreprise lavalloise du textile engagée au niveau RSE, TDV Industries, a financé un boisement en cèdre de l'Atlas à Montigné-le-Brillant.

Engagé depuis quatre années dans des projets avec le CNPF, le Groupe La Poste a poursuivi son engagement : la Branche Services-Courrier-Colis a apporté son appui à un propriétaire adhérent de l'ASLGF des Monts et Coteaux du Lyonnais tandis que le Réseau La Poste s'est engagé à son tour sur deux projets dans l'Aveyron.

De nombreux autres projets vont éclore en 2019 et dans le futur. Le label Bas-Carbone va apporter un cadre réglementaire national de certification des réductions d'émissions de CO<sub>2</sub>. Il pourrait être l'accélérateur tant attendu pour la dynamisation de la gestion de la forêt privée en permettant aux propriétaires de capter de nouveaux financements provenant d'entreprises engagées.

En seulement quelques années, grâce à ces nouveaux partenariats carbone, **le CNPF aura permis la réalisation de plus de 500 000 € de travaux créant de l'économie locale** (en apportant des chantiers aux entreprises de la filière forêt-bois de chaque territoire) pour une surface de 250 ha et aura levé presque 400 000 € de fonds privés ! Et cela ne fait que commencer... ■



### À retenir

Le CNPF développe depuis environ cinq ans de nombreux projets carbone : des entreprises engagées financent des travaux forestiers, qui n'auraient pas pu être réalisés. Pour chaque projet, le CNPF estime le gain en séquestration de CO<sub>2</sub> apporté par le nouvel itinéraire sylvicole financé. Le nouveau label Bas-Carbone, agréé par le ministère de la Transition écologique et solidaire, certifie la qualité de ces projets.

**MOTS-CLÉS :** projet carbone, La Poste, changement climatique, partenariat, co-bénéfice.

## En savoir +

Sur les projets carbone du CNPF : cliquer sur la rubrique « Nos partenariats carbone » sur le site du CNPF pour :

➔ accéder à la carte interactive des projets potentiels

➔ consulter la description des projets

contractualisés : <https://www.cnpf.fr/n/nos-partenariats-carbone/n:2493>

➔ télécharger la brochure : La forêt au service du climat : La Poste et le CNPF s'engagent pour nos territoires.



# Le climat, une préoccupation commune pour des propriétaires et des entreprises

 20 min

Par François Didot, géographe retraité du CNPF-CRPF Limousin

*Les propriétaires forestiers accepteraient-ils des engagements en contrepartie de la valorisation financière de services écosystémiques rendus par la forêt ? Des financeurs potentiels accepteraient-ils de compenser leurs émissions de CO<sub>2</sub> par des projets en forêt ? Le programme Vocal<sup>1</sup> apporte quelques réponses.*

Figure 1 - Situation du Massif central (source DATAR)

*La forêt du Massif central, issue de l'exode rural, est à dominante privée.*



Le CNPF étudie le risque en forêt ; il est indissociable de la durée d'obtention d'un arbre adulte. Sujet certes technique, mais pas seulement. Un échantillon représentatif de propriétaires forestiers en Limousin, dans le Tarn et l'Aveyron (programme Forrisk<sup>2</sup>) a été sondé en 2014. Leurs réponses ont montré la grande difficulté pour les intéresser en l'absence de solutions opérationnelles autres que « je coupe mes arbres » ou « j'attends ». Les analyses résultant des enquêtes Résosop<sup>3</sup> de 2009, 2011 et 2015 montrent des attitudes s'écartant des idées reçues : parmi les attentes des propriétaires, il y a bien la production de bois, et aussi des attentes environnementales, les deux allant souvent de pair. La valorisation financière des services écosystémiques rendus par la forêt semble être une contrepartie d'une reconnaissance de ceux-ci, comme l'indiquent les discussions sur l'évolution des critères et indicateurs de gestion durable proposés par l'Union européenne.

## L'enquête Vocal

Réalisée sur le territoire du Massif central (figure 1), par le Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (Credoc), la méthodologie suivie est celle éprouvée des enquêtes Résosop (représentativité statistique).

## Une conscience de la contribution de la forêt aux services environnementaux

Si l'on proposait des projets finançant des services environnementaux, indépendamment de leur caractère, les propriétaires auraient l'im-

<sup>1</sup> *Projet Voluntary carbon land certification – Certification carbone volontaire*

<sup>2</sup> *Dossier Forêts aux multiples visages, Forêt-entreprise n° 222*

<sup>3</sup> *Resosop : réseau de connaissance des forestiers privés, coordonné par le CNPF, France Bois Forêt et Fransylva*

## Des résultats confirmés par les enquêtes précédentes

La carte d'identité des propriétaires, comme l'âge, le sexe, la surface possédée ou le niveau de formation est cohérente avec celles des autres enquêtes réalisées sur ce territoire<sup>1</sup>. Les attentes des propriétaires envers leurs bois sont également du même ordre de grandeur.

Cependant, pour la moitié d'entre eux, leur forêt est un espace de liberté et de loisirs : c'est un élément à prendre en compte pour la définition d'une politique concernant la forêt.

Le consentement à couper du bois est élevé, allant de 78 % pour les propriétés de 1 à 4 hectares, et montant à 97 % pour les propriétés de plus de 100 hectares ! Le bois de chauffage autoconsommé concerne les trois quarts des propriétaires de 4 à 25 hectares. Il reste important pour ceux possédant des surfaces plus élevées. Le bois de chauffage commercialisé est maintenant une activité relativement importante, même si elle est inférieure à la vente de bois vers la filière.

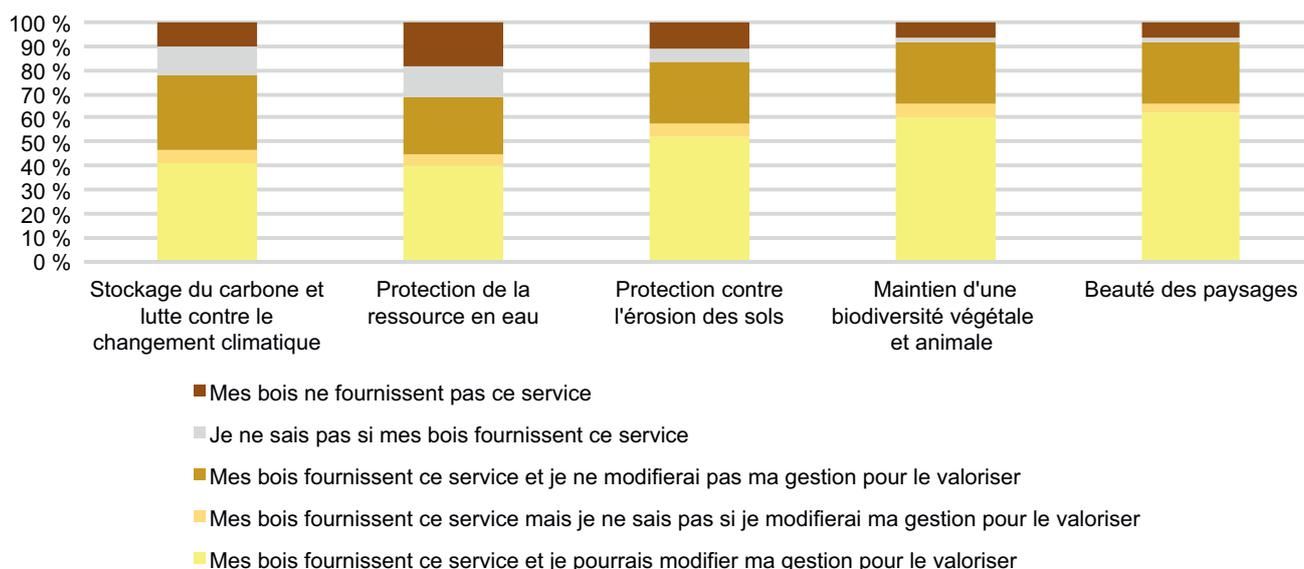
Ce n'est donc pas une situation de refus de couper du bois.

<sup>1</sup> Didot F., Picard O., 2015. *Forêts aux multiples visages*. Dossier, Forêt-entreprise n° 222, pp. 18-53.

Didot F., Thomas J., Picard O., Toppan É., 2017. *Qui sont les propriétaires forestiers ?* Dossier, Forêt-entreprise n° 233, pp. 16-51.

Figure 2 - Réponses aux questions : « Vos bois participent-ils à fournir des services environnementaux ? » et « Acceptez-vous de modifier la gestion de vos bois moyennant une aide financière ? »

(Données : enquête Vocal 2016 – Analyse Credoc – F. Didot CNPF 2016)



Données : enquête Vocal 2016 – Analyse Credoc – F. Didot CNPF 2016

pression de participer à l'intérêt général, quelle que soit la surface de leur propriété.

Il y a un **net effet de génération** : les moins de 55 ans y sont les plus sensibles. Les cadres supérieurs et les professions intermédiaires sont les plus sensibles à la participation de leur forêt à différents services environnementaux ; ceux qui ont un niveau de formation en dessous du CAP<sup>4</sup> ne savent pas. Comment procéder pour faire adhérer ceux qui ne savent pas ? Ce message peut être transmis lors de contacts individuels.

L'analyse des liens entre le consentement à couper ou à commercialiser et les services écosystémiques semble montrer que leur développement n'est pas antinomique de la production de bois et qu'ils peuvent partici-

per à l'entretien d'une partie de la forêt avec la production de bois pour la filière comme effet secondaire.

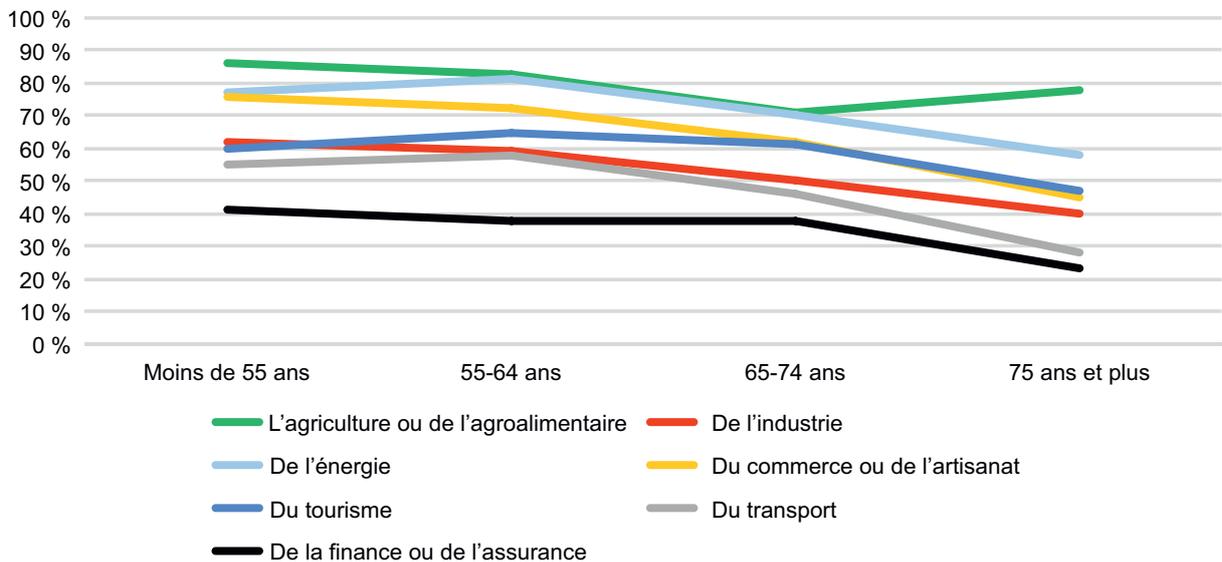
Il y a un effet de génération — les moins de 65 ans étant plus disposés à modifier ladite gestion — et un lien très net entre les différentes réponses et le niveau de formation.

En regardant les différents services écosystémiques potentiels, la proportion de ceux qui pensent que leur forêt ne participe pas à la fourniture de services environnementaux est minoritaire, entre 10 et 30 %. La proportion de ceux qui ne veulent pas modifier leur gestion tourne autour de 30 %. 40 % des propriétaires sont disposés à modifier leur gestion dans le cadre d'une prise en compte du stockage du carbone.

<sup>4</sup> Certificat d'aptitude professionnelle

Figure 3 - Réponses des propriétaires forestiers suivant la classe d'âge à la question « Si une entreprise finançait des travaux dans vos bois, accepteriez-vous qu'elle appartienne au secteur de... »

(Données : enquête Vocal 2016 – Analyse Credoc – F. Didotot CNPF 2016)



(Données : enquête Vocal 2016 – Analyse Credoc – F. Didotot CNPF 2016)

Cela confirme un **marché potentiel important pour la valorisation de ces services.**

Ces résultats font ressortir une population sensible aux services écosystémiques et qui ne s'insère pas forcément dans les circuits commerciaux traditionnels.

### Qu'en est-il pour le carbone ?

La mise en place d'une aide au stockage du carbone est-elle susceptible de faire évoluer les comportements sylvicoles pour ceux qui n'ont pas envisagé de travaux de plantation, de régénération naturelle et d'éclaircie ?

L'aide, qui aurait l'effet le plus important, serait celle correspondant aux travaux de régénération naturelle (23 %), suivis de l'éclaircie (19 %) et, en dernier, de la plantation (15 %). Cela montre la perception de

**Les propriétaires qui possèdent les plus grandes surfaces, les plus jeunes ou ceux qui ont le niveau de formation le plus élevé, pensent que la compensation carbone est intéressante.**

ceux-ci par les propriétaires. Peut-on parler d'une vision édénique<sup>5</sup> de la forêt ? C'est aussi une source potentielle de frictions avec la filière : la production de bois « économique » devenant clairement pour certains propriétaires une production connexe des services écosystémiques. Le refus de valorisation de ces derniers ne modifiera probablement pas cette vision des propriétaires (que l'on peut qualifier d'édénique). En revanche, un projet valorisant les services écosystémiques aura, dans ce contexte, un impact positif sur la quantité globale de bois mobilisée.

<sup>5</sup> qui évoque l'Eden, agréable.

La mise en place d'une politique carbone pourrait avoir à terme un impact net, tant sur la ressource globale en bois que sur l'adaptation de la forêt au changement climatique.

Cependant, les aides doivent être substantielles si on veut modifier les comportements. Si elles ne sont pas incitatives, seuls quelques propriétaires pratiquement décidés à agir se sentiront encouragés ; on pourrait parler pour ces derniers d'une récompense.

Pour résumer, seule une minorité de propriétaires a réfléchi aux systèmes d'aides éven-

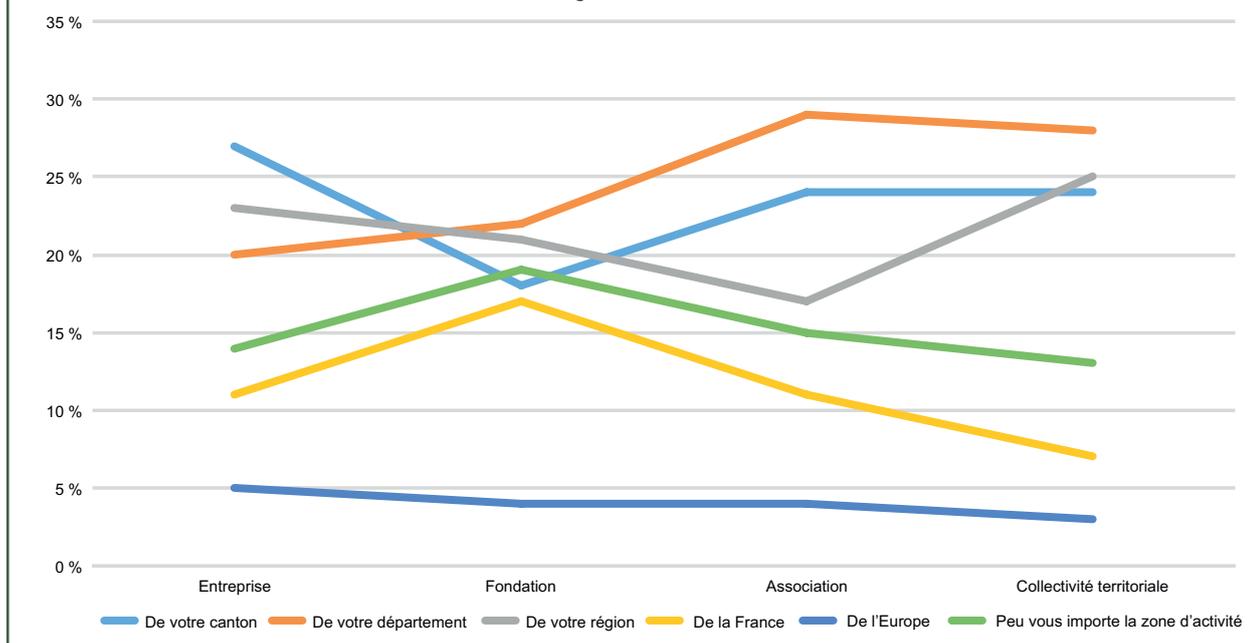
tuelles. Cette situation, logique avec les dispositifs actuels et avec leur perception, est aussi liée à une relative insuffisance des différents prix et coûts de référence en sylviculture. Pour ceux qui les

connaissent, les taux d'aide demandés sont relativement importants. Il convient de prendre ces résultats avec prudence. À quel prix accepte-t-on de « perdre sa liberté » ? Ceci demanderait des investigations spécifiques.

### Éléments liés à la mise en œuvre d'un projet de stockage de carbone

La réalisation éventuelle de travaux, dans le cas de l'existence d'une aide au stockage du carbone, augmente avec la classe de surface

Figure 4 - Réponses des propriétaires forestiers à la question :  
« Est-il important pour vous qu'il s'agisse d'une structure, correspondant aux choix que vous avez faits, exerçant son activité à une échelle... ? »



Données : enquête Vocal 2016 - Analyse Credoc - F. Didot/CNPF 2016

possédée. L'effet est sensible pour les éclaircies et les régénérations naturelles à partir de 25 ha, et pour les plantations à partir de 100 ha. Les propriétaires qui possèdent **les plus grandes surfaces**, les plus jeunes ou ceux qui ont **le niveau de formation le plus élevé, pensent que la compensation carbone est intéressante.**

Dans l'ensemble, les propriétaires accepteraient de recevoir un financement pour leur travaux de la part d'une entreprise, d'une collectivité territoriale, d'une association ou d'une fondation. Toutefois, ils préféreraient avoir des financements provenant des collectivités territoriales.

En cas de refus de participer à un projet carbone, la peur de perdre sa liberté domine (surtout lorsque le financeur est une entreprise). Elle est suivie de la crainte de lourdeurs administratives.

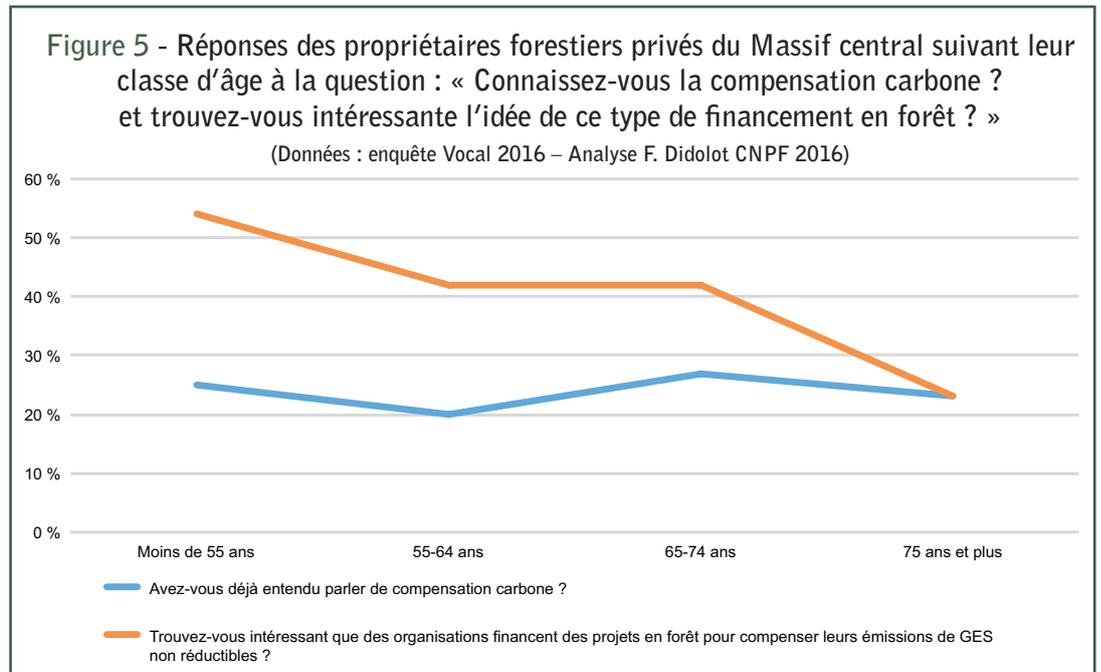
Y a-t-il une préférence pour les entreprises selon leurs secteurs d'activité ? À l'exception de l'agriculture et de l'agroalimentaire, il y a une défiance croissante des propriétaires en fonction de leur âge (figure 3). Est-ce un « ras-le-bol » de certains propriétaires ? Un souci de tranquillité ? Ceci peut avoir une influence sur le succès ou non de l'opération sur certains territoires. Les secteurs des assurances et des banques sont les plus rejetés. Le CNPF a d'ailleurs vu un de ses projets carbone échouer, car le propriétaire ne souhaitait pas recevoir de fonds provenant d'une banque...

La zone d'activité a aussi une influence. Si le financeur est une entreprise, les propriétaires privilégieraient davantage des entreprises ayant une activité à l'échelle de leur canton, département ou région. Enfin, si les collectivités territoriales de proximité sont plébiscitées, l'État arrive en avant-dernier. Quelle que soit la structure de financement (association, fondation, entreprise ou collectivité), l'échelle de l'Union européenne est bonne dernière et rejetée par les propriétaires (figure 4).

Seulement 23 % des propriétaires sondés connaissent le principe de compensation carbone. En leur détaillant très succinctement ce mécanisme, 41 % trouvent cela intéressant avec une fracture générationnelle marquée puisque 54 % des moins de 55 ans trouvent ce principe intéressant contre seulement 23 % des plus de 75 ans (figure 5).

### Regroupement de la propriété pour la compensation carbone

Le développement de la certification du carbone implique **l'établissement d'un programme de gestion qui visualise l'engagement du propriétaire sur la durée.** Un tiers des propriétaires est disposé à s'engager dans cette démarche. Ce résultat, qui peut paraître faible, est cohérent avec les pratiques de terrain, les documents de gestion nécessitant de fait des contacts individuels. En même temps, il est remarquable. Si nous considé-



(Données : enquête Vocal 2016 – Analyse Credoc – F. Didolot CNPF 2016)

rions le nombre total de propriétaires forestiers privés de plus d'un hectare — soit 1,1 million — et le nombre total de documents de gestion durable en vigueur — un peu plus de 60 000 — ceci représenterait un potentiel d'environ 300 000 documents de gestion durable supplémentaires pour la France ! Nous avons, là encore, un effet de génération où ceux qui sont prêts à s'engager dans un document de gestion ont plutôt une activité professionnelle. Est-ce parce que les nouvelles générations ont une expérience forestière différente de par leurs origines très majoritairement urbaines ? Comment les aider à s'impliquer pour préparer le programme de mise en œuvre de leur projet ? Cette même évolution n'exclut pas, au contraire, la poursuite du contact individuel.

Au final, l'acceptation potentielle d'un programme de gestion dépend de la surface possédée, de l'âge du propriétaire, du niveau de formation et des souhaits éventuels de travaux. Cela donne des points d'entrée à des actions de promotion des services écosystémiques et montre aussi la nécessité d'adapter les discours aux situations particulières.

**La proportion de ceux qui sont intéressés par un plan simple de gestion concerté dans le cas d'obtention des aides est très élevée : 90 % environ !** Les propriétaires de 75 ans et plus sont proportionnellement moins intéressés à participer à un programme concerté de gestion. Ceux possédant moins de dix hectares sont les plus intéressés. Cela montre une possibilité d'accroître ainsi les

surfaces couvertes par un projet s'inscrivant dans la durée, car ces « petits » propriétaires sont moins concernés par les documents de gestion durable du fait de la loi.

La mise en place d'investissements dans des travaux forestiers suppose très souvent le regroupement des propriétaires forestiers. Qu'en pensent-ils ? La moitié est disposée à se regrouper pour accéder aux aides. Nous avons, là encore, **un effet de génération, ainsi qu'un lien avec la surface possédée et le niveau de formation.**

Le regroupement est-il perçu de la même façon par les propriétaires s'il s'agit de valoriser le carbone ou de produire du bois ? Oui, et

c'est aussi plus le cas des personnes qui commercialisent du bois, quelle que soit la nature des produits. Il en est de même pour les prévisions de coupe. Les propriétaires les plus prêts

à gérer avec un programme de travaux sont les plus disposés à se regrouper pour accéder à des aides financières.

Une synthèse des résultats montre que **la participation aux services écosystémiques n'est pas liée à la production de bois pour la filière.** Par ailleurs, toute une population de petits propriétaires trouve intéressant de développer ce genre d'actions qui contribuent à la fourniture de bois. Cela revient bien à présenter cette action de façon spécifique en ne les approchant pas par une entrée classique sur la « production de bois d'œuvre résineux ». **La valorisation des services constitue ainsi un**

**Les propriétaires les plus prêts à gérer avec un programme de travaux sont les plus disposés à se regrouper pour accéder à des aides financières.**

point d'entrée pour intéresser des propriétaires forestiers, la production de bois et leur mise sur le marché étant des bénéfices complémentaires de cette action.

**Enfin, la promotion du stockage du carbone ne peut pas viser que les boisements/reboisements, mais doit couvrir toute une palette de travaux sylvicoles.**

## Une enquête du CNPF auprès d'entreprises, collectivités et établissements publics

Les entreprises de plus de 500 salariés en métropole, ainsi que les personnes de droit public de 250 salariés et les collectivités territoriales de plus de 20 000 habitants sont tenues de réaliser un bilan des émissions de gaz à effet de serre. Que pensent les entreprises et les collectivités de cette obligation ? Ont-elles pris des mesures pour réduire ces émissions ? Quelle compensation des émissions non réductibles ? Quel marché potentiel pour les forestiers ?

Une enquête a été réalisée par le CNPF *via* internet dans le cadre du programme *LIFE Forest CO<sub>2</sub>* sur la France métropolitaine. Si les réponses obtenues ne correspondent pas à un travail ayant valeur d'échantillonnage statistique, la diversité et le nombre de réponses couvrent des secteurs d'activités variés ; ce qui permet de définir des comportements. La grande majorité a réalisé un bilan de gaz à effet de serre. Leur première action a consisté à en réduire l'importance.

Après quoi, certaines d'entre elles pratiquent des opérations de compensation. Très peu achètent des crédits carbone sur le marché de la compensation volontaire. Quelques-unes s'engagent aussi dans des plantations d'arbres, sans que celles-ci ne génèrent de crédits carbone.

La méconnaissance du marché carbone et sa complexité expliquent en partie l'attitude des entités qui ne compensent pas actuellement. De plus, nombre de répondants n'en sont qu'à la phase de réduction des émissions et tant que celle-ci ne sera pas optimisée, il n'y aura pas de compensation.

Le manque d'intérêt de ces entités pour un projet en forêt a des causes multiples : les problèmes budgétaires, le manque de garanties sur la durabilité de la mesure, le gain de l'agriculture sur la forêt avec la volonté d'ouvrir les

paysages, une structure juridique inadaptée pour la compensation carbone, le doute que la forêt permette de stocker du carbone, ou le caractère non prioritaire d'un tel projet.

Le prix de la tonne de CO<sub>2</sub> séquestrée est méconnu de la majorité des entités. Cette situation rend difficile l'estimation du budget qui pourrait y être consacré. Cependant, les montants évoqués laissent plutôt présager des petits projets, de quelques ares à quelques hectares, sauf exception. Ces montants semblent être négociables à la hausse s'il est expliqué aux entités qu'en augmentant leur participation certains projets pourraient voir le jour.

**Dans le cas d'un investissement, le souhait d'avoir un projet qui se déroule sur le périmètre d'action de l'entreprise, quelle que soit son échelle, ressort fortement.** La sortie du label Bas-Carbone<sup>6</sup> pourrait donc être un outil répondant aux attentes de nombreuses entités qui souhaiteraient réaliser une compensation qui ait du sens avec l'activité de l'entreprise : en forêt française, au plus près des territoires.

Si une bonne partie des entreprises ne sait pas définir les types de travaux forestiers permettant de mieux stocker le carbone, les répondantes ont privilégié le boisement des friches agricoles ou le reboisement de forêts détruites, devant les éclaircies ou la défense des forêts contre l'incendie.

**Une demande forte des entreprises et collectivités est que les projets soient certifiés et visitables sur le territoire.**

## Une enquête d'I4CE<sup>7</sup> sur les potentiels et déterminants de la compensation carbone en France

Dans le cadre du programme *Vocal*, une étude auprès d'entreprises et de collectivités a été réalisée par I4CE<sup>8</sup>. La collecte des données a été réalisée selon deux axes : un questionnaire en ligne et des entretiens avec des entreprises et collectivités engagées dans des démarches environnementales, voire dans des démarches de type compensation carbone.

La lutte contre le changement climatique est de loin le principal enjeu environnemental susceptible de faire l'objet d'un financement pour l'ensemble des entreprises interrogées.

Si la connaissance du principe général de compensation carbone est acquise, il n'en est pas de même pour les modalités opérationnelles. Les modes de financement envisagés sont multiples : compensation carbone,



<sup>6</sup> Grimault J., Gleizes O. 2019. *Du projet Vocal au label Bas-Carbone*, Forêt-entreprise 245, p. 24.

<sup>7</sup> Institut de l'économie pour le climat (*Institute for climate economics*)

<sup>8</sup> Tronquet C., Grimault J., Foucherot C., 2017. *Potentiel et déterminants de la demande volontaire en crédits carbone en France*. Paris : I4CE, 32 p.

L'étude des forestiers du Massif central révèle qu'une grande partie d'entre eux est prête à s'inscrire dans des projets de valorisation de la séquestration du carbone dans leurs bois. Le carbone forestier s'avère être plus un sujet pour les « jeunes » propriétaires (moins de 65 ans) et ayant fait des études. En approchant des propriétaires par une entrée qui les motive (participer à l'atténuation du changement climatique), cela permettrait *in fine* de mobiliser plus de bois et de développer la gestion durable. En face, de nombreuses entreprises sont demandeuses de projets locaux et bien identifiables. Il y a donc un marché potentiel à développer.

**MOTS-CLÉS :** programme *Vocal*, acceptation de financement, enquête propriétaires forestiers, Massif central.

mécénat et dons, subventions, parrainage, prêt ou participation à une plateforme de financement participatif.

En 2015, la majorité des organisations ayant répondu ne compense pas ses émissions au sens strict, mais la majorité est ouverte à cette démarche. D'autres n'ont pas de positionnement établi sur la question de la compensation.

Près de 2 MtCO<sub>2</sub>e sont compensées par an en France. Cet ordre de grandeur est cohérent avec les autres estimations disponibles pour le marché de compensation volontaire français. Un volume supplémentaire correspondant à la moitié de la demande actuelle pourrait être mobilisé. Cependant, cette projection de croissance est fragile. Ainsi, le maintien des volumes compensés par les acheteurs actuels dépend en particulier des bénéfices directs ou indirects qu'ils tireront de leur démarche de compensation, par la communication, le gain de parts de marché, de sécurisation des approvisionnements (*insetting*), de mobilisation des salariés, etc. D'autres, proposant des produits ou services neutres en carbone, observent une demande stagnante pour leurs produits depuis plusieurs années, et n'envisagent donc pas une augmentation dans leur compensation.

Les prix d'achat des crédits sont très variables. Les disparités constatées peuvent s'expliquer par la diversité des projets et de leurs coûts qui se reflètent dans le prix final de la tonne de carbone (coûts qui dépendent du type, de la taille ou encore de la localisation du projet), par les volumes achetés (les prix sont généralement dégressifs en fonction du volume), et par le fait que les transactions sur le marché volontaire sont négociées de gré à gré.

La compensation carbone est donc souvent un outil pluriannuel, mais parfois temporaire dans une démarche de développement durable de long terme. Cela pose la question de

l'avenir de ce marché.

Le *leadership* environnemental est un élément différenciant, mais au-delà du carbone, il apparaît des enjeux de gestion des risques et de valorisation de projets dans l'écosystème de l'organisation.

**Les critères de sélection des projets de compensation** considérés comme **indispensables** ou très importants par plus de

70 % des organisations compensant leurs émissions ou envisageant de le faire sont, par ordre d'importance décroissante :

- ➡ la transparence et l'information sur la certification ;
- ➡ la transparence et l'information sur le projet ;
- ➡ la fiabilité et la qualité du standard de certification ;
- ➡ la présence de co-bénéfices environnementaux ;
- ➡ le prix de la tonne ;
- ➡ la transparence et l'information sur les intermédiaires financiers.

Une part importante des acheteurs potentiels de crédits de compensation exige que les projets financés génèrent des co-bénéfices, au-delà du gain carbone, c'est-à-dire des effets positifs indirects des politiques et projets climatiques. Et les co-bénéfices environnementaux (indispensables ou très importants pour 73 % des répondants) sont les plus valorisés devant les co-bénéfices sociaux et économiques.

Ces mêmes projets doivent être **porteurs de sens et mobilisateurs, avec une préférence pour les projets locaux**. L'attrait pour les projets agricoles et forestiers réside notamment dans leur impact territorial : développement rural, paysage ou encore aménagement du territoire, ainsi que la présence possible de co-bénéfices pour la biodiversité et l'eau.

Par ailleurs, la facilité à communiquer sur ces projets, en lien avec les représentations positives associées à la nature et aux paysages

d'une part et la possibilité de visites de terrain d'autre part, joue aussi un rôle important. Cette appétence pour des projets « charismatiques » se dégage aussi des entretiens réalisés, en particulier pour le secteur forestier. L'image de l'arbre, le symbole qu'il représente et la facilité à se figurer l'action de « planter un arbre » contribuent au goût prononcé des acheteurs de crédits pour les projets forestiers. Il faut toutefois garder en mémoire que la forêt n'est pas un critère primordial de choix, sauf à ce que les projets s'inscrivent dans la chaîne de valeur de l'acheteur.

### Les services écosystémiques sont une opportunité pour reconstruire un contrat entre les propriétaires et la société

La prise en compte de l'environnement par les propriétaires forestiers a toujours été une réalité, ne serait-ce que par le choix des essences et des techniques sylvicoles. Cependant, elle était souvent implicite, la fierté de nombreux sylviculteurs était de tirer un revenu de la production de bois, et dans une moindre mesure de la chasse. Les évolutions de la société aboutissent à **une prise de conscience des différentes valeurs environnementales de la forêt**, celles-ci pouvant être source de revenus et aussi de **reconnaissance de l'action des forestiers en ce domaine**. Il semble se dessiner l'émergence d'une nouvelle génération, plus intéressée à contractualiser en la matière avec des partenaires se situant en dehors de la filière bois, et aussi à s'organiser pour bénéficier des financements correspondants. Le stockage du carbone rentre dans ce schéma. Cela ne remet pas en cause leur vision de la forêt comme espace de liberté, bien au contraire. La **production traditionnelle de bois à destination des industries** devient progressivement, dans ce contexte, **un coproduit de ces productions environnementales**.

**Le carbone devient une préoccupation des entreprises**; cela s'inscrit dans le cadre d'une politique nationale visant à promouvoir une industrie avec une empreinte carbone peu impactante, voire nulle. Cependant, l'action en forêt n'est qu'un des outils permettant d'améliorer la situation, ce qui en limite son ampleur éventuelle. Là encore, nous avons de multiples objectifs : le stockage du car-

bone doit permettre d'avoir d'autres bénéfices environnementaux. Et nous n'abordons pas le nécessaire impact positif sur la notoriété de l'entreprise. La compensation en forêt est parfois pénalisée par les notions de complexité et d'incertitude. Le challenge est donc de **rendre lisibles et opérationnels les mécanismes de valorisation du carbone forestier**.

Dans tous les cas, les projets forestiers doivent être locaux et visibles : on fait bien, et on le fait savoir. Une source de tension nous semble devoir être abordée, le temps. La production de bois et la décision de son exploitation s'inscrivent dans des durées différentes. Situation classique, surmontée dans le passé grâce à des comportements « traditionnels » des propriétaires forestiers. Mais aujourd'hui, ceux-ci changent, conséquences des mutations profondes de la société française. Comment construire une nouvelle politique contractuelle ? Quel pacte, dans ce contexte, pour la politique réglementaire qui est souvent une accumulation de textes liés à des orientations prises à des époques différentes ? Les pistes ouvertes au travers du programme *Vocal* méritent d'être approfondies et élargies ; **la valorisation des services écosystémiques, dont le carbone, semble nécessaire**. Leur prise en compte est une condition pour assurer l'approvisionnement de la filière bois dans la durée avec une matière d'autant plus précieuse qu'elle peut avoir des destinations multiples. ■



<https://youtu.be/GhQP9TbxXo8>

**Dans tous les cas, les projets forestiers doivent être locaux et visibles : on fait bien, et on le fait savoir.**

## En savoir<sup>+</sup>



- Didotot F., 2017. *Les forestiers du Massif central vers les services écosystémiques*. CNPF, 44 p.
- Gleizes O., 2017. *Forêt et carbone, un besoin des entreprises et des collectivités*. CNPF, 32 p.
- Tronquet C., Grimault J., Foucherot C., 2017. *Potentiel et déterminants de la demande volontaire en crédits carbone en France*. I4CE, 32 p.





Boisement en huit feuillus mélangés dans le projet carbone pilote avec l'ASLGF des Cévennes ardéchoises.

# Du projet *Vocal* au label Bas-Carbone...

## La certification de projets carbone en forêt française

 16 min

Par Julia Grimault, I4CE<sup>1</sup> et Olivier Gleizes, CNPF-CRPF Occitanie

<sup>1</sup> I4CE (*Institute for climate economics*), 2 bd de Strasbourg, 75010 Paris

<sup>2</sup> *Projet Voluntary carbon land certification* – Certification carbone volontaire.

*La validation du label Bas-Carbone fin 2018 par le ministère de la Transition écologique et solidaire offre un cadre national de compensation volontaire des émissions de CO<sub>2</sub> des entreprises, établissements publics ou collectivités territoriales. Comment sont appréhendés le mécanisme et le fonctionnement de ce référentiel de compensation carbone en France ?*

**Certifier des projets carbone sur le territoire national : l'objectif du projet *Vocal*<sup>2</sup>**

**Qu'est-ce que la compensation carbone ?**

Dans le cadre des engagements climatiques internationaux, les pays comme les entreprises ont pris des engagements de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre (GES). Pour atteindre ces objectifs, deux options sont complémentaires et successives : mettre en place des mesures pour réduire les émissions

I4CE, l'Institut de l'Économie pour le climat (ex CDC Climat Recherche), est un *think tank* (groupe de réflexion), qui fournit aux décideurs publics et privés une expertise sur les questions économiques et financières liées à la transition énergétique et écologique. I4CE a été fondé par la Caisse des Dépôts et Consignations, l'Agence Française de Développement, et soutenu par la Caisse de Dépôt et de Gestion Maroc.

Composé de 25 personnes, l'institut produit de l'expertise au service de l'intérêt général, et cherche à renforcer les capacités des acteurs économiques et la circulation des idées.

L'équipe travaille sur quatre thématiques principales :

- ⇒ **Industrie, énergie et climat** : analyser les politiques pour la transition bas-carbone des secteurs de l'industrie et de l'énergie ;
- ⇒ **Finance, investissement et climat** : faciliter l'intégration du changement climatique dans le processus de décisions financières ;
- ⇒ **Villes, infrastructures et climat** : accompagner la transition vers des territoires bas-carbone et adaptés au changement climatique ;
- ⇒ **Forêt, Agriculture et Climat** : accompagner les filières agricoles et forestières dans leur prise en compte du changement climatique. Dans ce cadre, I4CE a notamment piloté le projet *Vocal*, et anime les clubs Carbone Forêt-Bois et Climat Agriculture, qui rassemblent un réseau d'une trentaine de membres et mutualisent l'expertise et les connaissances sur les questions forêt/agriculture et carbone.

sur leur propre périmètre d'activités (énergie, transport, bâtiments, etc.), puis compenser les émissions résiduelles, impossibles à réduire dans l'immédiat, **en finançant des projets externes, qui diminuent les émissions ou séquestrent du carbone**. Le principe de la compensation carbone : « Je ne peux pas réduire chez moi tout de suite, alors je finance d'autres actions qui le font ailleurs. »

### Qu'est-ce qu'un projet carbone ?

Ces projets externes sont appelés « projets carbone ». Ils doivent répondre à un cahier des charges précis et être certifiés par un label dédié, pour garantir leur crédibilité et être en mesure d'afficher le nombre de tonnes de carbone qu'ils peuvent éviter ou séquestrer. Pour établir cette mesure, le scénario du projet doit être systématiquement comparé à un scénario de référence : par exemple, si on réalise un projet de boisement sur une friche agricole, la séquestration carbone de la friche sera également prise en compte. C'est la différence de séquestration entre le scénario « boisement » et le scénario « friche » qui sera pris en compte et pourra être converti en « crédits carbone ». Enfin, **le principal critère de qualité des projets est celui de l'additionnalité** : pour être certifié et pouvoir générer des crédits, il doit pouvoir démontrer que c'est bien le financement venant de l'entreprise ou de la collectivité qui souhaite compenser qui est à l'origine du projet : **il faut démontrer que le projet ne se**

**serait pas fait dans tous les cas, sans ce financement.**

Les projets carbone forestiers sont spécifiques en ce sens qu'ils sont les seuls, avec certains projets agricoles, à pouvoir séquestrer du carbone dans la biomasse et les sols. Ils sont également soumis au risque de réémissions du carbone vers l'atmosphère, en cas de tempête ou d'incendie par exemple. Les labels de certification possèdent des outils permettant de gérer ce risque et de rassurer les financeurs.

### La compensation carbone en France ?

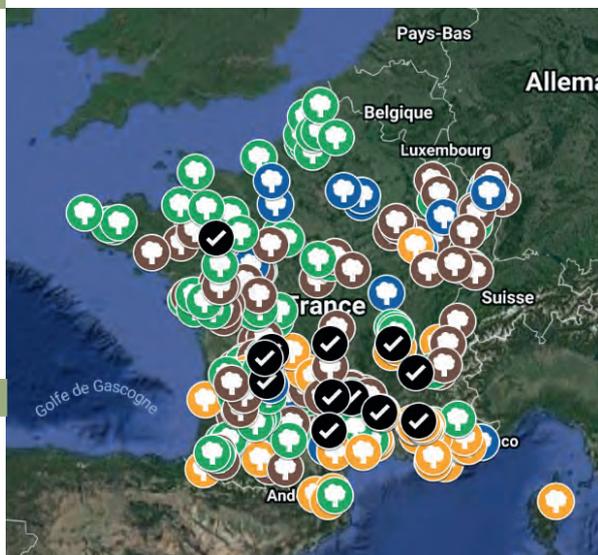
À l'international, de nombreux labels de certification existent et sont en mesure de certifier des projets dans de nombreux secteurs, y compris le secteur forestier. Cependant, jusqu'à présent, aucun label international n'était prêt à certifier des projets carbone forestiers en France, principalement à cause de blocages politiques. Les entreprises françaises qui voulaient compenser leurs émissions étaient obligées de financer des projets carbone majoritairement dans les pays en développement.

Dès 2010, les principaux acteurs de la filière forêt-bois comme Forestiers privés de France, l'ONF, le CNPF, l'ASFFOR<sup>3</sup>, la Société Forestière de la Caisse des Dépôts, le SySSO<sup>4</sup> ou encore le FBCA<sup>5</sup> ont créé avec I4CE (à l'époque CDC Climat Recherche) le club Carbone Forêt-Bois. Rassemblant une

<sup>3</sup> ASFFOR = association des sociétés et groupements fonciers et forestiers

<sup>4</sup> SySSO = syndicat des sylviculteurs du sud-ouest

<sup>5</sup> FCBA = institut technologique forêt cellulose bois-construction ameublement



## Le tour de France des projets carbone en cours et à venir :

- réalisés en noir
- boisement en vert
- reboisement en marron
- amélioration en orange
- enrichissement en bleu

(voir page 4 du répertoire 2019 des projets carbone)

<https://www.cnpf.fr/n/nos-partenariats-carbone/n:2493>



Les équipes du CNPF sont mobilisées pour concrétiser les projets de compensation des entreprises en France.

vingtaine de membres, ce club met en commun l'expertise sur les enjeux du carbone forestier, et vise notamment à faire bénéficier la filière forêt-bois française des incitations liées au carbone et à la compensation. Ce club a fait remonter un certain nombre de constats :

- ▀ l'absence d'outils adéquats pour certifier des projets carbone forestiers en France ;
- ▀ l'existence d'initiatives pilotes en région (Aquitaine, Midi-Pyrénées, Rhône-Alpes) pour développer des projets carbone forestiers, dont les retours d'expérience ont été partagés dans le cadre du club ;
- ▀ la volonté croissante des entreprises de faire de la compensation carbone locale, et de financer des projets au plus proche de leurs activités (voir article précédent)<sup>6</sup> ;
- ▀ les solutions innovantes mises en place dans d'autres pays confrontés aux mêmes enjeux que la France : ainsi le *Woodland Carbon Code* au Royaume-Uni permet la certification de projets de boisement sur le territoire.

La mise en commun de ces différents éléments dans le cadre du club a donné naissance au projet *Vocal* (*Voluntary Carbon Land Certification*). Son objectif était la création d'un cadre national de certification carbone afin de certifier des projets carbone forestiers en France.

### Le projet *Vocal*

Le projet *Vocal* a duré de 2015 à 2018, grâce à des fonds du Feder<sup>7</sup> Massif central. Ce projet a été piloté par I4CE et mené en étroite collaboration avec le CNPF et le GIP Massif central pour le volet forestier. L'Institut de l'Élevage suit le volet agricole, soutenu par l'Ademe. Les ministères de la Transition écologique et solidaire (MTES) et de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire (MAA) sont également impliqués tout au long du processus.

Le projet *Vocal* a eu pour objectif de créer le cadre de certification nécessaire pour per-

mettre la compensation carbone en France en visant dans un premier temps les deux secteurs cités plus haut. Ce cadre de certification a dû ensuite être validé par le MTES et devenir un véritable outil de politiques publiques. En effet, cet outil incitatif sera au service de l'atteinte des objectifs de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC), et permettra d'orienter de nouveaux financements publics comme privés vers la filière.

Le projet *Vocal* fournit les éléments suivants :

- ① un référentiel, fixant les grandes lignes de la certification carbone ;
  - ② des méthodes ciblant certaines pratiques sylvicoles : boisement de terres non forestières, reconstitution de peuplements forestiers dégradés et conversion de taillis en futaie ;
  - ③ des projets pilotes basés dans le Massif central, pour appuyer l'élaboration du référentiel et des méthodes, financés par le Groupe La Poste.
- Ces trois principaux livrables du projet s'appuient également sur deux études préliminaires (4 et 5) et une étude complémentaire (6) ;
- ④ une étude<sup>8</sup> sur le potentiel et les déterminants de la demande en compensation carbone en France, afin de mieux comprendre les attentes des financeurs ;
  - ⑤ une étude<sup>9</sup> sur la volonté et la capacité des propriétaires forestiers privés à s'engager dans des démarches de valorisation du carbone ;
  - ⑥ une étude juridique et fiscale visant à éclaircir le type de transactions pouvant s'effectuer dans le cadre de la certification carbone.

Le référentiel a été soumis à consultation publique en juillet 2018. Le décret n° 2018-1043 du 28 novembre 2018 créant un label Bas-Carbone a été signé par le Premier ministre Édouard Philippe et le ministre d'État,



<sup>6</sup> Didot F., 2019. *Le climat, une préoccupation commune pour des propriétaires et des entreprises*. Forêt-entreprise n° 245, p.16-23.

<sup>7</sup> Fonds européen de développement régional

<sup>8</sup> <https://www.i4ce.org/download/potentiel-determinants-de-demande-volontaire-credits-carbone-france-2/>

<sup>9</sup> <https://www.cnpf.fr/data/lesforestiersmassifcentral.pdf>

ministre de la Transition écologique et solidaire, François de Rugy, et paru au Journal officiel de la République française (JORF) n° 0276 du 29 novembre 2018. L'arrêté du 28 novembre 2018 définissant le référentiel du label « Bas-Carbone » est également paru au JORF n° 0276 du 29 novembre 2018.

Les méthodes sont validées par le MTES au début de l'année 2019, rendant le référentiel opérationnel. Enfin, les projets pilotes déjà financés par le Groupe La Poste devraient être les premiers projets à bénéficier de la certification du label Bas-Carbone.

## Le label Bas-Carbone : pourquoi et pour qui ?

Le label Bas-Carbone (LBC) sera ainsi un outil d'appui à la mise en œuvre des politiques publiques climatiques et notamment de la Stratégie nationale Bas-Carbone. Il est ouvert aux projets de réductions des émissions mis en œuvre sur le territoire national, dans n'importe quel secteur<sup>10</sup>. Il faut cependant qu'une méthode (ou méthodologie) couvrant la pratique ciblée par le projet ait été au préalable développée, puis validée par le ministère.

Le LBC définit également des critères de qualité à suivre et des outils pour garantir les réductions d'émissions : l'additionnalité, le suivi des réductions d'émissions, la gestion du risque de non-permanence<sup>11</sup>, etc.

Afin de couvrir l'ensemble du potentiel, le LBC certifie **trois types de réductions d'émissions** :

➡ les **réductions d'émissions « effectives »**, réalisées sur le périmètre du projet et certifiées après leur réalisation effective ;

➡ les **réductions d'émissions « anticipées »**, également réalisées sur le périmètre du projet, mais certifiées avant leur réalisation effective. Cette catégorie concerne tout spécialement les projets forestiers : elle vise en effet à prendre en compte le temps de croissance des arbres, qui s'étale sur plusieurs décennies et le besoin d'aide financière pour le porteur de projet nécessaire principalement au moment des travaux initiaux. **Les réductions anticipées certifient au début du projet la trajectoire vraisemblable de réductions d'émissions ou de séquestration qui découlera de l'activité du projet ;**

➡ les **réductions d'émissions indirectes** se réalisent quant à elles en dehors du périmètre du projet et ne sont pas la conséquence directe de celui-ci. Les prendre en compte est néanmoins nécessaire pour donner une incitation économique cohérente avec les objectifs climatiques. Par exemple, la séquestration

du carbone accrue en forêt grâce à certains projets de gestion forestière améliorée peut s'accompagner de gains dans les secteurs du bâtiment ou de l'énergie, si le bois est utilisé en lieu et place d'énergies fossiles ou de matériaux plus énergivores, qui sont ainsi inclus dans ces émissions indirectes. Dans le secteur agricole, prendre par exemple en compte les émissions liées aux importations de soja pour l'alimentation animale permet de ne pas pénaliser les exploitations autosuffisantes en protéines végétales (soja, luzerne...) et qui ont un meilleur bilan global du point de vue du climat. Les projets peuvent donc prendre en compte différents types de réductions d'émissions. Tous les acteurs sont susceptibles de déposer un projet : un propriétaire seul ou regroupé en association (ASLGF<sup>12</sup>...), l'ONF, le CNPF, un gestionnaire (coopérative, expert forestier...), une entreprise, une collectivité, etc. Les regroupements des propriétaires et des surfaces sont cependant encouragés pour réduire les coûts de certification. Un porteur de projets peut ainsi désigner un mandataire, qui rassemble différents porteurs de projets pour former un projet collectif.

Ces coûts incluent la rédaction du document de projet, qui décrit les activités du projet, démontre qu'il est bien additionnel et qu'il suit une des méthodes proposées. Ils concernent également la vérification par un auditeur externe et une éventuelle visite de site.

Voici les différentes étapes de la certification d'un projet :

① **notification** à l'Autorité (le MTES) de l'intention de bénéficier du label : cette étape permet de prendre date pour démontrer l'additionnalité du projet,

② **demande de validation** : le porteur de projet remplit un document descriptif de projet (DDP),

③ **validation, après instruction, du projet par l'Autorité** et inscription sur la « page d'enregistrement des projets » : cette étape garantit que le projet est bien conforme à la méthode et qu'il devrait générer des réductions d'émissions,

④ **vérification des réductions d'émissions par un auditeur externe** et demande de reconnaissance par l'Autorité,

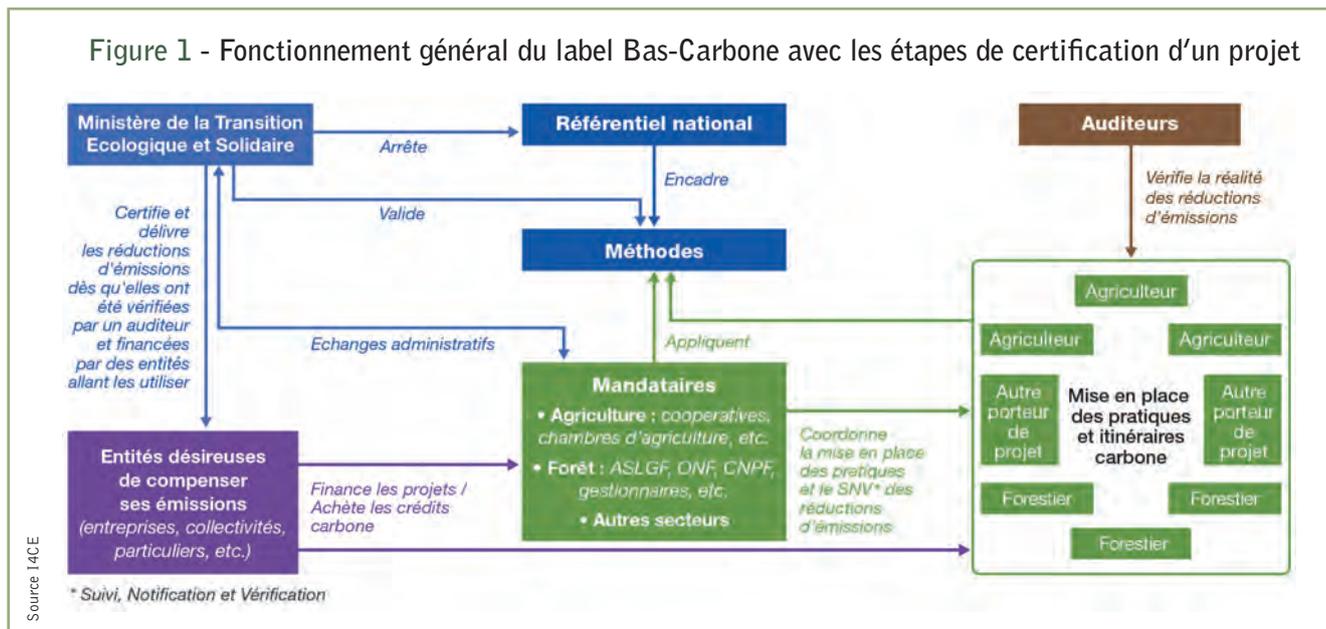
⑤ **reconnaissance des réductions d'émissions par l'Autorité** sur la base de la vérification : cette étape certifie officiellement le nombre de tonnes de CO<sub>2</sub> évitées ou séquestrées par le projet,

<sup>10</sup> Hors installations industrielles et énergétiques soumises au marché européen d'échanges de quotas.

<sup>11</sup> Le carbone stocké dans la biomasse et dans les sols peut être réémis vers l'atmosphère, en cas d'incendie ou de tempête par exemple. Ce risque est pris en compte par le LBC *via* un rabais appliqué aux réductions d'émissions générées, en fonction du niveau de risque estimé du projet.

<sup>12</sup> Association syndicale libre de gestion forestière.

Figure 1 - Fonctionnement général du label Bas-Carbone avec les étapes de certification d'un projet



## ⑥ inscription des réductions d'émissions reconnues dans le fichier de suivi des réductions.

Le porteur de projet ou le mandataire est encouragé à se rapprocher d'un éventuel financeur dès qu'il a une idée de son projet. L'étape de validation garantit ensuite au financeur que le projet est conforme à la méthode et qu'il devrait être en mesure de réduire les émissions ou de séquestrer du carbone. C'est après l'étape de vérification que le nombre exact de tonnes de carbone peut être certifié et garanti à un financeur.

**Dès 2019, les porteurs de projets pourront certifier les réductions d'émissions et la séquestration carbone au sein de leurs projets** menés dans les secteurs agricoles et forestiers. Cela devrait leur apporter de nouvelles sources de financement, principalement privées, en lien avec les objectifs de neutralité carbone des entreprises et des collectivités.

## Les méthodes forestières du label Bas-Carbone

Tout projet demandant une certification auprès du label Bas-Carbone devra être compatible avec le référentiel et se référer à une méthode agréée et annexée au label. Toute méthode doit être validée par l'Autorité (en l'occurrence le MTES). Tout le monde peut proposer et rédiger une méthode ; elle ne sera effective qu'après sa validation par le label. Un groupe de travail consacré au label rend des avis sur les méthodes demandant à bénéficier du label. Dans le cadre du programme *Vocal*, les trois premières méthodes forestières ont été rédigées par le CNPF et agréées par le MTES au

cours du premier trimestre 2019. Le choix des premières méthodes s'est porté sur des itinéraires sur lesquels il pouvait être relativement aisé de mettre en évidence des gains en séquestration du CO<sub>2</sub> dans la biomasse forestière. Avant de les détailler, il convient d'en donner une définition.

## Qu'est-ce qu'une méthode ?

Le contenu d'une méthode est défini dans la troisième partie du référentiel. « Une méthode **cible un secteur** ou des pratiques sectorielles identifiées. Elle **explicit** les conditions **d'appréciation de la qualité** de projets sous l'angle de **l'atténuation du changement climatique**. Les méthodes décrivent les **règles de suivi** et de **vérification** applicables à un type de projets et facilitent l'appropriation du contexte réglementaire par les porteurs de projets. Elles respectent les principes établis dans le présent référentiel et en précisent les modalités de mise en œuvre. Une méthode précise notamment comment un projet démontre son caractère additionnel. »

Concrètement, elle définit le type de projets auquel elle s'applique (exemple : conversion de taillis en futaie sur souches), les critères d'éligibilité des projets, le scénario de référence, les différents rabais à appliquer, la démonstration de l'additionnalité, la méthode d'évaluation des réductions d'émissions, le type de réduction d'émissions, la durée maximale de validité du projet...

Une méthode prévoit des formulaires à utiliser par le porteur de projet pour la notification, un document descriptif de projet (DDP) et un rapport de suivi. La méthode fournit ainsi les outils pour que le dépôt d'un projet soit faci-

Le référentiel de certification des réductions d'émissions de CO<sub>2</sub> dans les secteurs forestier et agricole est agréé par le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) fin 2018. Ce label Bas-Carbone s'inscrit dans le principe de la compensation carbone volontaire. Le CNPF a rédigé les trois premières méthodes forestières pour labelliser les premiers projets de compensation carbone en France en 2019.

Mots-clés : label Bas-Carbone, compensation, carbone, référentiel, méthode

lité et que le porteur de projet n'ait qu'à fournir des informations simples et faciles d'accès.

### Les méthodes déposées au label Bas-Carbone

La méthode « **boisement** » concerne les **projets de boisement sur terres agricoles** ou sur friches en cours d'embroussaillage. C'est une des méthodes pour lesquelles le **gain en carbone** pourra être relativement **élevé** à la fois dans la biomasse forestière et dans le sol. Pour le calcul du gain en CO<sub>2</sub> le recours aux principales tables de productions connues pour les essences françaises permettra d'effectuer ces calculs.

Visant notamment à répondre aux conséquences des risques biotiques (chalarose du frêne, dépérissement du châtaignier, dendroctone de l'épicéa, maladie des bandes rouges du pin laricio...) apparus ces dernières années ou abiotiques (tempête, incendie) susceptibles de ravager la forêt, la méthode « **reconstitution de peuplements forestiers dégradés** » permet de réaliser des **reboisements avec des essences adaptées au changement climatique** et à la station. Dans la mesure où une coupe rase doit être faite pour ces peuplements en situation d'impasse sylvicole (post-tempête, post-incendie ou post-dépérissement intense), des diagnostics préalables sont prescrits sur :

- la biodiversité grâce à l'outil IBP (indice de biodiversité potentielle) pour laisser des arbres ou des zones d'intérêt écologique ;
- l'adéquation des essences aux stations forestières ;
- une estimation d'un taux d'arbres détruit par la tempête ou encore une estimation d'un taux de dépérissement (par le protocole *Deperis* du Département de la santé des forêts) pour qualifier avec rigueur l'état « dépérissant » d'un peuplement.

Enfin, la méthode « **conversion de taillis en futaie sur souches** » concernera majoritairement la forêt privée. Elle privilégiera les taillis présents sur les meilleures stations, pour lesquels une amélioration peut être envisagée afin de produire du bois d'œuvre. Le châtaignier et

les chênes (pédonculé, sessile, pubescent et vert) y apparaissent comme les essences les plus concernées par cette méthode d'éclaircie par conversion. Il reste toutefois possible de l'étendre à toutes les essences pour lesquelles il serait pertinent de mener cette sylviculture. L'objectif est de retarder le passage en coupe rase et ainsi générer des **produits à haute valeur ajoutée**, dont la **durée de vie**, une fois **transformés, prolongera le stockage du carbone**. Plusieurs projets pilotes ont été réalisés avec le châtaignier : par exemple faire une première éclaircie aux alentours de 12 ans (puis une deuxième vers 25 ans), au lieu de couper à ras un taillis de 20 à 25 ans, pour « doper » sa productivité. La coupe finale de la futaie issue de souches de taillis pourra se faire vers l'âge de 40 à 45 ans.

### D'autres méthodes en perspectives

Il sera très intéressant de voir la répartition des projets certifiés au sein de ces trois méthodes. En revanche, ces trois méthodes ne couvriront probablement pas l'ensemble des besoins de la forêt française. Elles permettront de concrétiser des premiers projets de compensation carbone en forêt privée et en forêt publique. Les avancées scientifiques permettront également de proposer de nouvelles méthodes dans le futur. Elles pourraient en effet être rédigées par différents acteurs, **sous réserve qu'elles ne présentent aucun impact négatif sur l'environnement et la biodiversité et qu'on parvienne à démontrer qu'elles génèrent un gain en séquestration de CO<sub>2</sub> dans la biomasse forestière ou les produits bois récoltés**.

On peut penser notamment aux thématiques suivantes :

- l'enrichissement ou le renouvellement de mélanges futaie-taillis pauvres ;
- l'évitement de coupes rases ou le maintien d'un couvert forestier continu ;
- la mise en place d'îlots de vieillissement (abandon de la gestion forestière pour préserver des forêts à haute valeur écologique) ;
- la sylviculture préventive au risque d'incendie ;
- la plantation de haies champêtres ;
- l'agroforesterie... ■

# Quel bilan carbone des pinèdes et des douglasaies sous climat changeant ? 20 min

<sup>a</sup> Évaluation de l'effet d'atténuation des forêts de production adaptées au changement climatique.

Synthèse de l'étude *Évafora*<sup>a</sup> réalisée par l'Inra et le CNPF avec le soutien de l'Ademe

Par Simon Martel, CNPF-IDF, David Achat et Christophe Moisy, Inra-ISPA<sup>1</sup>, Lucie Rupil, CNPF-CRPF Nouvelle-Aquitaine et Denis Loustau, Inra-ISPA<sup>1</sup>

*Les estimations du bilan carbone forestier sont généralement établies en tenant compte des conditions de croissance des arbres observées par le passé. Or, le climat change. Les impacts sur les peuplements de différents scénarios de changement climatique sont simulés par des modèles numériques afin d'ajuster l'évaluation de l'atténuation du changement climatique.*

<sup>1</sup> Institut national de recherche agronomique, unité mixte de recherche Interactions sol plante atmosphère (ISPA 1391), CS20032, 71 avenue Edouard Bouriaux, 33882 Villenave-d'Ornon cedex.

<sup>2</sup> Circulation des éléments minéraux à l'intérieur des écosystèmes. *Vocabulaire forestier*, p.139. Éditions IDF-CNPF.

## La modélisation pour se projeter dans le futur

Le modèle GO+ est un modèle numérique de croissance forestière simulant les principaux processus biophysiques et biogéochimiques<sup>2</sup> d'un écosystème forestier géré. Cet outil de recherche en évolution continue est enrichi régulièrement pour reproduire des effets interactifs des changements environnementaux et de la gestion forestière sur les écosystèmes forestiers gérés.

GO+ est opérationnel pour plusieurs essences forestières : le pin maritime, le hêtre et l'eucalyptus ainsi que le douglas, pour lequel une version a été développée au cours de ce projet. Le modèle intègre les effets de la gestion en tenant compte des différentes coupes (éclaircies selon plusieurs modes, dépressages, coupes rases), d'éventuelles opérations de dessouchage, de travail du sol ou de débroussaillage. La version actuelle de GO+ se limite aux peuplements monospécifiques et réguliers, plus facilement modélisables en première approche. Des développements sont prévus pour simuler d'autres types de gestion (régénération sous couvert, voire traitement irrégulier).

## En savoir <sup>+</sup>

[www.cnpf.fr/n/projet-evafora/n:2658](http://www.cnpf.fr/n/projet-evafora/n:2658)

### Modèle empirique *versus* modèle à base de processus

Deux grandes catégories de modèles sont utilisées pour évaluer la croissance des forêts. Les modèles empiriques, encore appelés modèles de données ou modèles statistiques, établissent des relations statistiques entre des données observées (telles que des mesures dendrométriques) des facteurs du milieu et la gestion.

Les modèles « à base de processus » ou modèles mécanistes reproduisent sous forme d'équations les connaissances sur les processus écophysologiques<sup>\*</sup> du fonctionnement des forêts.

- ➡ Les données observées servent uniquement à la calibration des modèles.
- ➡ Bien que plus complexes à paramétrer, ces derniers sont les plus à même de simuler le fonctionnement des forêts en contexte de climat changeant.
- ➡ Le modèle GO+ appartient à la catégorie des modèles à base de processus. Initié en 1999, il est développé par l'Inra-ISPA (Bordeaux). Le calcul du bilan carbone des produits bois (stockage et substitution) a été réalisé à l'aide du logiciel CAT (*Carbon Assessment Tool*) développé par AgroParisTech Nancy, couplé avec le modèle GO+.

<sup>\*</sup> Interactions entre les fonctions physiologiques (échanges gazeux, assimilation minérale, croissance) des végétaux et leur milieu. *Vocabulaire forestier*, p.177. Éditions IDF-CNPF.

## Des tours à flux pour mesurer les échanges de CO<sub>2</sub> en forêt

Pour mieux comprendre le lien entre le cycle du carbone et les écosystèmes, des instruments mesurent les flux de CO<sub>2</sub>, de vapeur d'eau et de chaleur échangés entre la forêt et l'atmosphère. Ces flux sont calculés à partir de mesures continues à haute fréquence (10 Hz) de rayonnement, de concentrations en gaz et de paramètres météorologiques (vent, pression, température, humidité...) et

de la covariance entre ces grandeurs et la vitesse verticale du vent. En forêt, les instruments sont placés tout au long d'une tour et délivrent automatiquement des mesures, qui permettent de connaître les échanges avec une résolution d'une demi-heure.

Présentes dans certains peuplements depuis plus de 20 ans, ces mesures sont précieuses pour mieux

comprendre le fonctionnement de l'écosystème forestier, notamment en lien avec l'évolution du climat, pour étudier les processus responsables des flux ou encore mieux estimer les contributions respectives du sol et de la végétation au bilan carbone.

En forêt métropolitaine, six sites équipés de tour à flux font partie du réseau européen ICOS.



Tour instrumentée de Salles (33) dans un peuplement de pin maritime âgé de 14 ans.

Sites du réseau ICOS écosystème France. Les sites forestiers sont représentés par un triangle, les tourbières par un losange, les prairies par un carré et les cultures par un rond.



GO+ simule le fonctionnement d'une parcelle d'un hectare depuis la régénération jusqu'à la coupe finale. Cela peut être répété sur plusieurs révolutions.

Les simulations peuvent être projetées à des échelles spatiales variables, allant de la parcelle à la France entière. Les données d'entrée du modèle se composent de paramètres décrivant l'état initial du peuplement (âge, liste des hauteurs et diamètres individuels ou valeurs moyennes et écart-type), de variables climatiques au pas de temps journalier et des caractéristiques des opérations sylvicoles. GO+ s'est enrichi d'un module « nutriments » au cours du projet *Évafora*, permettant le calcul des concentrations en nutriments majeurs dans les différents compartiments de l'écosystème et les parties récoltées.

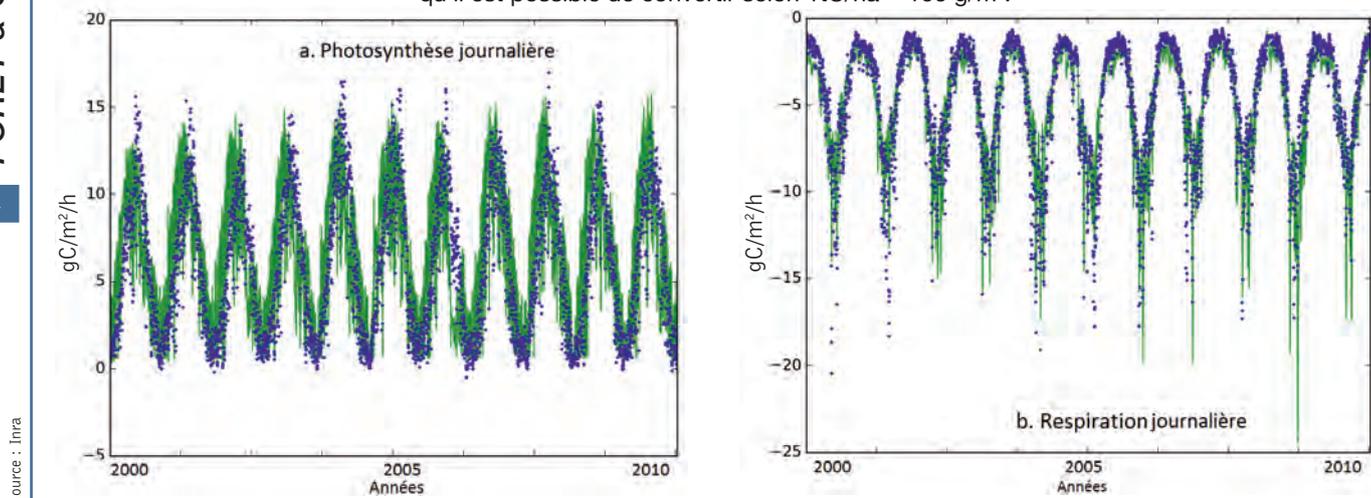
## Reproduire l'historique pour mieux se projeter dans le futur

Avant de simuler les climats futurs, il est essentiel de confronter le modèle à ce qui a été observé jusqu'à aujourd'hui en forêt. Le modèle est utilisé pour reproduire la croissance sur certains sites, en entrant les données climatiques mesurées localement et les opérations sylvicoles réalisées. Ces simulations sont comparées à deux types d'observations : des mesures de flux d'une part (*encadré En savoir<sup>+</sup>*) et des mesures dendrométriques d'autre part.

Ce travail a été mené sur toutes les essences simulées par GO+ et pour de nombreuses variables. Seules quelques variables simulées pour le douglas sont présentées ici. Faute de

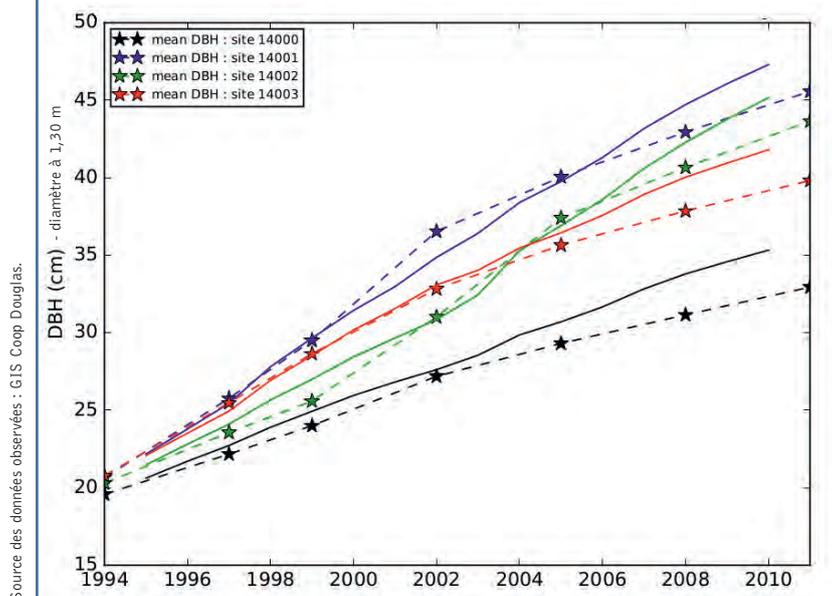
**Figure 1** - Mesures de flux de CO<sub>2</sub> entrant (photosynthèse) (a) et sortant (respiration) (b) entre 2000 et 2010 sur le site de douglas BC49 de l'île de Vancouver (points bleus) et modélisation de ces mêmes flux avec le modèle GO+ (courbes vertes).

Les flux de carbone se mesurent classiquement en gramme par mètre carré et par heure, qu'il est possible de convertir selon 1tC/ha = 100 g/m<sup>2</sup>.



Les pics correspondent aux saisons de végétation pour les deux types de flux. Les valeurs de photosynthèse sont globalement plus importantes que celles de la respiration, il en résulte donc une séquestration nette de carbone : la forêt se comporte comme un puits.

**Figure 2** - Évolution du diamètre moyen de différentes modalités d'éclaircie en forêt de Saint-Pardoux-Morterolles (tirets), confrontées aux simulations de GO+ (trait plein).



tour à flux (*En savoir\**) sur peuplement de douglas en Europe, ce sont les chronoséquences de l'île de Vancouver (Canada) qui ont été utilisées. Le modèle montre de bonnes facultés à simuler ces observations : car les flux prédits par le modèle GO+ et les flux relevés sont concordants (*figure 1*).

Par ailleurs, différents réseaux de mesures sont mobilisés pour l'évaluation du modèle sur les douglasaies françaises : le réseau Renecofor<sup>3</sup>, le réseau GIS « Coop de données », ainsi que des données internes au CNPF. GO+ reproduit correctement les effets de différentes modalités de sylviculture sur un même site (*figure 2*).

<sup>3</sup> Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers.

## Imaginer la gestion de demain

Deux territoires ont servi de support au projet : les Landes de Gascogne, où la culture du pin maritime prédomine et le Haut-Languedoc, territoire en limite sud des douglasaies du Massif central. L'objectif d'*Évafora* était d'impliquer les acteurs forestiers de ces territoires tout au long du déroulement du projet. Des ateliers sont organisés en deux temps sur chacun des territoires. Un premier atelier a permis de présenter la démarche, d'expliquer l'intérêt du modèle utilisé et ses limites par des exemples. Au cours de cet atelier, les sylviculteurs ont aussi pu définir individuellement des scénarios de gestion jugés pertinents et opérables en termes d'adaptation au changement climatique. Une synthèse est ensuite effectuée pour sélectionner les itinéraires techniques qui pouvaient être testés et simulés par GO+ (excluant de fait les options de mélange et de sylviculture irrégulière non modélisables) et en sélectionnant les gestions les plus contrastées. Dans un second temps, des ateliers de restitution ont été conduits sur chacun des territoires.

## Itinéraires techniques sélectionnés

Cinq itinéraires retenus synthétisés en *figure 3* se déclinent d'un cycle long à faible densité à un cycle court à forte densité.

## Scénarios de climat futur

Le climat du siècle à venir est fonction des émissions de gaz à effet de serre (GES) planétaires et de leur accumulation dans l'atmosphère. D'énormes incertitudes existent quant au niveau futur des émissions mondiales,

Figure 3 - Représentation schématique des itinéraires techniques étudiés dans le cadre d'Évafora. Pin maritime à gauche et douglas à droite ; E : éclaircie (taux de 30 %), EB : éclaircie biomasse, CR : coupe rase

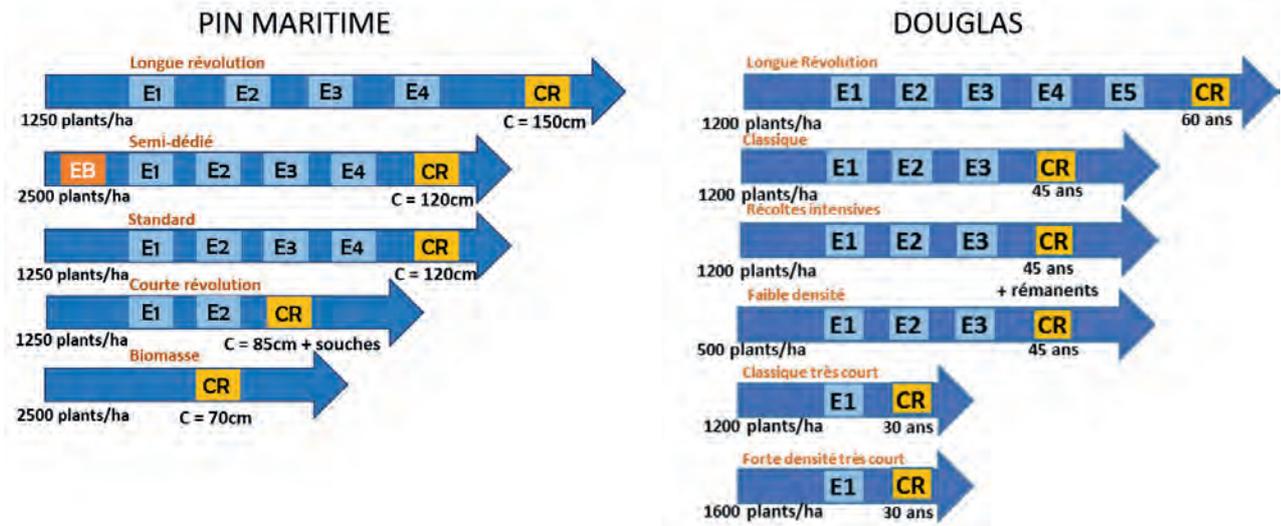
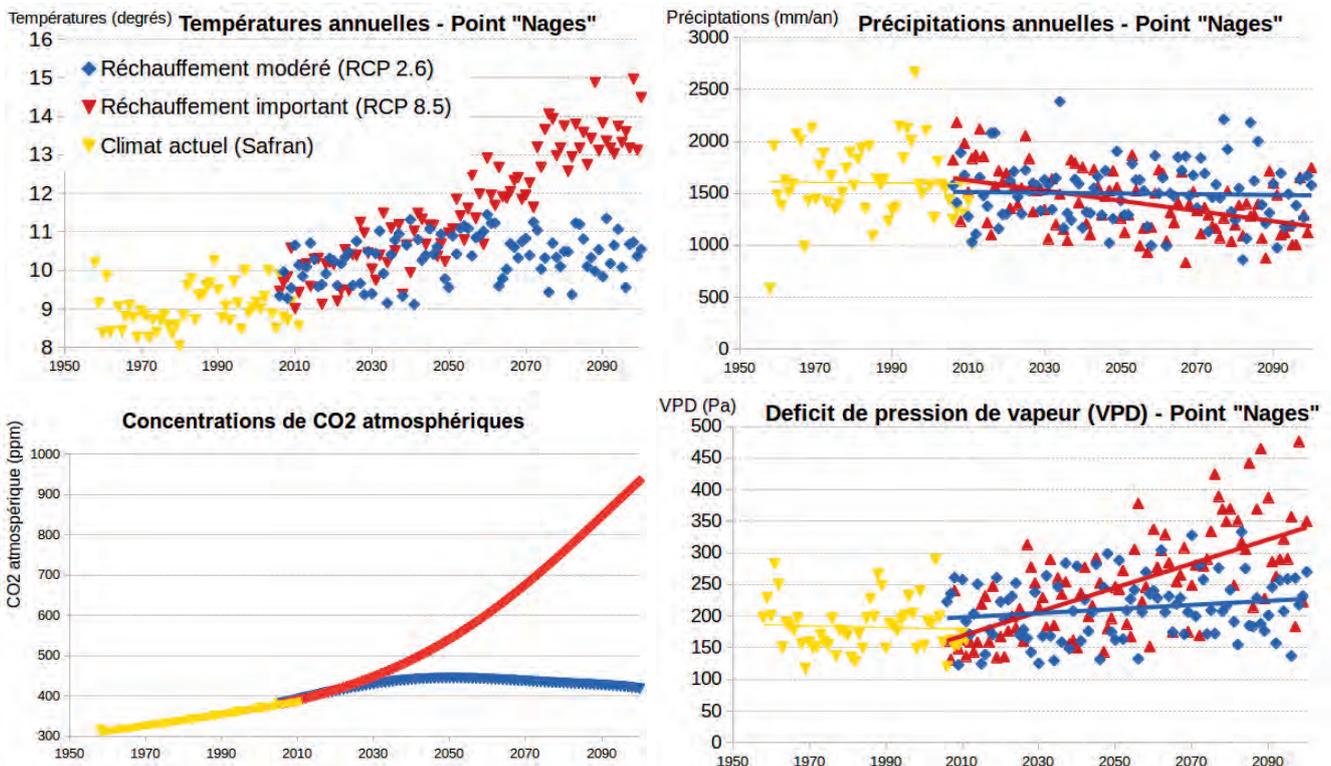


Figure 4 - Évolution de 3 variables climatiques et des concentrations de CO<sub>2</sub> atmosphérique selon les scénarios RCP 2.6 et 8.5 de 2006 à 2100 ainsi qu'en fonction des mesures historiques de 1960 à 2010.

Données CNRM pour le point de la grille Safran situé au niveau de la commune de Nages (81) dans le Parc du Haut-Languedoc.



éminemment dépendantes de contextes géopolitiques, des évolutions technologiques et socio-économiques. C'est pourquoi les scientifiques construisent des scénarios cohérents d'émissions mondiales de GES, sans probabilité d'occurrence. Les derniers scénarios du GIEC<sup>4</sup> (issus du 5<sup>e</sup> rapport de 2014) sont nommés RCP<sup>5</sup> : ils sont au nombre de quatre. Les climatologues modélisent les climats futurs possibles au niveau régional et local à partir de ces RCP. Le modèle climatique utilisé ici est le modèle Aladin développé par le CNRM<sup>6</sup> et dont les simulations sont disponibles sur le

portail *Drias*<sup>7</sup> à une résolution de 8 x 8 km sur la France entière. Seuls les résultats obtenus sur les deux scénarios extrêmes sont retenus :  
 ► le scénario climatique « optimiste » (RCP 2.6) avec un réchauffement de la température contenu à 2° C d'ici à 2100 ;  
 ► le scénario climatique « pessimiste » (RCP 8.5) avec un réchauffement de la température de 4 à 5° C d'ici à 2100.

<sup>4</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

<sup>5</sup> Representative Concentration Pathway.

<sup>6</sup> Centre national de recherches météorologiques, lié à Météo France.

<sup>7</sup> *Drias les futurs du climat*, projections climatiques pour l'adaptation de nos sociétés.

*Même s'il est complexe de modéliser les scénarios climatiques, ces courbes montrent l'accélération du réchauffement climatique. Pour chacune des variables, les scénarios ne se différencient vraiment qu'après 2050.*

Figure 5 - Évolution des stocks de carbone biomasse selon plusieurs scénarios climatiques. Simulation douglas pour l'itinéraire technique « Standard » et une réserve utile maximale de 90 mm.

*Le stockage du carbone diminue sous l'effet du réchauffement climatique, quels que soient l'essence et les scénarios sylvicoles étudiés.*

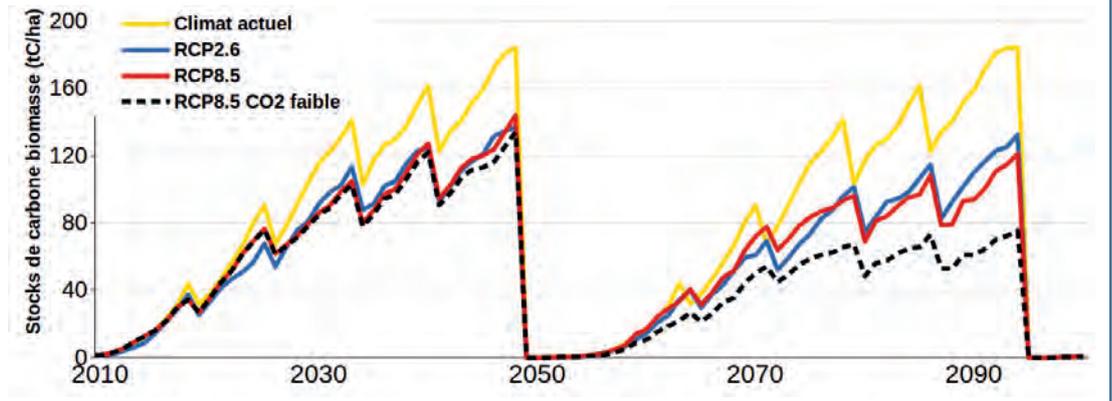
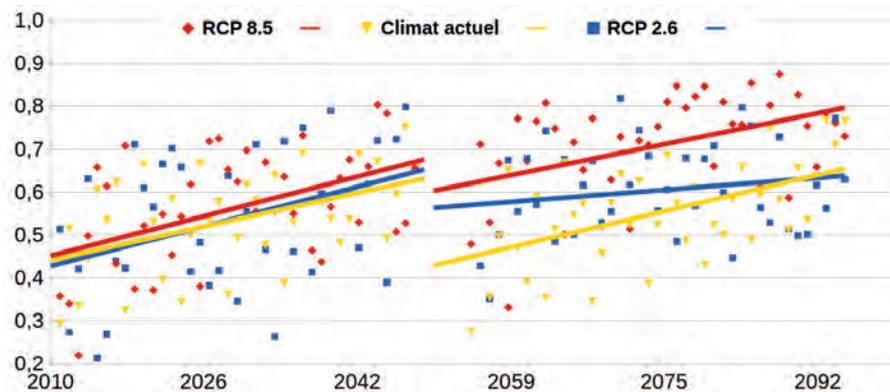


Figure 6 - Indices annuels de stress hydrique pour différents scénarios climatiques et sur deux révolutions forestières pour le douglas.



*Plus l'indice de stress est élevé, plus les arbres ont fermé leurs stomates en raison d'un manque d'eau dans le sol et dans l'air. Un indice de stress supérieur à 0,6 indique un fonctionnement du peuplement très marqué par les stress hydriques.*

### Quels enseignements des modélisations Évafora ?

Quelles que soient l'essence et la localisation des simulations, la production forestière, et ainsi les stocks de carbone « biomasse », diminuent sous l'effet du changement climatique par rapport à ce qui a été simulé pour un climat historique stable (figure 5). Les productions et donc les stocks de carbone « biomasse » sont équivalents selon les deux RCP pourtant drastiquement différents pour le bilan hydrique. Ceci est surprenant à première vue, car la diminution des précipitations, l'augmentation de la température et du déficit de vapeur d'eau pour la seconde moitié du XXI<sup>e</sup> siècle en RCP 8.5 (figure 4) laissaient présager une diminution de la croissance des peuplements sous l'effet du stress hydrique.

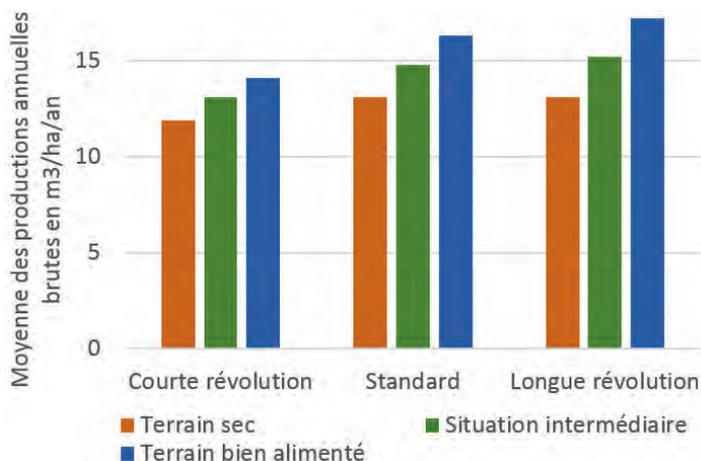
En fait, la très forte augmentation du CO<sub>2</sub> at-

mosphérique en RCP 8.5 (figure 4, graphe du bas à gauche) compense les effets négatifs du stress hydrique sur la biomasse. Un scénario fictif « hybride », combinant le climat du RCP 8.5 et les concentrations atmosphériques du RCP 2.6, a été testé pour vérifier cette hypothèse. Les résultats en termes de carbone biomasse montrent alors une forte chute après 2050 (en noir sur la figure 5), ce qui met bien en évidence les deux effets contradictoires du scénario RCP 8.5 et confirme la compensation par l'accroissement en CO<sub>2</sub> des effets négatifs de l'évolution du climat sous RCP 8.5.

Sans cet effet compensateur du CO<sub>2</sub>, les stocks de carbone biomasse sont diminués de l'ordre de 40 % en 2100 par rapport au RCP 2.6, sous l'effet du stress hydrique. Cet effet de fertilisation du CO<sub>2</sub>, observé par ailleurs au cours du XX<sup>e</sup> siècle, est toutefois incertain dans le futur pour plusieurs raisons : les mor-

**Figure 7 - Production annuelle en volume bois fort pour 3 itinéraires de pin maritime selon les types de milieu.**

*L'alimentation en eau influera davantage la production en volume de bois que le climat !*



**À retenir**

Un modèle numérique a simulé la croissance de pin maritime et de douglas, suivant cinq scénarios divers du productiviste à l'extensif. Le changement climatique diminuera la production forestière, donc le stockage du carbone. L'alimentation en eau influera davantage la production en volume de bois que le climat. Pour mieux s'adapter au changement climatique, la sylviculture devra maintenir une couverture foliaire optimale.

**Mots-clés :** Changement climatique, modélisation, sylviculture, douglas, pin maritime.

talités liées au stress hydrique, non simulées ici, pourraient grever la production sur le long terme<sup>8</sup>, tout comme l'apparition d'autres limitations, par exemple en éléments minéraux.

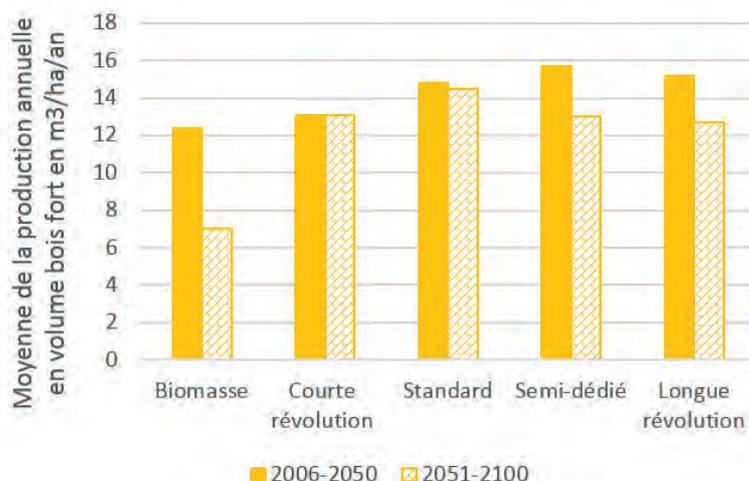
L'analyse des indices de stress annuels montre une augmentation après 2050, pour le RCP 8.5 (figure 6). Ceci montre clairement l'augmentation de la vulnérabilité du douglas aux risques de stress hydrique en RCP 8.5 par rapport au scénario historique ou au RCP 2.6.

Par ailleurs, les résultats de la modélisation nous montrent que **l'impact de la réserve utile sur la production des peuplements prédomine sur celui du climat.**

Pour le pin maritime, les différences de production selon l'alimentation en eau sont nettement supérieures à celles observées en fonction des scénarios climatiques. En lande humide assainie ou en lande mésophile (où la réserve utile est élevée), les productions sont les plus fortes (figure 7). On observe même des différences de production d'environ 30 % entre des peuplements en lande sèche et ceux en lande humide pour l'itinéraire « Longue révolution ».

**La sensibilité des peuplements aux variations du climat peut être régulée par la sylviculture.** Les peuplements qui présentent un indice foliaire élevé (c'est-à-dire une densité de feuillage élevée) seront parmi les plus exposés au changement climatique. Par exemple, pour le pin maritime, c'est le cas des itinéraires Biomasse et Longue révolution : ramenés par unité de temps, ces itinéraires présentent le nombre d'éclaircies le plus faible et pour

**Figure 8 - Production annuelle en volume bois fort pour les 5 itinéraires étudiés en futur proche et futur lointain (Pin maritime) en RCP 8.5.**



l'itinéraire Biomasse, une surdensité tout au long de la révolution.

**Un des enseignements de cet exercice de modélisation est, qu'afin de maintenir un indice foliaire optimal permettant de s'adapter au changement, les éclaircies doivent suivre le rythme de croissance des peuplements.** Les itinéraires Standard et Courte révolution sont les plus résilients face aux variations du climat en termes de croissance, production et fonctionnement (figure 8). L'évapotranspiration de ces itinéraires reste stable jusqu'en 2100 : ils optimisent l'utilisation de l'eau afin de produire un même volume de bois fort.

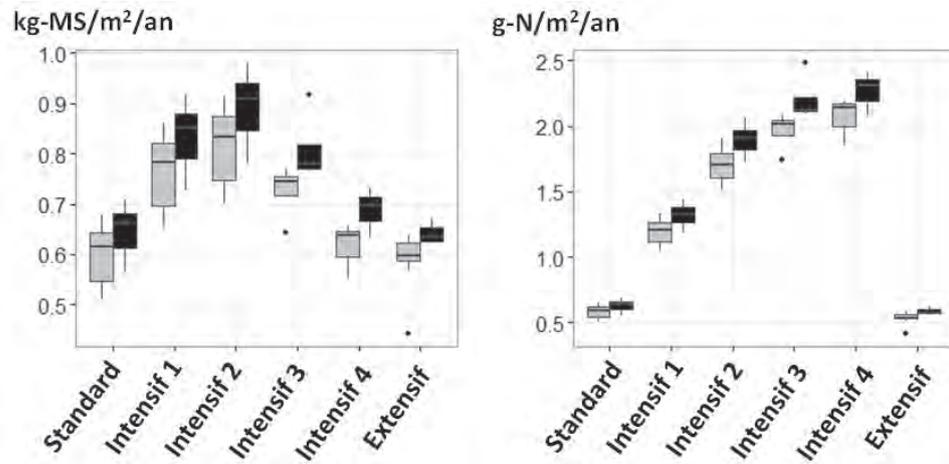
*Les itinéraires Standard et Courte révolution sont les plus résilients face aux modifications du climat qui interviennent principalement après 2050.*

<sup>8</sup> Sergent A.S., Bréda N., 2013. *Récent dépérissement du douglas : des sécheresses extrêmes et récurrentes en cause.* Forêt-entreprise n° 208 p. 19-23.

Sur le long terme, la récolte de compartiments supplémentaires (souches, branches, feuillage) induit des exportations de nutriments qui appauvrissent l'écosystème. La diminution de la durée de révolution implique également des exportations de nutriments.

Figure 9 - Bilan des itinéraires techniques en termes de biomasse (matière sèche) récoltée (à gauche) et nutriments exportés (à droite) : exemple de l'azote.

Exportations moyennes annuelles pour le pin maritime sur la période 2006-2100, sous RCP 2.6 (gris) et 8.5 (noir).



## Quels impacts sur les nutriments et le carbone du sol ?

Un travail complémentaire sur les éléments majeurs a été réalisé dans le but d'évaluer les itinéraires sylvicoles vis-à-vis de la durabilité de la fertilité chimique des sols.

### Élaboration d'un « module nutriment »

Le module « nutriments » est couplé au modèle GO+. Le contenu en nutriments (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium) est calculé pour chaque compartiment (feuilles, branches, tronc, racines fines, petites, moyennes et grosses) en fonction de ses dimensions et de l'âge des arbres. Les stocks de nutriments dans le sol sont par ailleurs calculés. Les changements de stock de nutriments sont comparés à des bilans entrées-sorties dans l'écosystème pour l'azote et le phosphore. Les flux entrants pris en compte sont les dépôts atmosphériques, la fixation non symbiotique et symbiotique de l'azote, l'éventuelle fertilisation phosphatée à l'installation du peuplement, l'apport de phosphore par altération des minéraux et les flux sortants concernent les exportations liées aux récoltes et la lixiviation<sup>9</sup> en fonction de la durée écoulée après coupe rase.

Les itinéraires étudiés dans cette partie sont légèrement différents : pour chacune des 2 essences, l'itinéraire standard est le même que décrit précédemment, l'itinéraire intensif 1 est identique au standard avec un prélèvement

supplémentaire des branches et souches pivots en coupe finale, l'intensif 2 prélève en plus les aiguilles, et l'intensif 3 reprend les caractéristiques de l'intensif 2 mais s'accompagne d'une réduction de la durée de révolution. L'intensif 4, uniquement présent pour le pin correspond à une sylviculture semi-dédiée. Enfin, l'itinéraire nommé « extensif » correspond à une durée de révolution plus longue que le standard.

### Perte de nutriments

La figure 9 décrit le bilan azoté de rotations de pin maritime. Des résultats similaires sont obtenus pour les autres nutriments et dans le cas du douglas<sup>10</sup>. La figure 10 illustre l'impact de différentes sylvicultures et climats sur les stocks de nutriments du sol. Les principaux enseignements sont les suivants :

► conformément à ce qui a été démontré dans des études précédentes, la **récolte des rémanents** conduit à une **augmentation importante des exportations de nutriments**. Ceci est plus particulièrement vrai lorsque le feuillage, riche en éléments minéraux, est prélevé (itinéraire intensif 2), alors que le gain en biomasse récoltée avec ce compartiment est faible ;

► La **réduction de la durée de révolution** (intensif 3) conduit à une **perte de biomasse récoltée** et une **augmentation des exportations de nutriments**. En effet, la concentration en éléments minéraux diminue avec l'âge des arbres : on exporte donc davantage en récoltant des arbres plus jeunes ;

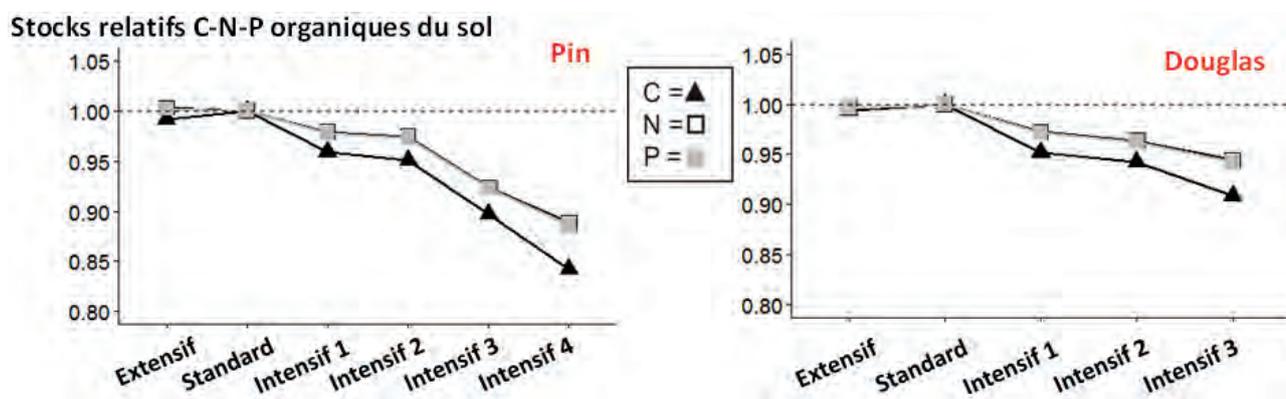
<sup>9</sup> Migration verticale ou latérale des ions en solution dans le sol. *Vocabulaire forestier*, Éditions IDF-CNPF, p. 304.

<sup>10</sup> Achat D. L., Martel S., Picart D., Moisy C., Augusto L., Ronald Bakker M., Loustau D., 2018. *Modelling the nutrient cost of biomass harvesting under different silvicultural and climate scenarios in production forests*. *Forest Ecology and Management* 429, 642-653.

**Figure 10** - Stocks carbone (triangles), azote (carrés blancs) et phosphore (carrés gris) organiques du sol (moyennes sur la période 2006-2100), exprimés relativement à l'itinéraire standard.

Simulations pin maritime et douglas.

La récolte des rémanents et feuillages (intensif 2) exporte les nutriments et induit une perte de 5 % du carbone du sol par rapport à l'itinéraire standard, pour le pin maritime et le douglas.



➔ cette augmentation des exportations d'azote et de phosphore peut être en partie compensée par une augmentation de la fixation symbiotique pour l'azote (qui est plus importante dans les jeunes plantations) et la fertilisation pour le phosphore ;

➔ **la récolte des rémanents conduit à une perte de carbone du sol de l'ordre de 5 %** (figure 10), ce qui a déjà été montré par méta-analyse de données expérimentales ;

➔ **la réduction de la durée de révolution** a un effet négatif supplémentaire (diminution atteignant jusqu'à - 16 %) ; c'est principalement lié à la **perte de productivité lors des années** qui suivent la coupe rase : les retours au sol de matière organique sont globalement plus faibles dans les itinéraires à courte rotation. Les stocks d'azote et de phosphore étant très liés à la matière organique, ils sont aussi affectés ;

➔ enfin, les simulations montrent que les exportations de nutriments et par conséquent les bilans entrées-sorties varient également entre les scénarios climatiques. Nous observons notamment une plus forte productivité et donc une récolte de biomasse et des exportations de nutriments plus importantes sous RCP 8.5 (figure 9), liées à un **effet « fertilisant » de l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique**.

## Vers un site Internet *Forêts-21* : les forêts du futur

Ces travaux sont aujourd'hui prolongés par le projet *Forêts-21* : un portail web est en construction pour mettre à disposition des simulations de différents modes de gestion en contexte de changement climatique de 2020 à 2100. Ce portail servira à la planification stratégique de la gestion, aux échelles nationales, régionales ou de massif. Il est prévu que le modèle GO+ soit adapté aux chênes sessile et pédonculé, afin de couvrir les principales essences de production françaises.

Les résultats d'un nombre important de simulations, couvrant une diversité de réserves hydriques, d'itinéraires de gestion, de scénarios climatiques, de classes d'âge, à différentes échelles spatiales seront rendus disponibles aux décideurs et sylviculteurs désireux de disposer d'outil d'aide à la décision en contexte incertain. La construction de ce portail se fait en lien étroit avec les futurs utilisateurs de l'outil pour que ce dernier réponde au mieux à leurs attentes. ■

## Remerciements

Les auteurs remercient l'Ademe pour le financement et l'accompagnement du projet Evafora ainsi que l'Inra et le CNPF pour le projet de détachement à l'Inra de Simon Martel. Ils remercient également les personnes ayant contribué à cette étude, notamment les ingénieurs et techniciens des CRPF Occitanie et Nouvelle-Aquitaine, ainsi que les sylviculteurs ayant activement participé aux ateliers organisés. Nous remercions le GIS coopérative de données sur la croissance des plantations forestières (GIS Coop) porté par le CNPF, le CPFA, le FCBA, l'Inra, l'Irstea et l'ONF pour la gestion des dispositifs expérimentaux étudiés et pour la mise à disposition de ces données. Nous remercions plus particulièrement les GIS Coop Douglas et Pin maritime et le MAA pour son soutien au GIS Coop.

## En savoir +

[www.cnpf.fr/n/projet-forets--les-forets-du-futur/n:3490](http://www.cnpf.fr/n/projet-forets--les-forets-du-futur/n:3490)

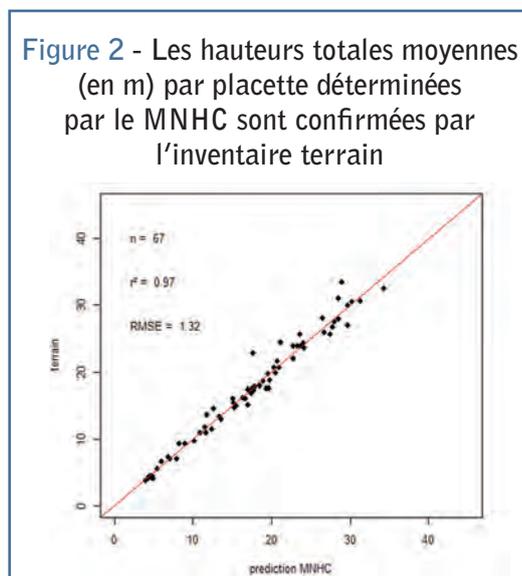
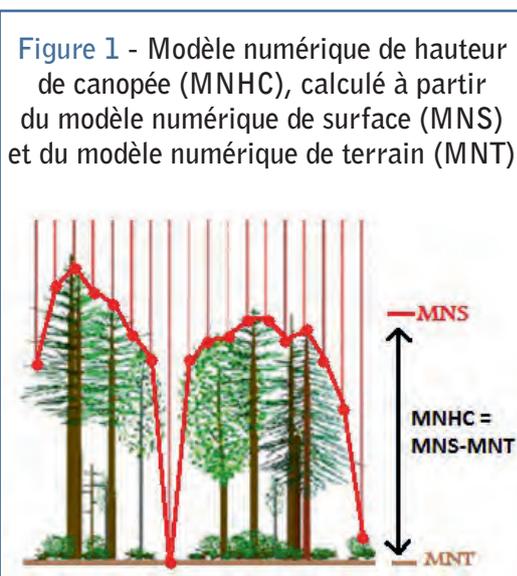
# Quels outils pour estimer les stocks de carbone du pin maritime dans les Landes ?

<sup>1</sup> Telespazio France, Aérocampus 1 route de Cénac, 33360 Latresne



Par Lucie Rupil et Amélie Castro, CNPF-CRPF Nouvelle-Aquitaine, Jean-Charles Samalens, Telespazio<sup>1</sup>

*L'estimation des stocks de carbone des forêts de pin maritime des Landes de Gascogne est mieux connue grâce à la modélisation et aux travaux du CRPF Nouvelle-Aquitaine.*



Dans le cadre du programme européen *Life Forest CO<sub>2</sub>* (2016-2019), une première phase réalisée en collaboration avec la société Telespazio France a validé une méthode innovante d'estimation des stocks de carbone sur pied en utilisant des images 3D stéréoscopiques<sup>1</sup>. Dans un deuxième temps, le bilan carbone du pin maritime pour différents itinéraires sylvicoles est calculé en combinant l'utilisation d'un modèle de croissance et d'un logiciel de quantification de la séquestration carbone.

## Détermination des stocks de carbone sur pied à partir d'un modèle numérique de hauteur de canopée (MNHC) sur une forêt de pin maritime

Le MNHC est un modèle calculé à partir de données altimétriques et géoréférencées produites par corrélation entre plusieurs images aériennes. Les données brutes du MNHC

sont des hauteurs de canopée correspondant à une différence entre des altitudes du relief (calculées à partir d'un modèle numérique de surface) et des altitudes du terrain (calculées par un modèle numérique de terrain, *figure 1*). Ces hauteurs peuvent alors être associées à une hauteur totale de l'arbre ou à une hauteur de végétation du sous-bois par exemple.

À partir de ces données, il est dans un premier temps nécessaire d'extraire des variables dendrométriques, ici des hauteurs totales des arbres, à l'aide d'un modèle statistique pour estimer par la suite des volumes de bois puis les convertir en stocks de carbone.

Une campagne de mesures en forêt (*encadré p. 39*) a été réalisée afin de définir le meilleur modèle statistique de prédiction des hauteurs totales des arbres à partir des données du MNHC. L'inventaire forestier a permis de comparer au même endroit les hauteurs modélisées par le MNHC avec des hauteurs mesurées sur le terrain.

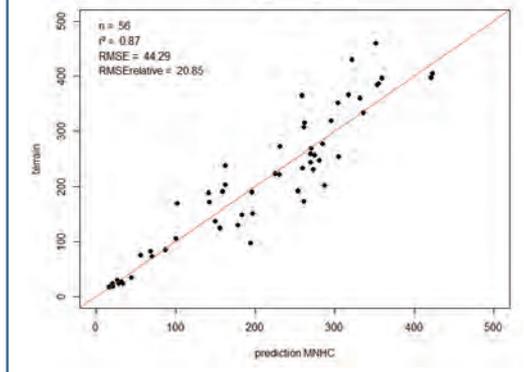
<sup>1</sup> Relatif à un stéréoscope : instrument optique de représentation du relief du terrain à partir de photos aériennes. *Vocabulaire forestier*, p.483. Éditions CNPF-IDF.

## Une campagne de mesures

L'inventaire forestier a été réalisé au domaine des Agreux (Fondation Jacques et Françoise Lescouzères, Retjons, Landes), sur environ 650 ha de forêt de pin maritime en futaie régulière, dont les âges sont connus.

- ⇒ 72 placettes d'environ 400 m<sup>2</sup> inventoriées réparties dans toutes les classes d'âge, soit 1 placette pour 10 ha
- ⇒ 6 jours de mesures terrain à 2 opérateurs
- ⇒ Plusieurs paramètres relevés :
  - le point GPS du centre de la placette ;
  - les hauteurs et circonférences des 10 arbres les plus proches du centre ;
  - la densité ;
  - la fraction de trouée (estimation visuelle du couvert) ;
  - la hauteur moyenne du sous-bois.

**Figure 3** - Validation des résultats de volume total prédits à partir du MNHC (en m<sup>3</sup>/ha) avec ceux calculés à partir des données de terrain.



**Le modèle retenu** (qui se base sur le calcul du 95<sup>e</sup> percentile de la distribution des hauteurs) assure une très bonne corrélation entre les hauteurs prédites par le MNHC et les hauteurs mesurées sur le terrain (figure 2, r<sup>2</sup> = 0,97) avec une erreur standard du modèle de 1,3 m, comparable à l'erreur de mesure terrain.

La deuxième étape consiste à estimer des volumes à partir d'un modèle (encadré + technique) intégrant uniquement des hauteurs totales moyennes prédites par le MNHC et la fraction de trouées. Le modèle, une fois calibré, donne des valeurs de volume total de peuplement avec une erreur de 20 % (figure 3, r<sup>2</sup> = 0,87, pour des peuplements dont le volume total est < à 500 m<sup>3</sup>/ha).

Des cartographies de volume, de biomasse et de stocks de carbone peuvent être produites à l'échelle de la propriété forestière par

Le modèle utilisé est le modèle de Bouvier<sup>1</sup> qui intègre 3 variables : hauteurs (H), variance de la hauteur et fraction de trouées (FT).

$$\text{Vol} = b_0 \times H^{b_1} \times \text{var}(H)^{b_2} \times \text{FT}^{b_3}$$

Les constantes du modèle (b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> et b<sub>3</sub>) ont été calibrées avec les volumes calculés par la formule du volume total pour le pin maritime issue du projet EMERGE<sup>2</sup>, en intégrant les hauteurs et diamètres mesurés sur le terrain.

<sup>1</sup> Bouvier M. et al., 2015. Generalizing predictive models of forest inventory attributes using an area-based approach with airborne LIDAR data, Remote Sensing of Environment, 156, p. 322-334.

<sup>2</sup> Deleuze C. et al., 2014. Estimer le volume total d'un arbre, quelles que soient l'essence, la taille, la sylviculture, la station. Rendez-vous techniques de l'ONF, n° 44, p. 22-32.

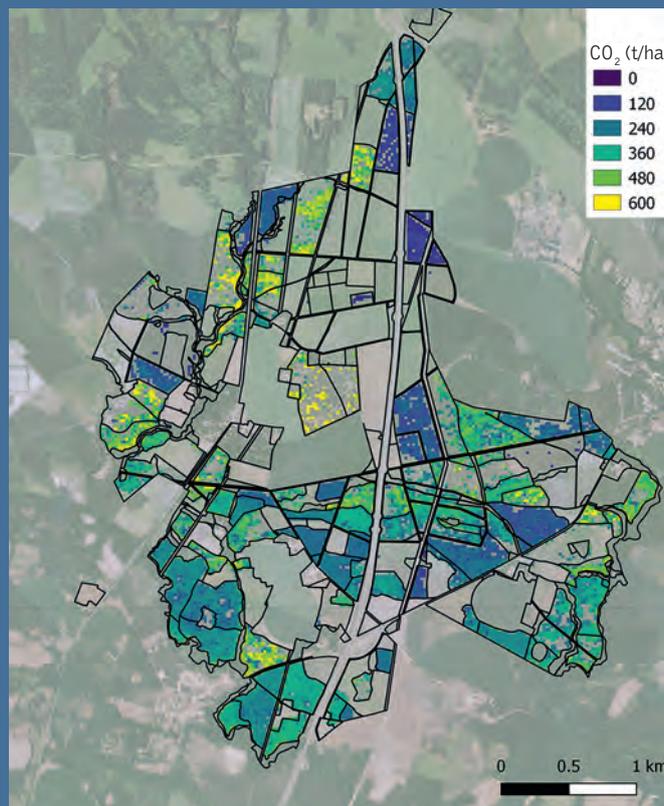
blocs de 400 m<sup>2</sup> (correspondant à la surface d'une placette d'inventaire, figure 4 page 40) ou agrégées par unité de gestion forestière (à l'échelle du peuplement).

Le MNHC utilisé ici, issu de photographies aériennes, présente quelques contraintes pour l'estimation des volumes de bois et des stocks de carbone. Il n'est utilisable que pour des peuplements réguliers de plus de 5 ans. Il reste peu performant pour des peuplements hétérogènes ou en sous-densité, pour lesquels il est difficile d'estimer la fraction de trouées avec précision. Bien que la période d'acquisition des photographies aériennes soit de 4 ans, le modèle peut être ajusté pour tenir compte de la croissance des arbres en intégrant les coupes réalisées entre les prises de vue.

Ce système reste néanmoins bien adapté à une essence comme le pin maritime, dont la sylviculture se caractérise par des

+ TECHNIQUE

Figure 4 - Cartographie des stocks de carbone dans la biomasse aérienne du pin maritime (en tCO<sub>2</sub>/ha) par bloc de 400 m<sup>2</sup> sur le domaine des Agreaux.



La réalisation d'une estimation des stocks de carbone comprenant l'achat de la dalle du MNHC, le temps d'inventaire forestier et la prestation de traitement des données est accessible à des tarifs allant de 20 à 80 €/ha selon la surface à couvrir (contact : jean-charles.samalens@telespazio.com).

peuplements réguliers et homogènes. Les limites d'actualisation et d'exhaustivité des peuplements inventoriés peuvent être levées efficacement en produisant un MNHC à partir d'images acquises par drone, une alternative efficace à l'échelle de la propriété forestière.

### Modélisation du bilan carbone en forêt de pin maritime pour plusieurs itinéraires sylvicoles

Le bilan carbone des peuplements de pin maritime en futaie régulière est modélisé à l'aide du logiciel gratuit CO2Fix<sup>2</sup>. L'utilisateur peut simuler l'évolution dans le temps des stocks de carbone en forêt et dans les produits bois et les comparer selon plusieurs itinéraires sylvicoles.

Le logiciel quantifie, chaque année, les stocks de carbone dans trois compartiments :

- **la biomasse** (tronc, aiguilles, racines et branches) ;
- **le sol** en tenant compte des données climatiques et des taux d'apport de carbone provenant de la biomasse ;
- **les produits bois** en renseignant le devenir des produits issus de la coupe ainsi que leur transformation en fin de vie (recyclage, mise en décharge, incinération).

Pour estimer la séquestration du carbone dans la biomasse, des données de croissance sont nécessaires. Les modélisations de croissance du pin maritime selon différents itinéraires ont été réalisées en utilisant la plateforme Capsis<sup>3</sup> de simulation de croissance des arbres et le modèle de croissance PP3<sup>4</sup> adapté au pin maritime des Landes de Gascogne.

Quatre itinéraires sylvicoles sont étudiés pour le pin maritime à partir des itinéraires post tempête proposés dans le rapport « État des connaissances techniques, Massif des Landes de Gascogne » du CRPF Aquitaine de 2015 (tableau 1).

### Comparaison des bilans carbone des 4 itinéraires étudiés sur 100 ans

Les itinéraires sylvicoles n'ont pas la même durée de révolution, ce qui entraîne des difficultés pour comparer leur niveau de stock sur une durée donnée.

La comparaison des bilans carbone de différentes sylvicultures repose sur la valeur moyenne des stocks de carbone sur une durée de simulation choisie (les valeurs de

<sup>2</sup> Logiciel développé lors du projet CASFOR financé par le programme INCO-DC de l'Union européenne et mené par l'institut néerlandais Alterra.

<sup>3</sup> Dufour-Kowalski S., Courbaud B., Dreyfus P., Meredieu C., Coligny F. de, *Capsis : an open software framework and community for forest growth modelling*, *Annals of Forest Science*, (2012) 69:221-233.

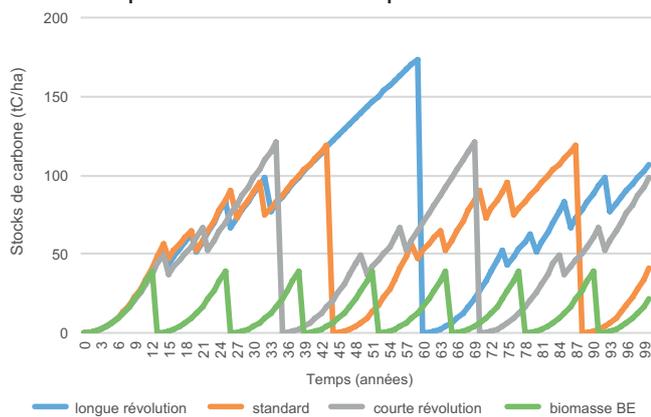
<sup>4</sup> Meredieu C., 2002 - *Intégration dans Capsis d'un modèle de croissance du pin maritime développé par l'Inra*.

**Tableau 1 - Caractéristiques des itinéraires sylvicoles étudiés pour le pin maritime en classe de fertilité moyenne ( $H_0 = 23,5$  m à 40 ans).**

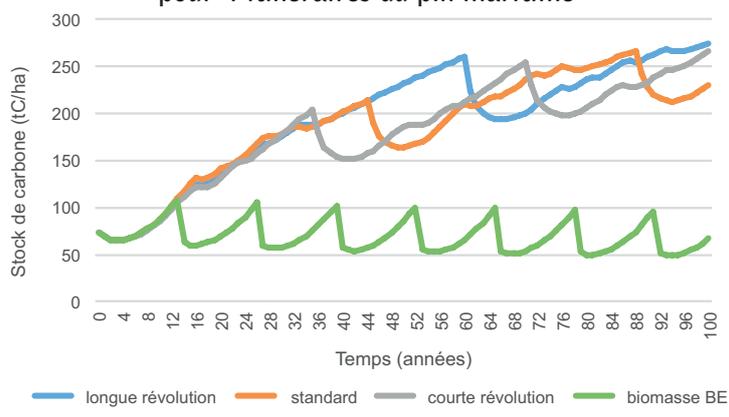
Pour l'itinéraire Biomasse Bois énergie, l'arbre entier est récolté, contrairement aux autres itinéraires où seul le tronc est prélevé. Chaque éclaircie (E1, E2,...) prélève 30 % du volume du peuplement.

	Densité initiale (tiges/ha)	Éclaircies (E)				Coupe rase
		E1	E2	E3	E4	
Longue révolution	1 250	15 ans	20 ans	26 ans	33 ans	60 ans
Standard	1 250	15 ans	20 ans	27 ans	32 ans	44 ans
Courte révolution	1 250	15 ans	22 ans	-	-	35 ans
Biomasse BE (Bois énergie)	1 250	-	-	-	-	13 ans

**Figure 5 - Évolution des stocks de carbone dans la biomasse (en tC/ha) sur 100 ans pour 4 itinéraires du pin maritime**



**Figure 6 - Évolution des stocks de carbone total : dans la biomasse, le sol et les produits bois (en tC/ha) sur 100 ans pour 4 itinéraires du pin maritime**



stock sont additionnées chaque année puis divisées par la durée totale).

En considérant uniquement **le bilan carbone dans la biomasse** des peuplements de pin maritime, l'itinéraire qui stocke le plus de carbone sur 100 ans est l'itinéraire Longue révolution du fait d'une plus longue durée de révolution (voir figure 5 et tableau 2). Cependant, cet itinéraire est aussi celui qui présente une exposition aux risques la plus élevée (non pris en compte par le calculateur).

En considérant cette fois-ci **le bilan carbone total** (dans la biomasse, le sol et les produits), les itinéraires Standard et Courte révolution

montrent des stocks de carbone relativement similaires à l'itinéraire Longue révolution (tableau 2 et figure 6).

► Pour des itinéraires plus dynamiques comme les itinéraires Standard ou Courte révolution, la fréquence plus élevée des prélèvements et la récolte majoritaire de bois d'œuvre (dont les durées de vie des produits sont les plus longues) favorisent davantage l'effet de prolongation du stockage du carbone dans les produits bois.

L'évolution du stock de carbone pour l'itinéraire Biomasse BE est très différente (figure 6). On observe une diminution du stock dans le temps liée à :

**Tableau 2 - Stocks moyens de carbone dans les différents compartiments étudiés (biomasse, sol et produits bois) sur 100 ans (en tC/ha) pour 4 itinéraires du pin maritime**

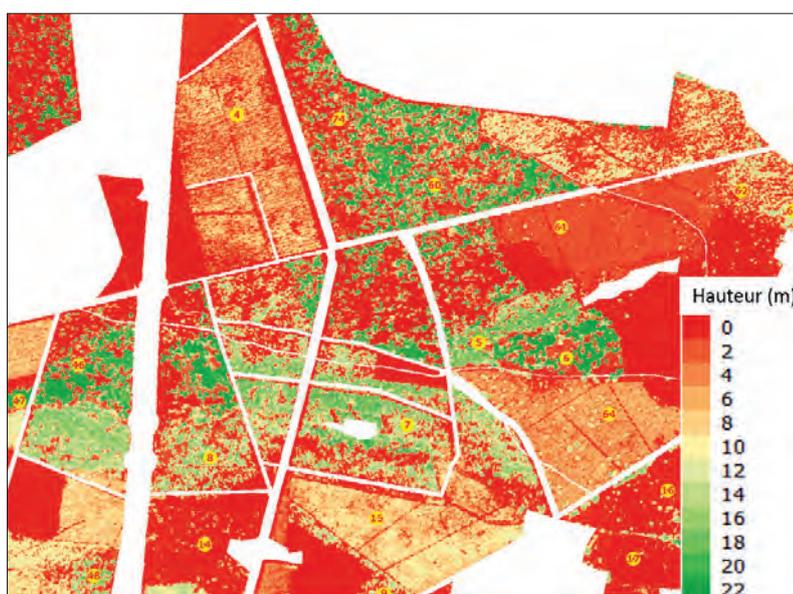
	Stocks moyens de carbone sur 100 ans (en tC/ha)		
	Biomasse	Biomasse + sol	Biomasse + sol + produits bois
Longue révolution	71,6	134,2	193,2
Standard	54,3	117,6	184,5
Courte révolution	47,4	111,0	178,9
Biomasse BE	12,7	65,7	68,7

## À retenir

[www.cnpf.fr/n/valoriser-le-stockage-du-carbone-en-foret/n:2501](http://www.cnpf.fr/n/valoriser-le-stockage-du-carbone-en-foret/n:2501)  
[www.cnpf.fr/n/le-carbone-forestier-en-nouvelle-aquitaine/n:3485](http://www.cnpf.fr/n/le-carbone-forestier-en-nouvelle-aquitaine/n:3485)

Une méthode innovante d'évaluation des stocks de carbone dans des peuplements de pin maritime à partir de données issues de corrélation d'images aériennes donne des résultats avec une précision de 80 % par rapport à ceux issus d'inventaire forestier. Une analyse des bilans carbone du pin maritime comparés pour 4 itinéraires définit l'itinéraire Standard comme le plus optimal en termes de stockage carbone en forêt et dans les produits bois.

Mots-clés : pin maritime, stocks de carbone, itinéraires sylvicoles, modèle de croissance, Modèle numérique de hauteur de canopée (MNHC).



© Telespazio France

Modèle numérique de hauteur de canopée (MNHC) sur une partie du Domaine des Agreaux (40) et localisation des placettes d'inventaire.

- ▣ l'exportation de la totalité de la biomasse aérienne induisant une diminution progressive du stock du carbone dans le sol,
- ▣ la production de bois énergie qui ne permet pas de prolonger le stockage du carbone dans les produits.

Le logiciel CO2Fix est un outil intéressant pour faire des comparaisons de bilan carbone entre différents types de sylviculture. Les résultats absolus sont quant à eux à utiliser avec précaution du fait de l'intégration des accroissements courants annuels en volume dans le calcul des stocks de carbone, paramètres présentant de grandes variabilités et l'absence de prise en compte de l'effet du travail du sol (coupe

rase, travaux de préparation) sur la variation des stocks de carbone dans le sol.

Malgré les réserves émises sur les calculs, l'itinéraire standard du pin maritime paraît être un bon compromis en termes de bilan carbone, entre stockage du carbone sur pied, fréquence des renouvellements des peuplements et approvisionnement à la filière en bois de qualité, plus favorable à l'effet de substitution.

**L'itinéraire standard du pin maritime paraît être un bon compromis en termes de bilan carbone.**

Ce premier travail pourrait être enrichi par une analyse des effets de substitution des produits bois récoltés et par l'utilisation d'un modèle de croissance se basant sur des processus éco-physiologiques qui tient compte des impacts du changement climatique. ■

# Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ?



Étude<sup>1</sup> réalisée par l'Inra et l'IGN pour le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

Extrait du résumé de l'étude adapté par Simon Martel, CNPF-IDF et Bertrand Schmitt, Inra

*Différents leviers forestiers permettent d'agir sur le changement climatique : — stockage du carbone dans (1) les écosystèmes forestiers et (2) les produits bois, — effet de substitution du bois à des (3) matériaux et (4) énergies fossiles plus émetteurs de GES<sup>2</sup>. Ces leviers sont directement liés aux politiques forêt-bois. Sur le(s)quel(s) d'entre eux serait-il intéressant d'agir pour optimiser la contribution de la forêt et de la filière forêt-bois dans l'atténuation du changement climatique ?*

Le ministère français de l'Agriculture et de l'Alimentation a confié à l'Inra et à l'IGN la réalisation d'une étude sur le potentiel d'atténuation des émissions de GES par la filière forêt-bois française à l'horizon 2050.

## Mobilisation actuelle des leviers forestiers de stockage du carbone par la filière française

L'évaluation d'un bilan carbone de la filière forêt-bois française, relatif aux quatre leviers forestiers identifiés, a nécessité de réaliser une bibliographie de l'abondante littérature scientifique internationale. Le stockage de carbone dans l'écosystème forestier résulte de sa capacité à absorber du CO<sub>2</sub> atmosphérique pour l'accumuler dans la biomasse vivante (aérienne et souterraine), le bois mort et les sols forestiers. La dynamique forestière est ici cruciale, sachant qu'elle est sensible à l'âge des peuplements, aux modes de gestion, au climat et aux crises biotiques et abiotiques. Le stockage de carbone dans les produits bois ou à base de bois dépend directement des rendements industriels, de l'usage qui est fait du bois et de la durée de vie plus ou moins longue des

produits concernés. La substitution énergie correspond à la quantité d'émissions de CO<sub>2</sub> économisées par l'usage du bois-énergie plutôt que le recours à des énergies de référence (fuel, gaz, charbon, mix électrique ou énergétique national...). La substitution produits correspond à la quantité d'émissions de CO<sub>2</sub> évitées par le recours au matériau bois plutôt qu'à des matériaux de référence (béton, acier, plâtre, aluminium...) dans des secteurs clés comme la construction. La description ainsi que la délicate évaluation des coefficients de substitution sont exposées dans ce dossier<sup>3</sup>.

En mobilisant différents coefficients de stockage et de substitution issus de la littérature internationale et en les adaptant au contexte français, les flux de matière entre les différents stades de la filière forêt-bois française, exprimés en Mm<sup>3</sup>/an, sont convertis en flux d'équivalents CO<sub>2</sub> relatifs aux différents leviers d'atténuation, exprimés en MtCO<sub>2</sub>e/an (figure 1). Ce bilan est actuellement dominé par le stockage dans les écosystèmes forestiers, à hauteur, selon l'évaluation de cette étude, de 88 MtCO<sub>2</sub>e/an<sup>4</sup>. Le compartiment le plus sollicité pour le stoc-

<sup>1</sup> Extrait du résumé de l'étude Inra-IGN : Roux A., Dhôte J.-F. (coordinateurs), Achat D., Bastick C., Colin A., Bailly A., Bastien J.-C., Berthelot A., Bréda N., Caurila S., Carnus J.-M., Gardiner B., Jactel H., Leban J.-M., Lobianco A., Loustau D., Meredieu C., Marçais B., Martel S., Moisy C., Pâques L., Picart-Deshors D., Rigolot E., Saint-André L., Schmitt B., 2017. *Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ?* Une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050. Rapport d'étude pour le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Inra et IGN, 96 p. + 226 p. (annexes).

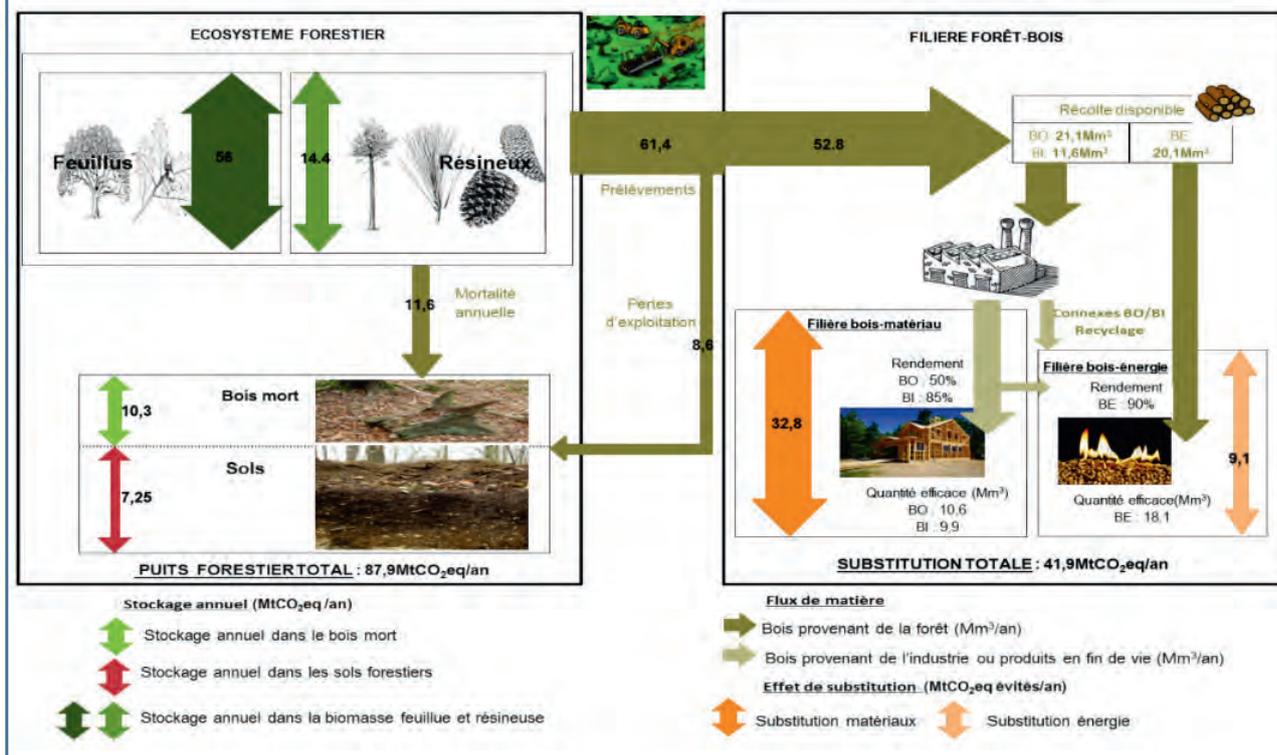
<sup>2</sup> Gaz à effet de serre.

<sup>3</sup> Vial E., 2019. *L'effet de substitution : des économies d'émissions de CO<sub>2</sub> en remplaçant les matériaux et énergies dominants par le bois*. Forêt-entreprise 245, pp. 72-74.



<sup>4</sup> À titre de comparaison, les émissions françaises sont estimées à 457 MtCO<sub>2</sub>e/an (chiffres pour l'année 2015, hors secteur des terres ; source : CITEPA, 2017).

Figure 1 - Flux de CO<sub>2</sub> aux différents stades de la filière forêt-bois française en 2013. Le bilan est dominé par le stockage dans la biomasse, en particulier pour les feuillus et l'effet de substitution bois matériau.



kage est celui de la biomasse aérienne et souterraine des peuplements feuillus. Le stockage en biomasse des résineux, en bois mort et dans les sols intervient également, mais à bien moindre hauteur. Le stockage annuel *via* les usages des produits bois est ici considéré comme nul. Cela signifie qu'actuellement, la quantité de carbone stockée dans les productions de l'année est égale au déstockage lié à la fin de vie et à la destruction des produits bois antérieurs. L'effet favorable des usages ne s'appuie donc que sur les effets de substitution. **L'effet majeur revient à la substitution bois matériau** (32,8 MtCO<sub>2</sub>e/an selon cette évaluation), la substitution liée aux usages énergétiques ne contribue que faiblement au bilan carbone de la filière.

### Trois scénarios de gestion forestière pour stimuler le rôle de la filière forêt-bois

En vue d'évaluer les impacts, à l'horizon 2050, de diverses stratégies de mobilisation des leviers forestiers d'atténuation, trois scénarios contrastés de gestion forestière ont été simulés en s'appuyant principalement sur le modèle de ressources de l'IGN<sup>6</sup> et en modulant les résultats avec, d'un côté, un modèle représentant plus explicitement les processus biogéochimiques et, de l'autre, un modèle d'analyse économique. Ces outils permettent d'intégrer dans l'analyse les dynamiques de la

ressource, variables selon les effets du changement climatique et les crises que peuvent subir les forêts, les niveaux différenciés de prélèvements et le devenir des produits bois.

#### Scénario « Extensification et allègement des prélèvements »

La pression sociale pour une plus forte naturalité couplée à un contexte de signaux, prix et politique, peu incitatifs conduirait à un allègement des prélèvements avec une gestion peu active d'une bonne partie des peuplements forestiers. Dans ce scénario, la récolte nationale resterait proche du niveau actuel 50 Mm<sup>3</sup> VAT/an<sup>5</sup>, soit une baisse du taux de prélèvement qui passerait de 50 % de l'accroissement biologique net actuellement à 42 % en 2035 et 37 % en 2050.

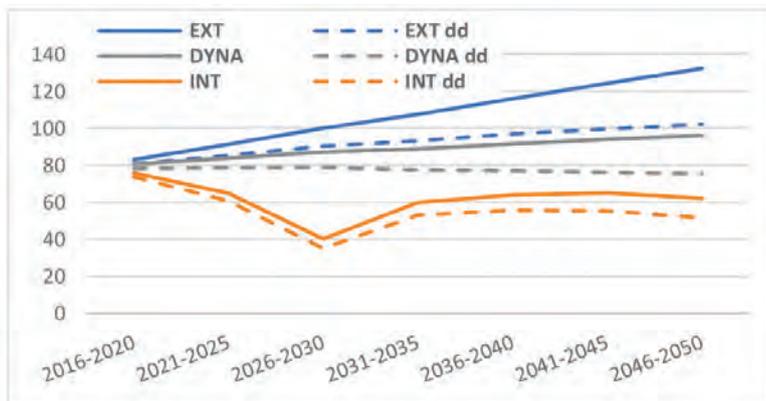
#### Scénario « Dynamiques territoriales et maintien du taux de prélèvement »

Le moteur majeur de ce scénario est la forte demande en biomasse, surtout pour l'énergie, associée néanmoins à des prix peu rémunérateurs, qui induisent une simplification des pratiques de gestion et une spécialisation des objectifs. Le niveau de récolte correspondrait au maintien du taux de prélèvement actuel sur la période (soit, en moyenne, 50 % de l'accroissement biologique net), le volume prélevé évoluant de ce fait vers les 75 Mm<sup>3</sup> VAT/an à l'horizon 2035.

<sup>5</sup> VAT : Volume aérien total

<sup>6</sup> Institut national de l'information géographique et forestière

**Figure 2 - Stockage annuel de carbone dans l'écosystème forestier selon les trois scénarios de gestion, avec et sans introduction de l'effet « densité dépendance » (dd), selon le climat actuel, en MtCO<sub>2</sub>e/an.**



EXT : extensification et allègement des prélèvements  
 DYN : dynamiques territoriales et maintien du taux de prélèvement  
 INT : intensification des prélèvements avec plan de reboisement

Le scénario extensif permet le stockage le plus important (capitalisation). La baisse du stockage dans le scénario « Intensification » est liée aux coupes rases qui précèdent les reboisements.

### À retenir

Le rôle de la filière forêt-bois française va s'accroître dans l'atténuation du changement climatique d'ici 2050, quelles que soient les évolutions des modes de gestion retenus. La filière forêt-bois est un acteur majeur pour le bilan national des émissions et absorptions de gaz à effet de serre. Le stockage dans l'écosystème forestier et les émissions évitées par la substitution sont essentiels.

## Scénario « Intensification des prélèvements avec plan de reboisement »

Ce scénario correspond à une gestion plus active des forêts, en raison d'un contexte économique et politique favorable à une transition forte et rapide. La récolte nationale augmenterait, de manière différenciée entre régions, vers un taux de prélèvement moyen de 70 % de l'accroissement biologique net en 2035, taux qui resterait stable ensuite. Ceci représente un volume prélevé d'environ 90 Mm<sup>3</sup> VAT/an. Cette augmentation progressive, mais importante, nécessiterait une adaptation des capacités de production des industries concernées (pépiniéristes, première transformation française, mais aussi seconde et troisième transformation). Un plan de reboisement spécifique est mis en place dans ce scénario et concerne d'importantes surfaces déjà forestières, mais peu productives ou sans avenir économique. L'objectif visé serait de reboiser 50 000 ha/an pendant les 10 prochaines années, soit 500 000 ha au total.

### Des stratégies qui accentuent le rôle de la filière dans l'atténuation du changement climatique

Les effets des trajectoires décrites ci-dessus sur les différentes composantes du bilan carbone de la filière forêt-bois française ont

été simulés jusqu'à l'horizon 2050 à l'aide du modèle de ressource de l'IGN, Margot (*encadré p. 50*). Ces trajectoires se traduisent tout d'abord par une forte différenciation des volumes prélevés annuellement dans la forêt française, qui augmentent très sensiblement avec le niveau d'intensification. Le corollaire de cette accentuation des prélèvements est une croissance moindre des stocks de bois sur pied quand on passe du scénario « Extensification » au scénario « Intensification ».

De ce fait, les projections des capacités de stockage du carbone dans l'écosystème forestier (biomasse forestière, bois mort et sols) divergent selon les scénarios étudiés (*figure 2*). L'accroissement du stockage annuel du carbone dans l'écosystème forestier est considérable dans le scénario « Extensification » : il passerait selon cette simulation à plus de 130 MtCO<sub>2</sub>e/an en 2050. La croissance du stockage de carbone serait beaucoup plus modérée dans le scénario « Dynamiques territoriales » puisqu'il n'atteindrait pas les 100 MtCO<sub>2</sub>e/an en 2050. La tendance serait même à la baisse dans le scénario « Intensification » du fait de l'accroissement du taux de prélèvement jusque 2035 et des effets du plan de reboisement.

Le plan de reboisement accentue, tout d'abord, la chute du stockage du fait de la concentration des coupes rases entre 2021 et 2030 (*figure 2*). Cette chute n'est que partiellement compensée dans les décennies

suivantes, car 2050 est trop proche pour que puissent apparaître à cet horizon les bénéfices des nouvelles plantations. Ils n'apparaîtront vraiment qu'après 2050 et culmineront vers 2070.

Il faut néanmoins nuancer ces premiers résultats en tenant compte d'une des limites du modèle de ressource utilisé. S'appuyant sur des données d'observation et simulant la croissance d'un effectif d'arbres, il ne prend pas en compte les effets qu'une capitalisation très prononcée des forêts françaises pourrait avoir sur la productivité forestière. Celle-ci pourrait fléchir en raison d'un effet défavorable de la densité des peuplements sur la croissance. En introduisant, à des fins exploratoires, une contrainte de cette nature dans la modélisation (« dd » dans la *figure 2*), les évolutions de la capacité de stockage de la forêt française s'en trouvent quelque peu modifiées : les écarts entre scénarios se resserrent, sans que la hiérarchie entre eux ne soit modifiée. Le stockage dans les produits bois et, surtout, les émissions de GES évitées grâce au recours aux matériaux bois ou à l'énergie bois viennent compléter le bilan carbone de la filière. Toujours positifs, les effets de substitution liés aux usages du bois se maintiendraient dans le temps avec le scénario « Extensification » ; ils seraient légèrement croissants dans le scénario « Dynamiques territoriales » et leur croissance serait forte dans le scénario « Intensification » (*figure 3*).

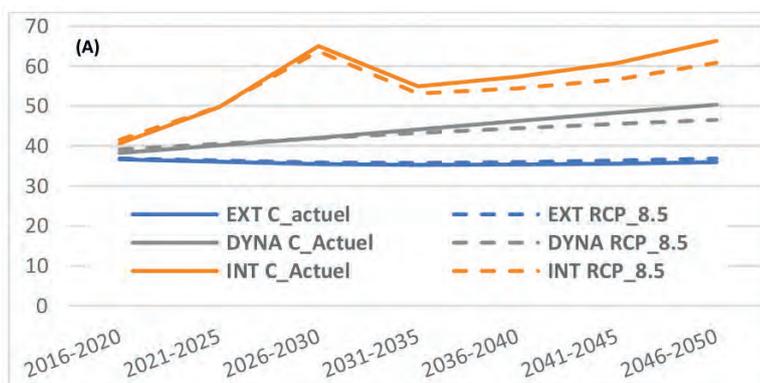
<sup>7</sup> French forest sector model.

Les niveaux d'émissions évitées sont, dans l'état actuel des connaissances, très sensibles aux valeurs des coefficients de substitution bois matériau. Leur évolution d'ici à 2050, est délicate à envisager, car dépendant des usages à venir des produits bois et des évolutions possibles des technologies à mettre en concurrence.

Quoi qu'il en soit, et en dépit des deux points d'incertitude majeurs auxquels sont sensibles les résultats (vitesse d'évolution de la productivité forestière aux horizons lointains ; variabilité et évolution des coefficients de substitution bois matériau), il ressort des trois scénarios un renforcement du rôle important de la filière forêt-bois française dans l'atténuation des émissions de GES à l'horizon 2050. Ce rôle s'appuie sur les capacités de stockage du carbone dans l'écosystème forestier et sur les effets de substitution limitant les émissions de GES que le recours aux produits bois pourrait permettre. Le premier effet, plus favorable au scénario « Extensification », pourrait cependant être limité du fait des effets du vieillissement de la ressource sur pied sur la productivité globale de la forêt. Le second, plus favorable au scénario « Intensification », pourrait être accentué si les usages du bois et les évolutions technologiques distinguent encore mieux qu'aujourd'hui les produits bois aux coefficients potentiellement les plus forts.

### La nécessité d'efforts collectifs importants pour accroître les usages de la ressource

**Figure 3 - Émissions de GES évitées par effet de substitution des produits issus de la filière selon les trois scénarios de gestion et les deux options climatiques, climat actuel et climat dégradé (RCP 8.5), en MtCO<sub>2</sub>e/an.**



EXT : extensification et allègement des prélèvements  
 DYN : dynamiques territoriales et maintien du taux de prélèvement  
 INT : intensification des prélèvements avec plan de reboisement

Les évolutions d'émissions évitées sont très sensibles à l'importance de la substitution bois-matériau, notamment d'ici à 2050, car dépendantes de l'usage à long terme des produits bois.

L'analyse économique, menée à l'aide du modèle FFSM<sup>7</sup> (*encadré p. 50*), met en lumière les freins économiques à l'accroissement des prélèvements tels qu'envisagés dans les scénarios « Dynamiques territoriales » et « Intensification ». Ainsi, si la structure industrielle de la filière et les préférences des consommateurs pour les différents produits bois se maintenaient en l'état, il s'avérerait très difficile et très coûteux en aides publiques d'augmenter les niveaux de prélèvements pour maintenir les taux actuels de prélèvement, hypothèse centrale du scénario « Dynamiques territoriales ». Pour faire face à la faible évolution « spontanée » des prix, induite par l'absence de modification de la structure de l'offre, un signal économique très fort auprès des consommateurs et des producteurs serait nécessaire. Côté demande, il y a lieu d'inciter les consommateurs à orienter leurs comportements vers les produits bois. Côté offre, il y a nécessité d'ai-

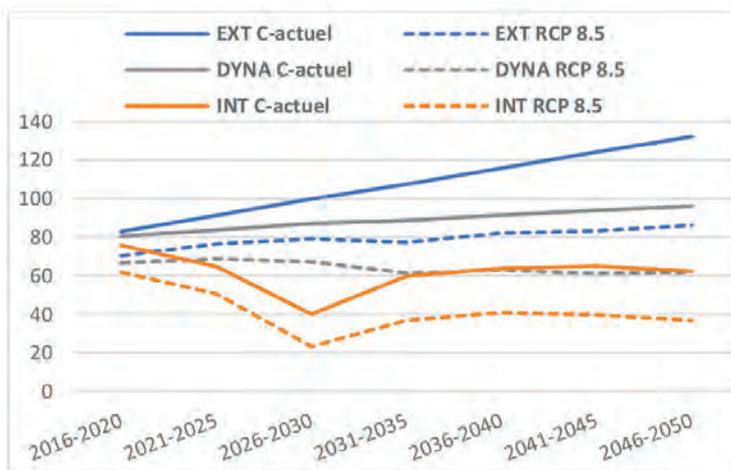
der les propriétaires forestiers et les secteurs de la transformation à mettre en marché leur ressource et à la transformer en produits bois adéquats. Quelle que soit la forme de l'effort collectif à fournir pour accroître les niveaux de prélèvements, les gains pour la filière dans son ensemble pourraient être conséquents. **Ainsi, les gains économiques que consommateurs, propriétaires et transformateurs tireraient du simple passage d'un scénario « Extensification » à un scénario de type « Dynamiques territoriales » pourraient doubler et les conséquences en emplois mériteraient d'en être évaluées.**

### L'impact potentiellement important du changement climatique sur le bilan carbone

Les effets, que les scénarios de gestion forestière ont sur chaque composante du bilan carbone de la filière, peuvent être modifiés si les conséquences du changement climatique en cours sur les peuplements forestiers et l'évolution de la ressource se trouvaient aggravées. Le climat moyen de la période 2003-2013 constitue ici ce que l'on nomme le « climat actuel ». Il présente, à l'horizon 2050, une succession d'années sèches comme cela a été le cas de 2003 à 2006. Ce climat « témoin » est comparé à une option accentuant les effets du changement climatique par rapport au régime climatique actuel, basée sur la trajectoire RCP 8.5 du GIEC. Sous ce forçage climatique, une sécheresse d'intensité supérieure ou égale à celle de 2003 est envisageable dès la première période 2016-2020 avec une récurrence quasi systématique sur plusieurs années. Dans ce cas et quel que soit le scénario de gestion envisagé, la capacité de l'écosystème forestier français à stocker du carbone se trouverait fortement réduite (*figure 4*), en raison de la mortalité additionnelle provoquée par les sécheresses.

L'impact sur les effets de substitution serait de bien moindre ampleur (*figure 3*). Au total, la diminution du stockage de carbone dans l'écosystème forestier, potentiellement surestimée par le fait d'asseoir les résultats relatifs aux feuillus sur une essence particulièrement sensible à la sécheresse (le hêtre), pourrait être amortie, en cas d'aggravation des effets du changement climatique, par le maintien du niveau des effets de substitution. En matière de bilan carbone, l'impact global serait alors moins défavorable pour les scénarios s'appuyant le plus sur les effets de substitu-

**Figure 4 - Stockage annuel dans l'écosystème forestier selon les trois scénarios de gestion, comparaison entre climat actuel et climat dégradé (RCP 8.5), en MtCO<sub>2</sub>e/an.**



EXT : extensification et allègement des prélèvements  
 DYN : dynamiques territoriales et maintien du taux de prélèvement  
 INT : intensification des prélèvements avec plan de reboisement

*L'introduction des effets du changement climatique (tempêtes, incendies, ...) dégrade le stockage de carbone en forêt.*

tion (« Intensification » et « Dynamiques territoriales ») et serait plus pénalisant pour un scénario de type « Extensification ».

### Des crises qui atténuent les écarts entre scénarios de gestion

La fréquence et l'intensité des aléas biotiques et abiotiques auxquels sont soumises les forêts françaises pourraient à l'avenir augmenter. Certaines crises majeures, telles que tempêtes, incendies ou invasions biologiques sévères, peuvent bouleverser les gains attendus d'un stockage de carbone dans l'écosystème forestier national.

C'est pourquoi ont été introduits, dans deux des scénarios précédemment décrits (« Extensification » et « Dynamiques territoriales »), trois types de crises majeures : incendies de grande envergure ; tempêtes accompagnées de leurs cascades de risques (pullulation de scolytes et incendies) ; invasions biologiques de grande ampleur.

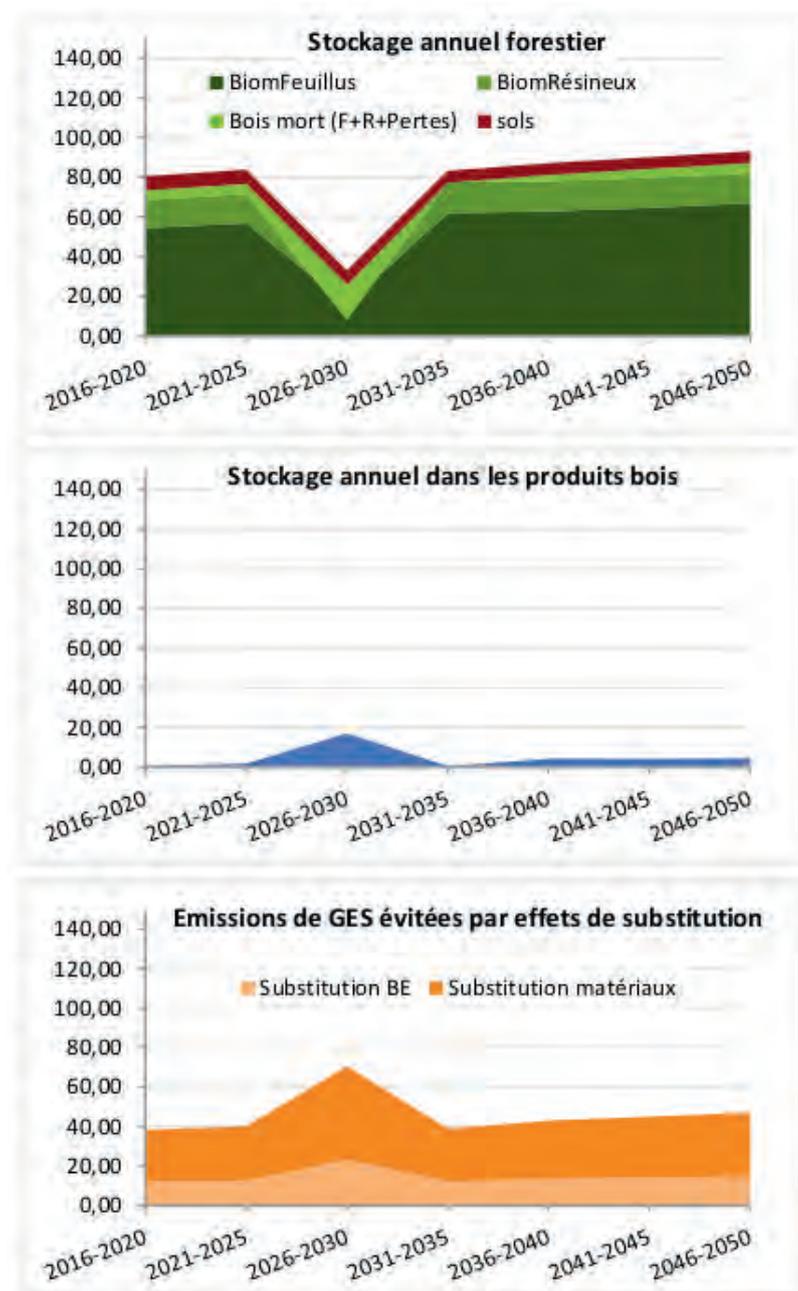
#### Incendies après sécheresse

La probabilité d'incendies de grande envergure dépassant les capacités de prévention sera accentuée à l'issue de périodes de sécheresse répétées et donc renforcée avec le changement climatique.

Ici, une seule crise « incendies après sécheresse » a été positionnée au début de la période de simulation (2026-2030).



**Figure 5 - Impacts sur le bilan carbone de la filière d'une tempête intervenant en 2026-2030, suivie de scolytes et incendies. Stockage annuel et émissions de GES évitées pour le scénario « Dynamiques territoriales », climat actuel, en MtCO<sub>2</sub>e/an.**



La tempête et ses conséquences provoquent une chute ponctuelle brutale du stockage de carbone. Celle-ci est en partie compensée par l'augmentation du stockage dans les produits et les effets de substitution induits par la mise sur le marché de bois supplémentaire.

La surface totale brûlée lors de la crise s'élève à 75 000 ha dans le climat actuel et à 175 000 ha en climat dégradé. Sur chaque zone brûlée, la mortalité des arbres est totale. Vu au niveau national, l'impact sur le bilan carbone de la filière de ce type de crise est faible, compte tenu de la faiblesse relative des surfaces finalement impactées et de la faible quantité de biomasse réellement consommée et ne se retrouvant pas sous forme de bois mort. Notons néanmoins que c'est plutôt à une succession de sécheresses et donc de crises incendiaires à laquelle il faut s'attendre. L'impact cumulé de chacune de ces crises, aux effets faibles, pourrait finalement peser sur le bilan carbone.

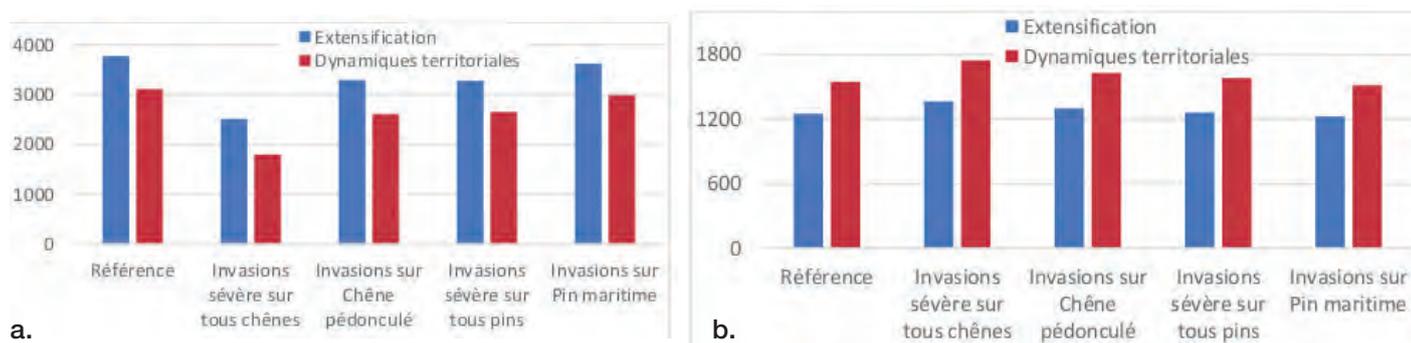
### Tempête, suivie de pullulations de scolytes et d'incendies

On envisage ici le passage d'une tempête hivernale d'ampleur nationale entraînant, outre les dégâts associés en chablis et volis, une pullulation de scolytes sur pins et épicéas et une saison d'incendies pendant l'été de la même année. Si les dégâts directs de la tempête ne sont pas affectés par le climat, le climat dégradé (RCP 8.5) multiplie par 1,7 les dégâts additionnels liés aux pullulations de scolytes.

L'effet est, cette fois, beaucoup plus conséquent, tout au moins ponctuellement. Ainsi, dans le cas, par exemple, du scénario « Dynamiques territoriales » en climat actuel, le stockage annuel en forêt chuterait brutalement de 60 % après le passage de la tempête (figure 5). Le choc sur la biomasse forestière serait néanmoins quelque peu compensé par un excès de bois mort qui conserverait en forêt une partie du carbone. Parallèlement, en considérant possible la mise en marché de grandes quantités de ce bois, le stockage de carbone en produits bois et les effets de substitution augmenteraient fortement à la suite du choc : les émissions évitées de GES augmenteraient brutalement de 75 % et le stockage en produits, bien que faible, serait ponctuellement multiplié par 10.



**Figure 6 - Effets des invasions biologiques sur le cumul 2016-2050 du stockage carbone dans l'écosystème forestier (a), et le cumul 2016-2050 des émissions de GES évitées par effet de substitution (MtCO<sub>2</sub>e) (b).**



*Les effets des aléas climatiques réduisent le stock cumulé de carbone et augmentent les émissions pour les deux scénarios extensif et dynamique.*

## Invasions biologiques

Les effets d'une invasion biologique pouvant toucher les chênes ou les pins et suivant une dynamique de type « chalarose du frêne », ont également été simulés sous « climat actuel ». L'impact serait potentiellement faible si l'invasion ne touchait que les pins maritimes (figure 6). Le choc serait plus important lors d'une invasion sur les seuls chênes pédonculés ou si toutes les espèces de pins étaient touchées en même temps. L'impact de la crise sur le bilan carbone de la filière serait, en revanche, de grande ampleur si toutes les espèces de chênes caducs étaient susceptibles d'être affectées. Dans ce cas de figure, le stockage annuel de carbone dans la biomasse des essences feuillues diminuerait fortement dès la période 2021-2025 et il deviendrait même négatif sur les deux périodes suivantes. Le surcroît de stockage dans le bois mort ne suffirait pas à maintenir le stockage annuel de l'écosystème forestier et, pris globalement sur la période 2015-2050, le stockage cumulé diminuerait d'un tiers dans le scénario « Extensification » et de 42 % dans le scénario « Dynamiques territoriales » (figure 6). Dans le même temps, le stockage de carbone dans les produits bois et les émissions évitées par effet

**Les bénéfices à attendre des effets de substitution sont d'autant plus marqués que le niveau des prélèvements augmente.**

de substitution, fortement stimulés pendant la période de crise, augmenteraient, mais faiblement au regard de l'importance des baisses du stockage en forêt, et ce sous l'hypothèse forte que les industries seraient capables de transformer 70 % des chênes dépérissants, soit un volume annuel moyen de 15 Mm<sup>3</sup>/an.

## Conclusions

Quelles que soient les évolutions des modes de gestion retenus, le rôle de la filière forêt-bois française dans l'atténuation du changement climatique devrait s'accroître d'ici 2050. Même si tel ou tel compartiment de la filière forêt-bois peut connaître des phases à bilan plus faible ou même négatif (comme à la suite d'une crise biotique profonde), l'ordre de grandeur est important, faisant de cette filière un acteur majeur du bilan national d'émissions et d'absorptions de gaz à effet de serre. Les différents leviers et compartiments considérés, c'est-à-dire stockage dans l'écosystème forestier et les produits bois ainsi que les émissions évitées par effet de substitution, jouent des rôles complémentaires. Le stockage en forêt s'accroît à l'inverse de l'importance des prélèvements, alors que les bénéfices à attendre des effets de substitution sont d'autant plus marqués

que le niveau des prélèvements augmente. Néanmoins, l'augmentation des niveaux de prélèvements, dont les **gains économiques et sociaux** peuvent être conséquents, **nécessite tout autant une évolution du comportement des consommateurs** qu'une réorientation de l'appareil industriel de la filière.

À l'inverse du stockage en forêt qui diminuerait nettement dans ce type de situation, les effets de substitution seraient peu affectés par l'accentuation des effets du changement climatique ou par les diverses crises majeures que nous avons examinées. Ainsi, dans les scénarios de gestion forestière très active, les effets de substitution pourraient jouer un rôle d'amortisseur de l'altération du stockage dans la biomasse. Compte tenu des incerti-

tudes qui pèsent sur certains des paramètres clés, il est cependant particulièrement délicat de chercher à hiérarchiser les trois scénarios de gestion forestière selon leur bilan carbone à l'horizon 2050. Par ailleurs, cet horizon de projection est très inférieur à la durée des cycles forestiers des forêts métropolitaines majoritairement feuillues. Si les projections avaient été effectuées à un horizon plus lointain (2100 ou au-delà), les conclusions auraient pu être différentes. ■

## + TECHNIQUE

### Trois modèles complémentaires pour simuler les dynamiques de la ressource et des prélèvements

Au centre du dispositif de simulation des effets des divers scénarios envisagés à l'horizon 2050, le modèle Margot (*Matrix model of forest Resource Growth and dynamics On the Territory scale*), développé par l'IGN, permet une analyse fine de la dynamique de la ressource forestière à l'échelle régionale. En s'appuyant sur des « domaines d'étude », basés sur les données collectées dans le cadre de l'enquête d'Inventaire forestier national (IFN) et regroupant des peuplements comparables en termes d'essence, de propriété, de conditions de milieu et de sylviculture, il décrit un effectif d'arbres par classe de diamètre (de 5 cm à 90 cm et plus) et y applique un taux de croissance de son volume moyen identique à celui observé au cours d'une période antérieure pour la même classe de diamètre. Au sein du modèle, les peupleraies cultivées font l'objet d'une démarche analogue, mais par classe d'âge.

Le modèle économique FFSM (*French Forest Sector Model*), développé par l'UMR BETA<sup>1</sup> à Nancy, est conçu principalement à des fins d'analyse théorique même s'il est calibré sur

des données réelles. Il s'agit d'un modèle multi-modulaire dont un des modules décrit la filière économique en équilibre partiel. Il permet une analyse économique de différents scénarios et envisage notamment les instruments de politiques publiques qu'il serait nécessaire de mettre en place pour orienter la dynamique des filières vers des trajectoires qu'elles ne suivraient pas sans incitation.

Pour tenir compte des effets du changement climatique sur la dynamique forestière, le modèle GO+, développé par l'UMR ISPA<sup>2</sup> à Bordeaux, a été mobilisé. Ce modèle est décrit dans l'article « Quel bilan carbone des pinèdes et des douglaies sous climat changeant ? »<sup>3</sup>. Les anomalies de croissance que GO+ met en évidence en cas d'accentuation des effets du changement climatique (RCP 8.5) ont été introduites dans le modèle Margot pour en modifier les paramétrages : les résultats du modèle « Hêtre » ont été utilisés pour tous les feuillus ; ceux du « Pin maritime » pour tous les pins et ceux du « Douglas » pour tous les autres résineux.

<sup>1</sup> Unité mixte de recherche, Bureau d'économie théorique et appliquée

<sup>2</sup> Unité mixte de recherche, Interactions sol plante atmosphère

<sup>3</sup> Martel S. et al. *Quel bilan carbone des pinèdes et des douglaies sous climat changeant ?* Forêt-entreprise n° 245, p. 30-37

# Le CNPF donne la parole à...

 20 min

Propos recueillis par Olivier Gleizes et Simon Martel

## Arnaud Sergent, Irstea



Arnaud Sergent est chercheur en sciences politiques, spécialiste des questions forêt-bois. Basé à Bordeaux, il est notamment président du comité scientifique de Xylofutur<sup>1</sup>. Il a récemment étudié la question de la place de la comptabilité carbone au sein de la filière forêt-bois en Nouvelle-Aquitaine pour le projet TERFICA<sup>2</sup>.

*Pouvez-vous nous faire une rapide rétrospective de la montée en puissance de l'enjeu « carbone » au sein de la politique forestière nationale et internationale ?*

Dans le cadre des négociations internationales, la situation du carbone forestier a toujours été ambiguë ; d'un côté, il est stigmatisé en tant que « mauvais » carbone source d'émissions (déforestation), de l'autre, il émerge un « bon » carbone forestier de séquestration et de substitution. Cette tension a contribué à en faire une variable d'ajustement prudente des dispositifs de comptabilité associés aux engagements internationaux depuis la signature du protocole de Kyoto (1997). Ainsi à l'échelle européenne, le carbone forestier a été exclu des mécanismes de reportages obligatoires et seuls les mécanismes volontaires ont été mis en œuvre, sans beaucoup de succès. Pendant longtemps, le carbone forestier est donc resté en marge des politiques carbone, hormis de manière indirecte à travers sa contribution aux engagements pour les énergies renouvelables. Cette situation n'a pas empêché les acteurs de la politique forestière (privés et publics) de s'approprier l'enjeu carbone, sous l'angle du « bon » carbone évidemment. Depuis l'inclusion du secteur des terres dans le paquet climat de l'UE, le problème se pose de manière différente. D'une part, le carbone s'impose comme un enjeu déterminant à la définition d'une stratégie politique forêt-bois ; d'autre part, il est maintenant nécessaire de prendre en considération que la tension entre bon et mauvais carbone forestier est inhérente à cet enjeu. En l'occurrence, il n'y pas de trajectoire carbone vertueuse et optimale pour la filière forêt-bois, mais des choix et des arbitrages à conduire, plus seulement entre l'économie et l'environnement, mais aussi entre différentes stratégies environnementales.

*Différents leviers de promotion du carbone forestier cohabitent et sont mis en avant différemment suivant les acteurs. Quels sont-ils ? Sont-ils cohérents ? N'existe-t-il pas une concurrence entre ces positionnements ?*

Effectivement, le « bon » carbone forestier est l'objet de convoitises. De nombreux acteurs sont incités à s'approprier cette ressource à travers une diversité importante de leviers. On peut en citer ici quelques-uns, sans prétendre à l'exhaustivité.

Au niveau de l'État, se joue la tension entre d'un côté, la contribution des surfaces forestières au reportage pour le compte du secteur des terres et de l'autre, la programmation de la transition énergétique sur la base de l'usage en substitution de la biomasse forestière.

Pour les acteurs interprofessionnels de la filière forêt-bois, il existe depuis plusieurs années la volonté de revendiquer l'activation de dispositifs financiers redistributifs depuis la « finance » carbone vers les activités de la filière forêt-bois. À l'échelle des entreprises, les **stratégies de RSE**<sup>3</sup> conduisent à intégrer à l'évaluation du système productif des composantes associées aux bénéfices carbone et donc à **internaliser une partie des ressources carbone générées en amont dans le produit commercialisé**. De manière symétrique, certains propriétaires/gestionnaires forestiers ont aussi des velléités de valoriser (monétairement ou non) les services écosystémiques (dont le carbone) qu'ils produisent en s'appuyant sur des logiques variables selon les dispositifs de reconnaissance choisis.

Enfin, on peut mentionner aussi les collectivités qui se retrouvent en situation d'inventorier les ressources carbone de leurs territoires (PCAET, TEPCV<sup>4</sup>) et de s'approprier

<sup>1</sup> Pôle de compétitivité innovant au profit de la filière forêt-bois-papier.

<sup>2</sup> Territoire et filière forêt-bois : la stratégie carbone comme interface.

<sup>3</sup> Responsabilité sociétale des entreprises.

<sup>4</sup> Plan climat air énergie territorial ; Territoire à énergie positive pour la croissance verte.

d'une certaine manière les opportunités et contraintes associées à la forêt et à la filière en matière de carbone.

Ces différentes logiques d'action sont bien évidemment potentiellement concurrentes. Cette concurrence ne se joue pas uniquement de manière traditionnelle pour l'accès à la ressource physique (l'espace forestier ou la matière ligneuse), elle est aussi politique, institutionnelle et instrumentale. De manière très concrète, elle pose d'ailleurs la question de la pertinence des différentes formes de comptabilité qui se déploient aujourd'hui pour mettre en équivalence différentes alternatives carbone, à défaut d'un étalon universel comme la monnaie.

*Comment la filière forêt-bois peut-elle tirer son épingle du jeu face à la féroce concurrence des autres filières parfois mieux organisées ?*

Je ne poserais pas la question comme ça, car personne dans la filière n'est dans la même configuration vis-à-vis du carbone. Avant d'envisager un lobbying collectif du monde de la forêt et du bois – qui est nécessaire et souhaitable selon moi –, il faut d'abord et avant toute chose arrêter de postuler que la filière forêt-bois est nécessairement bonne pour le carbone, faire du bon carbone, ce n'est pas une donnée objective et définitive, c'est un construit ; ensuite il faut mettre à plat les potentielles contradictions entre les différentes trajectoires carbone au sein de la filière, comprendre qu'il y a des gagnants et des perdants dans chaque cas et mettre les choix qui s'imposent en discussion. On reste enfermé dans une logique technocratique et rationaliste alors que cette question **du carbone nous offre l'opportunité d'ouvrir la question forêt-bois à la société et de rendre constructif, ouvert sur l'avenir, le dialogue interprofessionnel au sein de la filière.** ■



## Laure Mandaron, La Poste

*Laure Mandaron est directrice de la Responsabilité sociétale et environnementale au sein de la Branche Services-courrier-colis de La Poste. Elle pilote des travaux sur la compensation volontaire des émissions de CO<sub>2</sub> de l'entreprise, ainsi que sur la relocalisation d'une partie de cette compensation volontaire en France<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup> Gleizes O, 2019. *Les projets carbone du CNPF, un savoir-faire au service des forestiers et des entreprises responsables.* Forêt-entreprise n° 245 p. 7-15.



*Pour quelles raisons la Branche Services-Courrier-Colis du Groupe La Poste s'est-telle engagée dès 2012 vers la compensation volontaire de l'intégralité de ses émissions en vue d'atteindre la neutralité carbone ?*

Depuis plus de 20 ans, La Poste est très mobilisée dans la réduction de ses émissions (formation à l'éco-conduite, déploiement de la première flotte de véhicules électriques au monde, optimisation des kms parcourus et des chargements, recours à de l'électricité issue de ressources renouvelables, etc.).

En 2012, il est apparu essentiel aux dirigeants de montrer la voie et d'ajouter une composante à la stratégie carbone de l'entreprise en s'orientant vers la compensation volontaire des émissions de CO<sub>2</sub> non réductibles. C'est ainsi que nous compensons l'intégralité des émissions des activités du courrier, du colis, de l'express, des offres numériques et de La

Banque Postale ; soit en 2018 l'équivalent de près de 1,7 MtCO<sub>2</sub>e compensées ! Cela représente 10 % de l'ensemble des tonnes de CO<sub>2</sub> compensées sur le marché volontaire européen ! Nos projets se situent à l'international : Kenya, Pérou, Viêtnam, Cambodge et Inde. **Au-delà de la réduction, il était important de compenser les émissions résiduelles de La Poste, afin de montrer l'exemple et d'en faire un atout différenciant dans la relation avec nos clients.**

*Depuis que vous garanzissez la neutralité carbone aux clients de vos offres services, courriers et colis, observez-vous des retombées positives en externe en termes d'image ou d'activités (nouveaux marchés) et en interne en termes de cohésion et d'adhésion aux valeurs du Groupe ?*

En interne, nos managers et collaborateurs

sont tout d'abord très fiers que nous compensions l'intégralité de nos émissions de CO<sub>2</sub>, car ils sont partie prenante dès le départ en étant associés aux choix de nos projets de compensation volontaire, des projets à forts co-bénéfices sociétaux et environnementaux. Puis en 2015, après trois années de compensation volontaire à l'international, nos collaborateurs ont également exprimé leur souhait de créer de la plus-value environnementale et sociétale en France, au plus près de leur zone d'activités : nous avons initié le programme *CLIMAT+ Territoires* avec le CNPF et le GIP Massif central, car notre entreprise est avant tout présente sur tout le territoire français.

Pour ce qui est de l'impact en externe, nos clients se sont montrés intéressés par notre démarche responsable en faveur de la lutte et de l'adaptation au changement climatique sans toutefois voir comment ils pouvaient en tirer parti. Cependant, cela change depuis deux ans ; en effet certains de nos clients commencent à s'intéresser aux retombées et bénéfices qu'ils pourraient tirer de leur partenariat avec une entreprise engagée comme la nôtre. Est-ce un atout différenciant pour autant ? Je dirais que c'est avant tout une composante majeure qui nourrit la marque de La Poste et son image par voie de conséquence – celle d'une entreprise responsable qui vise à initier des pratiques transformantes à forte valeur ajoutée tant en interne qu'au sein de sa chaîne de valeur.

*Avec la sortie du label Bas-Carbone, qu'est-ce qui dans un projet forestier sera le plus important pour le Groupe La Poste ? Sa performance carbone (nombre maximal de tCO<sub>2</sub>e certifiées par le label) ? Son coût total ? Ses co-bénéfices ? Son potentiel de communication ?*

La Poste privilégiera en premier lieu des projets à co-bénéfices environnementaux, intéressants sur l'amélioration de la qualité de l'air et sur la biodiversité, mais également créateurs de plus-value sociétale. Le potentiel de communication et de pédagogie de ces projets est primordial pour faire effet de levier. Pour la pédagogie, il faut que l'on puisse s'approprier ces projets : comprendre le sens des initiatives conduites, les bénéfices recherchés et la contribution respective des parties prenantes impliquées.

Il est certain que, lorsque l'on compare notre compensation à l'international (près de 1,7 million de tCO<sub>2</sub>) et les crédits carbone qui

pourraient être certifiés par nos projets en France (quelques milliers de tCO<sub>2</sub>), l'obtention de crédits carbone ne sera pas le moteur numéro un pour soutenir des projets en France ; toutefois ces deux approches sont complémentaires. La compensation volontaire neutralise de grandes quantités d'émissions de CO<sub>2</sub> par l'obtention de réductions d'émissions de CO<sub>2</sub> à un prix entre 2 et 15 €/tCO<sub>2</sub>.

Les projets en France luttent contre le changement climatique, adaptent la forêt à ce changement climatique et mettent en valeur les services rendus par les écosystèmes forestiers. Le soutien à des projets forestiers locaux **participe pleinement au renforcement de notre ancrage territorial et alimente l'image de notre entreprise sur les territoires**. Cela contribue également à nourrir le sentiment de fierté de nos 240 000 collaborateurs. Il est donc important pour La Poste de disposer de ces deux types de compensation, totalement complémentaires.

*Pensez-vous que le label Bas-Carbone puisse suffire à motiver les entreprises et collectivités à compenser leurs émissions de CO<sub>2</sub> non réductibles, sachant que ces initiatives resteront basées sur du volontariat ?*

Je pense que pour des entreprises peu polluantes, le label Bas-Carbone leur permettra de dire : « nous avons compensé en France l'intégralité de nos émissions » ou « nous avons compensé en France les émissions de nos déplacements professionnels » dès lors qu'elles auront de faibles quantités de CO<sub>2</sub> à compenser. Je suis convaincue que le label encouragera les entreprises à s'engager ; ce sera incitateur car tant qu'il n'y a pas de cadre ou de label, les entreprises sont peu enclines à s'engager dans ce type d'initiatives volontaires et craignent généralement d'éventuels risques pour leur image. Le label Bas-Carbone est reconnu par les pouvoirs publics (ministère de la Transition écologique et solidaire) : c'est un **gage de crédibilité qui apportera le plus qui manquait jusqu'à présent pour qu'elles concrétisent leur engagement**.

Pour des entreprises ayant de trop gros volumes à compenser, on peut imaginer qu'elles n'en compensent qu'une partie en France afin de disposer de projets qui ont un sens par rapport à leur ancrage territorial. Il ne faut pas oublier que **la compensation carbone n'est pas une fin en soi et que la priorité doit être avant tout donnée à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>**. ■

# Dimitar Nikov et Aude Charrier, ministère de la Transition écologique et solidaire



*Dimitar Nikov est négociateur à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques auprès de la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) au sein du ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES). Il a participé à la sortie du label Bas-Carbone.*

*Aude Charrier est responsable de l'équipe de la DGEC du MTES en charge des politiques d'atténuation du changement climatique, qui inclut le secteur forêt-bois. Elle est notamment en charge de l'élaboration, du suivi et de la révision de la Stratégie nationale bas-carbone.*



*Le label Bas-Carbone est une initiative de la « société civile ». Pouvez-vous nous expliquer pourquoi le MTES a fait le choix de mettre en place un référentiel de compensation volontaire des émissions de CO<sub>2</sub> pour les secteurs agricoles et forestiers ?*

La création d'un label carbone avait été annoncée à l'occasion de la Conférence environnementale de 2014. Dispositif expérimental, il vient en réponse à une demande grandissante de compensation locale des émissions de gaz à effet de serre (GES) et vise à permettre la mise en place volontaire de projets de réduction des émissions de gaz à effet de serre en France. Ces projets auront vocation à contribuer à l'atteinte des objectifs climatiques de la France, tant au niveau national qu'international.

Le référentiel du label énonce les règles de fonctionnement, types de réductions d'émissions reconnues par l'administration, élaboration des méthodes, procédures de validation des projets, suivi et vérification des réductions d'émissions. Il constitue un cadre transparent et cohérent avec d'autres outils publics d'incitation aux réductions d'émissions (ex : les projets domestiques). Concrètement, les porteurs de projets pourront se faire rémunérer par un partenaire volontaire, qui pourra ensuite valoriser ses réductions d'émissions.

Si le label permet la mise en place de projets dans tous les secteurs et activités (sauf ceux assujettis au marché européen de quotas - EU ETS), les secteurs agricole et forestier sont particulièrement visés. Un travail méthodologique et de projets pilotes, incubateur et précurseur du label Bas-Carbone, a été effectué sur ces deux secteurs par la profession et la

société civile française, sous l'égide d'I4CE<sup>1</sup> dans le cadre du projet VOLuntary Carbon Land Certification (Vocal), cofinancé par l'Union européenne.

*L'État français affiche une forte ambition de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre et vise la neutralité carbone à horizon 2050. Sur quels axes s'appuie cette stratégie nationale bas-carbone ? Quelle est la place de la filière forêt-bois dans cette stratégie ?*

La Stratégie nationale Bas-Carbone (SNBC) est en cours de révision pour intégrer l'objectif de neutralité carbone de la France en 2050, que le gouvernement s'est fixé dans le Plan Climat de juillet 2017, et permettre d'accélérer la mise en œuvre de l'Accord de Paris. Cette stratégie constitue la feuille de route de la France pour conduire la politique d'atténuation du changement climatique. Elle formule des orientations dont la mise en œuvre nécessite des renforcements substantiels des politiques publiques pour atteindre l'ambition voulue à moyen-long terme. En pratique, l'atteinte de la neutralité carbone impliquera de réduire fortement les consommations d'énergie de l'ensemble des secteurs d'activités ; de décarboner totalement l'énergie que nous consommons, en mobilisant l'électricité décarbonée, la chaleur renouvelable et la biomasse ; de limiter les émissions non énergétiques (agriculture et processus industriels) et de maximiser la pompe à carbone, en optimisant la gestion de la forêt et des sols agricoles, afin que ce puits permette de compenser les émissions résiduelles incompressibles. **Le secteur forêt-bois-biomasse est un secteur stratégique pour atteindre la neutralité carbone, car il permet la séquestration de carbone et la**

<sup>1</sup> Institute for Climate Economics

production de matériaux et d'énergie biosourcés et renouvelables se substituant aux produits d'origine fossile. Le projet de stratégie prévoit donc de conserver et renforcer les puits et stocks de carbone du secteur forêt-bois ainsi que leur résilience aux stress climatiques, en développant le boisement, en réduisant les défrichements et en améliorant la gestion sylvicole. Il prévoit également de maximiser les effets de substitution et le stockage de carbone dans les produits bois en jouant sur l'offre (augmentation de la récolte de bois) et la demande (massification du recours au bois dans la construction). Les ressources bois devront également être utilisées de manière plus efficiente et les produits bois en fin de vie mieux valorisés. Enfin, il est essentiel que l'augmentation des prélèvements forestiers fasse l'objet d'un suivi régulier, s'agissant de ses effets économiques, sociaux et environnementaux : la forêt doit en effet faire l'objet d'une gestion durable et multifonctionnelle, qui garantisse la préservation de la biodiversité, des sols, des ressources en eau, des paysages et la protection contre les risques naturels.

*Comment le label Bas-Carbone s'imbrique-t-il avec l'Accord de Paris et les objectifs de la France au sein de la stratégie nationale bas-carbone ? Pensez-vous que l'initiative pourrait faire tâche d'huile en Europe ?*

Du point de vue de la France, la mise en

œuvre de ce label est une politique publique comme une autre, pour inciter à la réduction des émissions sur le territoire national. Les émissions évitées grâce au label permettent effectivement de diminuer les émissions françaises et diminuent donc ainsi notre inventaire national, en contribuant ainsi à l'atteinte des objectifs climatiques de la France que ce soit au niveau national ou international. Le fait qu'une entreprise communique sur sa contribution à la diminution de ces émissions n'y change rien et le caractère non-échangeable des réductions d'émissions supprime tout risque de double comptabilisation des réductions.

Les réductions reconnues par le label sont utilisées par leurs acquéreurs uniquement dans une optique de compensation volontaire. Du point de vue de l'acquéreur, il y a bien une compensation réelle de ses émissions car les réductions sont additionnelles et n'auraient donc pas eu lieu sans leur achat.

Il est espéré que la logique de projets volontaires de réduction des émissions, facilités par une labélisation étatique, puisse s'étendre au niveau européen. La France a toujours soutenu cette logique de projets dans les forums européens et internationaux, mettant en avant leur fonction révélatrice de sources de réductions et de prix du carbone. Plusieurs pays européens réfléchissent ou mettent en place de tels projets (Espagne, Belgique,...). ■

## Hervé Le Bouler, France Nature Environnement

*Ancien directeur de la pépinière administrative de Guéméné-Penfao, Hervé Le Bouler est aujourd'hui responsable des politiques forestières pour France Nature Environnement (FNE). Cet expert en ressources génétiques des forêts porte le message des associations environnementales sur la question du carbone.*

*Si l'on se focalise sur le sujet du carbone, vaut-il mieux continuer d'augmenter le stock*

*de carbone sur pied (avec les risques que cela représente) ou au contraire davantage exploiter (et donc ralentir l'effet « puits » en forêt) pour optimiser les leviers de substitution ?*

Pour FNE, ce n'est pas antagoniste. Le GIEC vient de rebattre radicalement les cartes. L'urgence absolue est, dès maintenant, de diminuer massivement tous les rejets de CO<sub>2</sub>, y compris ceux venant des forêts et du bois. Et il faut le faire impérativement avant 2040. Jusqu'à présent (rapport Inra-IGN de 2017, PNFB, SNBC, PPE<sup>1</sup>) il n'était pas si grave de commencer par dégrader le bilan carbone forêt-bois, si, après 2050, on rétablissait l'équilibre pour ensuite augmenter le puits forestier.



<sup>1</sup> Plan national forêt bois, Stratégie nationale bas-carbone, Programmation pluriannuelle de l'énergie.

Ce n'est plus possible, **la priorité absolue est de ne pas dépasser les + 1,5 degrés, car ensuite on rentre dans un monde inconnu où les impacts négatifs pour le fonctionnement des écosystèmes et des sociétés seraient très probablement insupportables et ingérables y compris pour la gestion forestière.** Dans le bilan net climatique de la sylviculture européenne, on ne doit pas seulement tenir compte du carbone, car la conversion des peuplements de feuillus en conifères provoque à lui seul (effets albédo et transpiration) un réchauffement direct du climat (Naudts *et al.*, 2016).

Le potentiel de croissance des forêts permet d'augmenter les usages du bois issus des forêts françaises sans oublier que la consommation de bois, quelle qu'en soit la forme, ne peut croître sans arrêt. Là aussi, il faut économiser la ressource naturelle. Mais uniquement à la stricte condition que cela ne conduise pas, dans les 20 ans qui viennent, à augmenter les rejets de carbone forestier dans l'atmosphère. Les seuls usages qui le permettent sont l'augmentation raisonnée de la récolte du bois matériau, qui associe des coefficients de substitution aux énergies fossiles suffisamment élevés et le stockage long du carbone dans le bois et des cycles de recyclage matériau.

FNE considère que l'augmentation par la sylviculture, dont la plantation, des capacités de stockage du carbone en forêt est également une voie à envisager sous réserve que là encore, celle-ci ne commence pas par des impacts environnementaux négatifs du fait des techniques utilisées (coupes rases, travail du sol, conversion totale de peuplements existants en plantations), ni par relarguer du carbone ou détruire des capacités de stockage et renvoie un retour à un bilan positif de captage à plus de 20 ans.

*Quel regard porte FNE sur les politiques publiques qui placent la biomasse comme important levier en matière d'énergies renouvelables ? Opportunité pour dynamiser la gestion de la forêt française ou risque de compromettre la durabilité de cette gestion ?*

Ces politiques sont le résultat d'engagements européens qui ont fixé des objectifs globaux sans distinguer la source d'énergie. La France est très en retard dans l'hydrolien, l'éolien et le photovoltaïque, qui sont eux réellement décarbonés. En conséquence, pour tenir les engagements, la pression se reporte sur les forêts. Du fait de l'insuffisance de notre outil industriel de panneaux et de bois d'industrie,

il est préférable, plutôt que de les mettre en décharge, de valoriser en énergie les sous-produits fatals du sciage et les déchets bois de consommation et du bâtiment. **FNE pense, en revanche, que c'est une mauvaise politique d'augmenter les récoltes de bois énergie en forêt à destination des usages industriels.** L'augmentation des récoltes de bois en France ces dernières années concerne quasi exclusivement l'usage industriel en énergie, alors que la récolte totale de bois d'œuvre et d'industrie stagne. Le résultat est que, du fait du mauvais rendement carbone du bois énergie, le bilan carbone forêt-bois de la France se dégrade d'année en année. Les conditions de récolte de ce bois, en particulier dans la petite propriété privée se font de plus en plus sur des arbres entiers, parfois de grosses dimensions avec des impacts négatifs sur la biodiversité, les sols et les paysages. Au lieu d'être au service d'une gestion sylvicole qui améliore les peuplements en place, elle accompagne souvent des conversions de forêts feuillues en plantations résineuses que FNE dénonce. Les politiques publiques industrielles de l'énergie bois doivent être revues et la fuite en avant stoppée.

*Et sur le développement d'initiatives de compensation carbone en forêt française, notamment via le label Bas-Carbone ?*

La compensation carbone en forêt française est une bonne idée. Elle permet aux entreprises et à la société de développer des liens avec le monde forestier et de drainer vers la forêt des moyens financiers qui lui manquent cruellement. L'enjeu est la façon dont cette compensation est mise en œuvre. C'est sur cette mise en œuvre et non pas sur le principe que nous jugerons du résultat selon que les techniques iront ou non vers le respect de la forêt, de sa biodiversité, des sols et des paysages. Le savoir-faire sylvicole et les connaissances scientifiques existent pour le permettre. Malheureusement, certaines volontés sont fortes pour qu'il n'en soit pas ainsi et que l'argent de la compensation soit utilisé pour des méthodes que nous dénonçons. Nous pensons que les financeurs, par conviction et qui sont sensibles au regard de la société, ne les valideront pas. **Le label Bas-Carbone est utile et indispensable, comme tout label, c'est son contenu qui est déterminant, les portes restent ouvertes.**

*Ces dernières années, plusieurs documentaires<sup>1</sup> ont mis en lumière certaines conceptions de l'arbre ou de la forêt remettant par-*

<sup>1</sup> *Le temps des forêts* documentaire.

fois en cause l'idée même de l'exploitation forestière. Or, la politique forestière de la France est d'augmenter le taux de mobilisation (actuellement de 50 %) dans les décennies à venir, notamment en forêt privée. Ne peut-on pas craindre des oppositions à venir ? Comment parvenir à augmenter notre niveau de mobilisation des bois tout en prenant en compte d'une part les aspirations de la société civile et, d'autre part, les motivations des propriétaires privés qui sont majoritairement patrimoniales et récréatives<sup>2</sup> ?

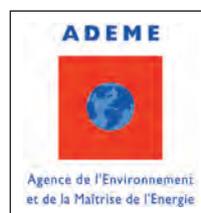
Ce n'est pas l'idée de la gestion forestière et de la récolte de bois qui est contestée. Les sondages et les débats le montrent tant chez les propriétaires privés que dans l'opinion publique. Ce qui est rejeté c'est une certaine vision exclusivement économique, vue de

l'aval et une sylviculture calquée sur l'agro-industrie. Il ne mène à rien de stigmatiser les citoyens et les propriétaires, dont les valeurs y compris sur la nécessaire production et la récolte de bois convergent, et de s'arc-bouter sur des conceptions sylvo-industrielles sans avenir, car outre leur impasse environnementale, la pression croissante de l'opinion les rendra inopérantes. Au contraire, pour aller vers l'indispensable consensus, bien mieux que des campagnes de communication balistiques inefficaces, FNE demande l'ouverture d'un large débat national sur la forêt. Celui qui émerge actuellement, s'il est bien organisé et si le monde forestier y participe sans *a priori*, n'est pas un danger pour les forestiers et la filière, c'est au contraire une formidable opportunité historique à saisir. ■



<sup>2</sup> Didot F., 2017. *Les forestiers du Massif central vers les services écosystémiques*. CNPF, 44 p.

## Jérôme Mousset, Ademe<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

*Jérôme Mousset est chef du service en charge de la forêt et de la bioéconomie à la Direction Productions et Énergies durables de l'Ademe. L'Ademe accompagne depuis plusieurs années la recherche appliquée et les acteurs économiques pour développer les usages du bois et les filières énergétiques en intégrant la gestion durable des milieux forestiers.*

*Quelle place stratégique occupe la filière forêt-bois dans les objectifs nationaux d'atténuation du changement climatique ? Quelles sont les particularités de la forêt par rapport à l'agriculture ?*

La transition énergétique et écologique de la France est en cours, avec des objectifs nationaux ambitieux. Il s'agit notamment de réduire de 40 % des émissions de GES, d'atteindre 32 % d'énergies renouvelables d'ici à 2030 et d'améliorer l'efficacité énergétique d'au moins 27 %. À l'horizon 2050, l'objectif est d'atteindre la neutralité carbone en favorisant la séquestration de carbone.

Ces objectifs politiques nécessitent des évolutions de fond sur tous les secteurs. La forêt et la filière-bois ont un rôle essentiel à jouer dans la mise en œuvre de cette transition énergétique et écologique à travers trois leviers principaux :

- la séquestration de carbone dans les écosystèmes forestiers ;
- la substitution de l'usage des ressources fossiles avec les matériaux en bois et le bois énergie ;
- la prolongation du stockage de carbone dans les matériaux.

Les analyses prospectives montrent l'importance de la contribution de la forêt et la filière dans l'atteinte des objectifs climatiques et énergétiques de la France par le stockage du carbone et la substitution des ressources fossiles. La biomasse constitue une part importante du développement des énergies renouvelables.

Ces leviers étant interconnectés, **il est nécessaire d'aborder les stratégies de développement de la filière dans sa globalité en tenant compte de la séquestration de carbone en forêt, des effets de substitution, de l'efficacité énergétique de la filière, mais aussi de l'optimisation de la ressource avec une transformation**



<sup>2</sup> Appel à manifestation d'intérêt.

<sup>3</sup> projet de recherche pour un développement durable des filières de la bioéconomie.

en France permettant de bénéficier des co-produits, ou encore de la préservation de la biodiversité.

La France possède un grand massif forestier (3<sup>e</sup> européen) et une ressource abondante avec néanmoins des disparités fortes entre les régions. Le prélèvement de bois actuel correspond en moyenne à 55 % de l'accroissement. Cette ressource disponible, essentiellement en forêt privée, reste néanmoins difficile à mobiliser pour de multiples raisons d'ordre économique et technique.

*L'Ademe soutient de nombreux projets de recherche appliquée sur le carbone et la forêt. Certains programmes de recherche achevés ont livré leurs conclusions, d'autres sont en cours. Quelles sont les principales avancées permises par ces projets ? Quelles sont les questions encore en suspens ?*

Effectivement, de nombreux projets de recherche appliquée ont été soutenus par l'Ademe auprès des équipes spécialisées sur ce domaine avec l'organisation en 2018 de plusieurs séminaires scientifiques permettant la capitalisation des connaissances. Parmi les avancées importantes, on peut **souligner le consensus scientifique sur la méthode de calcul du bilan carbone d'une stratégie d'augmentation de l'utilisation de bois qui doit nécessairement intégrer l'évolution du puits de carbone forestier, le stockage dans les produits bois et les effets de substitution**. Les travaux montrent qu'une **augmentation des prélèvements de bois modifie le puits forestier** qu'il faut prendre en compte dans le calcul du bilan global. Cela constitue donc une révision recommandée par l'Ademe depuis plusieurs années du principe de neutralité des émissions de CO<sub>2</sub> de combustion de bois utilisée jusqu'à présent. Les études montrent aussi que **les bilans environnementaux sont meilleurs quand le développement des filières du bois énergie se fait en complémentarité avec les usages du bois matériau**.

Quant aux questions qui restent à traiter, elles concernent principalement la prise en compte de l'impact du changement climatique sur l'évolution des écosystèmes forestiers, les évaluations quantitatives des effets de substitution par rapport aux produits pétrosourcés, et du rôle du carbone du sol. Enfin, les sciences socio-économiques restent insuffisamment présentes pour bien prendre en compte les conditions de changement de mode de gestion.

*L'augmentation des prélèvements en forêt française afin d'accroître conjointement la part de bois dans la construction et de biomasse dans le mix énergétique est une solution encouragée par l'Ademe (Fonds chaleur, AMI<sup>2</sup> Dynamic Bois...). Par ailleurs, la séquestration du carbone dans les forêts (sols et biomasse) est un enjeu fort identifié par vos services, par exemple au travers de l'appel à projets Graine<sup>3</sup>. Ces deux stratégies sont-elles compatibles ? Existe-t-il des points d'équilibre à trouver ?*

Les leviers de séquestration de carbone et de substitution sont interconnectés. Des complémentarités sont possibles pour trouver le point d'équilibre.

Parmi les actions bénéfiques pour le climat, on peut rappeler que la limitation de l'artificialisation des sols est un premier enjeu de préservation des stocks de carbone, qu'il est essentiel d'assurer la régénération après exploitation des forêts et de restaurer les forêts dégradées après des événements extrêmes. Il y a par ailleurs un véritable enjeu à combiner stratégies d'adaptation au changement climatique et d'atténuation. Ainsi **la limitation des impacts du changement climatique sur les écosystèmes forestiers contribuera à la préservation du stock de carbone et au développement de la filière bois**.

Tous les travaux montrent que **les stratégies sylvicoles qui ciblent la production de bois d'œuvre avec en co-produit du bois industrie et du bois énergie ont des bilans carbone très bénéfiques**. Concernant le prélèvement de compartiments supplémentaires comme les rémanents pour le bois énergie, il peut y avoir un impact sur le sol et la biodiversité. Aussi ces modalités doivent être raisonnées dans le cadre de bonnes pratiques et en fonction de chaque situation.

Enfin, rappelons que la question du carbone et de l'énergie est un enjeu central pour notre pays avec un rôle important de la forêt et du bois. **Les stratégies sylvicoles et de filière ne peuvent cependant se limiter au carbone, mais doivent s'appuyer aussi sur des approches multicritères qui tiennent compte des enjeux économiques et sociaux.** ■

# Gestion, âge, CO<sub>2</sub> : que nous apprennent de récentes publications ?

Par Simon Martel, CNPF-IDF



*Plusieurs articles publiés dans des revues scientifiques renommées et relayés par la presse semblent indiquer que les vieilles forêts sont plus efficaces que les jeunes en termes de stockage de CO<sub>2</sub>. D'autres au contraire montreraient que le puits de carbone forestier européen indique des signes de saturation, en partie à cause du vieillissement des forêts. Enfin, certaines publications remettent en cause le rôle de la gestion forestière sur le bilan climatique en raison d'effets jusque-là non pris en compte, les effets « biophysiques ». Que retenir de ces articles et de leur apparente incohérence ? Quelles leçons pour la gestion forestière ?*

## Les vieux arbres séquestrent-ils davantage de carbone ?

Stephenson *et al.*, 2014. *Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size*. Nature.

L'agrégation de données issues de 670 000 arbres de 403 essences forestières de tous les continents a montré qu'en grossissant, les arbres accumulent toujours plus de biomasse et donc de carbone et ce, de façon continue. Cette étude permet d'affirmer qu'un vieil arbre n'agit pas uniquement comme un « réservoir » de carbone, mais aussi comme une pompe, dont l'efficacité augmente continuellement avec la croissance de l'arbre.

Cette étude, **menée à l'échelle de l'arbre**, n'est cependant pas contradictoire avec la théorie selon laquelle la productivité à l'échelle du peuplement plafonne, puis diminue avec le vieillissement des arbres. Ceci s'explique par la compétition entre individus qui provoque naturellement ou avec l'aide du forestier une diminution de la densité d'arbres par unité de surface. Les gros et vieux arbres sont individuellement plus efficaces grâce à leur surface foliaire importante, mais cette dernière implique une faible densité par hectare : l'accumulation de carbone par unité de surface n'est ainsi plus forcément optimisée.

**Ainsi qu'ils l'écrivent clairement dans l'article original, les auteurs de cette étude ne montrent pas qu'une vieille forêt est plus efficace qu'une jeune pour l'absorption de carbone (ni le contraire !).**

## Assiste-t-on à la saturation du puits de carbone forestier européen ?

Nabuurs *et al.*, 2013. *First signs of carbon sink saturation in European forest biomass*. Nature Climate Change.

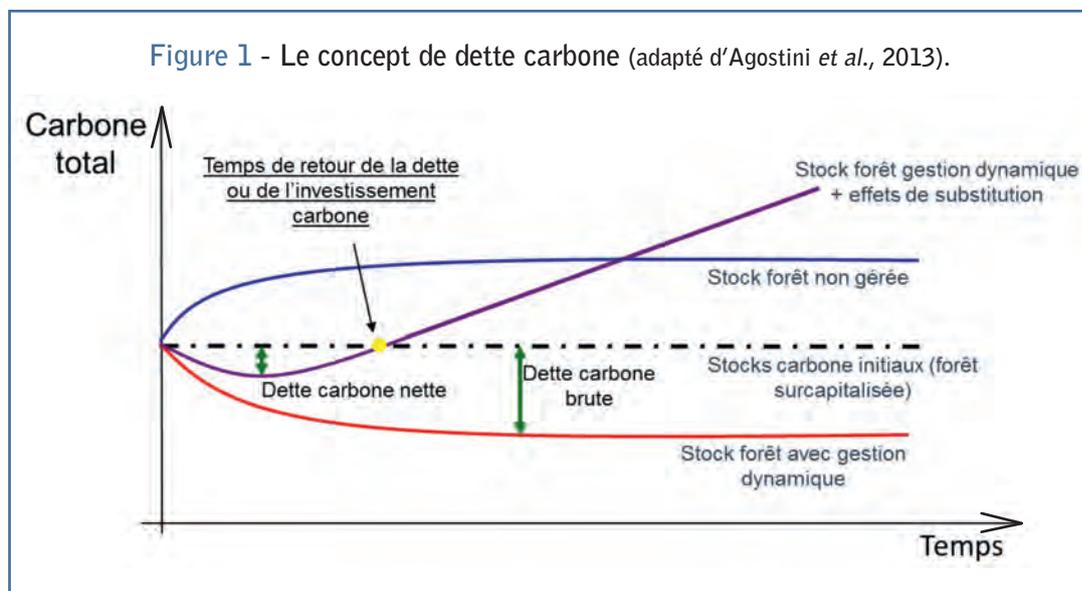
La forêt européenne a toujours été considérée, à juste titre, comme un puits de carbone depuis les années 1950. Une étude démontre **un infléchissement de la tendance entre 2005 et 2010 qui constituerait un premier indicateur du tarissement à venir du puits de carbone forestier à l'échelle continentale**.

Les auteurs attribuent à cette observation trois causes principales :

- le vieillissement global des forêts qui diminue l'accroissement net ;
- l'augmentation de la déforestation brute dans certains pays. La surface forestière européenne est globalement en hausse ; mais la différence entre les surfaces boisées et celles déboisées tend à diminuer par augmentation de la déforestation ;
- la recrudescence des perturbations naturelles (tempêtes, incendies, attaques parasitaires...).

La justification concernant le vieillissement peut cependant être remise en cause par d'autres études, qui montrent que les forêts âgées restent des puits de carbone.

La dynamisation de la gestion forestière peut impliquer une perte de stocks de carbone, compensée ultérieurement grâce aux effets de substitution supplémentaires générés.



## Les vieilles forêts demeurent-elles des puits de carbone ?

Luyssaert *et al.*, 2008. *Old-growth forests as global carbon sinks*. Nature.

En 2008, une équipe internationale publie une étude démontrant que les forêts âgées de 15 à 800 ans restent des puits de carbone. Elle a été présentée comme remettant en cause la théorie largement répandue d'Odum (1969), selon laquelle un équilibre entre séquestration et émission s'établit pour les forêts âgées de plus de 150 ans. Ce n'est que partiellement vrai. **D'une part, cette étude démontre que même si les forêts demeurent des puits en vieillissant, les jeunes forêts (définies dans cette étude comme ayant moins de 150 ans) sont des puits plus efficaces. D'autre part, cette étude est à replacer dans le contexte des changements globaux (augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>, dépôts azotés) qui ont jusqu'à aujourd'hui catalysé la croissance et permettent donc aux vieilles forêts de maintenir l'effet de puits.** Elle n'est donc pas forcément contradictoire avec la théorie d'Odum (1969), valable dans un environnement stable.

## Effets biophysiques: les forêts ne tempèrent-elles pas le réchauffement climatique ?

Naudts *et al.*, 2016. *Europe's forest management did not mitigate climate warming*. Science.  
Luyssaert *et al.*, 2018. *Trade-offs in using European forests to meet climate objectives*. Nature.

Le développement de la modélisation a permis aux chercheurs d'aller plus loin dans la compréhension des interactions entre forêt et climat. À l'échelle européenne, plusieurs études ont montré que certaines pratiques de

gestion qui séquestrent du carbone s'avèrent *in fine* climatiquement défavorables quand on tient compte des effets biophysiques (effet d'albédo et évapotranspiration notamment). Un article<sup>1</sup> de Forêt-entreprise n° 230 en 2016 faisait déjà le point sur ces études très innovantes, mais pour lesquelles il est encore trop tôt pour en tirer des recommandations pratiques. La récente publication de Luyssaert *et al.* (2018) montre qu'à l'échelle continentale, des changements massifs de gestion (par exemple transformation résineuse, transformation feuillue; conversion vers la futaie; diminution des récoltes) auraient des impacts opposés sur les deux leviers de changement climatique considérés (cycle du carbone et effets biophysiques). Par conséquent, les auteurs de cette étude recommandent de prioriser l'action sur l'adaptation des forêts au changement climatique pour maintenir leur production de bois, leur biodiversité ou encore les services sociaux et culturels en évitant de tout miser sur leur rôle d'atténuation. De fait, les forêts du nord de l'Europe sont davantage concernées, car le différentiel d'albédo entre le couvert neigeux et le couvert forestier est important (*figure 2*). D'où l'idée de favoriser les feuillus en Scandinavie pour bénéficier de l'effet d'albédo des sols enneigés concordants avec la période défeuillée. On retiendra que les importantes hypothèses de modélisation de ces travaux pionniers appellent à poursuivre ces recherches en contexte national afin d'en tirer des conclusions et recommandations applicables à la forêt française.

## De l'importance du périmètre d'étude

L'ensemble de ces études nous montre la nécessité de bien préciser le périmètre

<sup>1</sup> Martel S., 2016. *Gestion forestière en Europe et atténuation du changement climatique : des résultats récents suscitent le débat*. Forêt-entreprise n° 230 p. 38-41.

<sup>2</sup> *Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique*, Forêt-entreprise n° 245 p. 43-50. Extrait du résumé de l'étude Inra-IGN : Roux A. Dhôte J.-F. *et al.*, 2017. *Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? Une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050*. Rapport d'étude pour le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Inra et IGN, 96 p. + 226 p. (annexes).

## À retenir

Un vieil arbre accumule plus de biomasse donc de carbone, avec la limite physique de la densité d'arbres par hectare. La forêt européenne montre le début d'une saturation future du puits de carbone. Les vieilles forêts restent des puits de carbone, les jeunes forêts de moins de 150 ans sont des puits plus efficaces. L'augmentation du carbone dans l'air a amplifié jusqu'à aujourd'hui la croissance, donc l'effet de puits des vieilles forêts. La gestion durable des forêts optimise le bilan carbone.

d'évaluation avant d'en tirer des conclusions. On entend ici par périmètre :

- l'échelle de temps ;
- l'échelle géographique ;
- les leviers évalués (séquestration, substitution, effets biophysiques...);
- les « compartiments » considérés (sol, biomasse, produits bois).

### Dette ou investissement carbone ?

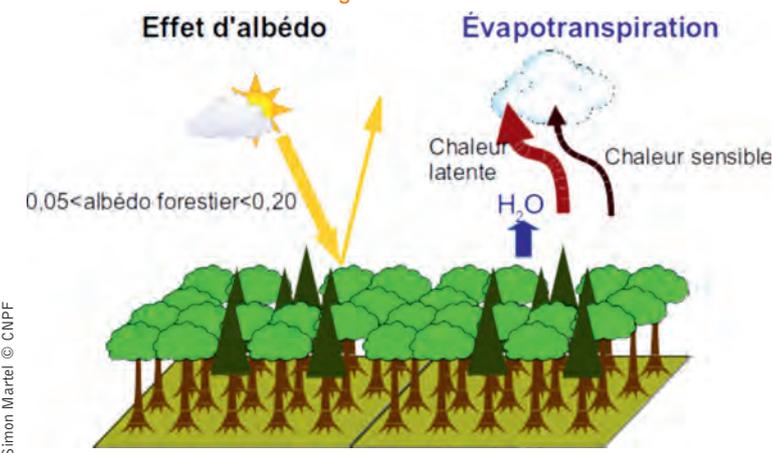
Le décideur, qu'il soit gestionnaire à l'échelle de la parcelle ou décideur public à l'échelle territoriale, cherchera à **optimiser l'effet d'atténuation** par superficie plutôt qu'à l'échelle de l'arbre individuel. Il tiendra également compte des **risques**, de plus en plus importants à mesure que le stock de carbone d'une forêt augmente. L'étude Inra-IGN<sup>2</sup> montre d'ailleurs qu'un événement extrême comme une tempête peut considérablement bousculer le bilan carbone national.

En ayant une approche intégrée qui tient compte des effets de substitution liés à l'utilisation du bois en tant que matériau ou énergie, **l'optimisation du bilan carbone sur le long terme passe par une gestion régulière et durable des forêts**. Le rajeunissement par l'exploitation de certaines forêts peut conduire à un bilan carbone négatif sur le court terme, mais qui sera favorable sur le long terme grâce à l'effet de substitution : c'est le concept de « dette carbone », introduit par Agostini *et al.* (2013) qui peut également être perçu comme un « investissement carbone ».

**L'âge d'exploitation optimum pour le bilan carbone visera à maximiser à la fois le volume et la qualité des produits tout en prenant un risque raisonnable.** ■

Figure 2 - Forêt et effets biophysiques majeurs

Les forêts absorbent plus ou moins de chaleur par les deux effets de l'albédo et de l'évapotranspiration, contribuant ainsi à refroidir l'atmosphère de manière différenciée suivant leur gestion.



### Effets biophysiques et climat

Les effets biophysiques tiennent compte des flux d'énergie à l'interface entre la surface et l'atmosphère. Les deux principaux effets dépendent des types d'occupation du sol.

- **L'albédo** : plus une surface est sombre, moins elle réfléchit le rayonnement solaire et donc plus cette énergie est gardée en surface et contribue au réchauffement local, son albédo est donc faible. L'albédo des couverts forestiers est généralement compris entre 0,05 et 0,2 donc faible ; ce qui signifie que 80 à 95 % de l'énergie solaire reçue par les forêts est absorbée.
- **L'évapotranspiration (ETP)** : les écosystèmes restituent de l'énergie à l'atmosphère sous forme de chaleur latente en évaporant et transpirant de l'eau. Les forêts ont un fort pouvoir d'évapotranspiration et contribuent par ce biais à refroidir l'atmosphère.

### Bibliographie

■ Agostini A., Jacopo G. & Aikaterini B., 2013. *Carbon accounting of forest bioenergy*. 88 JRC.

■ Luyssaert S. *et al.*, 2008. *Old-growth forests as global carbon sinks*. Nature 455, 213-215.

■ Luyssaert S. *et al.*, 2018. *Trade-offs in using European forests to meet climate objectives*. Nature 562, 259-262.

■ Nabuurs G.-J. *et al.*, 2013. *First signs of carbon sink saturation in European forest biomass*. Nature Climate Change 3, 792-796.

■ Naudts K. *et al.*, 2016. *Europe's forest management did not mitigate climate warming*. Science 351, 597-600.

■ Odum E. P., 1969. *The Strategy of Ecosystem*

*Development*. Science 164, 262-270 (1969).

■ Stephenson N. L. *et al.*, 2014. *Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size*. Nature 507, 90-93.

# Séquestration de carbone organique dans les sols forestiers : impacts de la gestion sylvicole

 15 min

Par Laurent Augusto<sup>1</sup>, Laurent Saint-André<sup>2</sup>, Fabrice Bureau<sup>3</sup>, Delphine Derrien<sup>2</sup>, Noémie Pousse<sup>4</sup>, Lauric Cécillon<sup>3,5,\*</sup>

<sup>1</sup> Inra, Centre de Bordeaux Aquitaine, Unité Interactions Sol Plante Atmosphère

<sup>2</sup> Inra, Centre de Nancy, Unité Biogéochimie des Écosystèmes Forestiers

<sup>3</sup> Université de Rouen-Normandie, Irstea, Laboratoire Ecodiv

<sup>4</sup> ONF, Département RDI

<sup>5</sup> PSL Research University, Laboratoire de Géologie de l'ENS, [lauric.cecillon@irstea.fr](mailto:lauric.cecillon@irstea.fr)

*Les sols stockent la majeure partie du carbone présent au sein des écosystèmes forestiers, avec plus de 100 tC/ha en moyenne dans le premier mètre du sol<sup>6</sup>. La séquestration durable – sur des périodes dépassant le siècle – de carbone organique dans les sols (COS) forestiers est un phénomène bien établi, notamment lors du boisement d'anciennes terres arables<sup>7</sup>. Toutefois, certaines actions du forestier lors de la gestion sylvicole sont susceptibles de modifier, à la hausse ou à la baisse, les quantités de COS stockées<sup>8</sup>. Cet article propose un point sur les connaissances concernant l'effet des pratiques de gestion sylvicole sur l'évolution des stocks de COS en forêt française métropolitaine. Il est basé sur l'état des recherches scientifiques portant sur les forêts tempérées ou boréales à travers le monde.*

<sup>6</sup> Derrien D., 2018. *Le carbone organique des sols forestiers, un stock en constante évolution*, Forêt-entreprise n° 242, p.44-48.

<sup>7</sup> Poeplau *et al.*, 2011.

<sup>8</sup> Jandl *et al.*, 2007.

<sup>9</sup> L'intensité d'éclaircie est définie ici comme le pourcentage de surface terrière prélevée ou le pourcentage d'arbres prélevés, en fonction du protocole des études de cas.



## Récolte de biomasse

Lors de la récolte, le forestier modifie temporairement les entrées (par exemple des chutes de litière diminuées ou supprimées, ou des apports de résidus d'exploitation additionnels), et les sorties de carbone du sol (par exemple une décomposition accrue de la couche de litière, souvent d'autant plus que le stock de COS initial est important et que la mise en lumière est forte), au moins jusqu'à fermeture du couvert.

Un consensus scientifique se dégage pour démontrer qu'**une éclaircie (récolte partielle des troncs) n'affecte pas significativement les stocks de COS des horizons minéraux du sol** (tableau 1). Les résultats sont différents pour la couche de litière avec des pertes de carbone qui deviennent significatives lorsque le taux d'éclaircie dépasse un seuil d'environ 35 %<sup>9</sup>. Au-delà de 55 % d'éclaircie, les pertes en carbone dans la couche de litière sont de l'ordre de - 40 % (Achat *et al.*, 2015). L'effet

**Tableau 1 - Effet des pratiques de gestion sylvicole sur la séquestration de carbone organique dans les sols forestiers tempérés.** (Résultats issus de l'étude 4 pour 1000 France, Inra - ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation ; Ademe)

Actions du forestier	Effet sur le stock de carbone organique du sol	Besoins de recherche
Eclaircie	↔ Dépend du stock de C initial	
Coupe-rase	↘ Surtout en cas de perturbation du sol	🔒
Récolte des souches	↔ Mal connu sous climat tempéré	🔒
Récolte des houppiers	↘ Effet fonction du climat?	🔒
Plantation	↘ Comparaison à la régénération naturelle	
Préparation mécanisée du site	↘ A comparer au bilan C de l'écosystème	🔒
Densité de plantation	↔ Besoin de suivi à long terme	🔒
Diversité du peuplement	? Besoin de suivi à long terme	🔒
Identité du peuplement	? Besoin de suivi à long terme	🔒
Régime sylvicole	? Effet de l'historique du site	🔒
Structure d'âge du peuplement	? Effet de l'historique du site	🔒
Durée de rotation	? Effet de l'historique du site	🔒
Fertilisation azotée	↔ Effet très variable	
Apport de cendres	↔ Dépend du stock de C initial	
Apport de produits résiduaux organiques	↗ Transfert latéral de fertilité et de C	

↗ Hausse du stock de COS  
↘ Baisse du stock de COS  
↔ Stock de COS invariant  
? Effet inconnu sur le stock de COS  
🔒 Besoins de recherche

des coupes rases (récolte totale des grumes ; *photo 1*) sur les stocks de COS est contrasté, notamment selon la profondeur de sol considérée et les interactions avec d'autres pratiques de gestion (résidus brûlés, travaux de préparation du site). Lorsque seules la couche de litière et la partie supérieure du profil minéral du sol sont prises en compte, la coupe rase diminue significativement (- 10 % à - 15 %) les stocks de COS (Achat *et al.*, 2015). Toutefois, lorsque l'ensemble du profil de sol est pris en compte, l'effet moyen de la coupe rase sur le stock de COS devient non-significatif, même si une tendance à la baisse subsiste (- 6 % ; Achat *et al.*, 2015). En effet, lors d'une coupe rase, une partie importante du COS perdue en surface n'est pas minéralisée mais peut être redistribuée plus en profondeur lors d'opérations de préparation du site.

**La récolte des rémanents, en plus des troncs, pose de sérieuses questions concernant la fertilité des sols et la durabilité de la gestion forestière.** Les stocks de COS sont diminués de manière d'autant plus forte par la récolte des houppiers que le nombre de compartiments du houppier (branches, brindilles et feuillage) récoltés est important. Ainsi, **la récolte complète des houppiers (branches + brindilles + feuil-**

**lage) conduit aux pertes maximales de carbone du sol** (- 24 % dans la couche de litière). Sur l'ensemble du profil de sol, la récolte des houppiers entraîne en moyenne une perte de 11 % du COS (Achat *et al.*, 2015 ; *tableau 1*). Concernant la récolte des souches, l'essentiel des connaissances actuelles provient de deux pays du nord de l'Europe. La récolte des souches n'y entraîne généralement aucun déstockage de COS, qui peut être compensée par une augmentation de la séquestration de carbone dans la biomasse. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que la perturbation des sols induite par la récolte de souches n'entraîne pas de sur-minéralisation importante du COS. Toutefois, l'extrapolation à la forêt française demeure délicate et des recherches sont nécessaires sur notre territoire.

### À retenir

Les sols stockent la majeure partie du carbone présent au sein des écosystèmes forestiers, avec plus de 100 tC/ha dans le premier mètre du sol. La gestion sylvicole est susceptible de modifier, à la hausse ou à la baisse, les quantités de carbone stockées dans les sols. L'intensité des éclaircies, l'exportation de matières et la durée de révolution influent sur le maintien de la fertilité des sols. Les pratiques de gestion sylvicole raisonnées respectent le fonctionnement de l'écosystème et le carbone organique du sol.

**Mots-clés :** sols forestiers, séquestration de carbone, gestion sylvicole, pratiques.

## Gestion du couvert végétal de l'écosystème

Lors du renouvellement des peuplements forestiers, la gestion sylvicole influence les stocks de COS. Ainsi, **les sols des forêts régénérées par plantation (photo 2) montrent généralement une perte systématique de COS par rapport à ceux des peuplements forestiers en régénération naturelle (tableau 1)**. Ces pertes de carbone dans les sols des forêts plantées sont significatives dans la couche de litière (- 15 % en moyenne), comme dans la couche de sol minéral (- 15 % à - 20 % en moyenne, par rapport à des forêts primaires et secondaires en régénération naturelle). Les opérations de préparation du site, c'est-à-dire l'ensemble des travaux d'aménagements lors de l'installation ou de la régénération d'un peuplement forestier (figure 1), modifient les stocks de COS. Une préparation mécanisée du site par labour induit une perte de COS substantielle dans la couche de litière (- 35 % en moyenne), mais pas dans le sol minéral (James et Harrison, 2016). Une redistribution latérale du COS est souvent observée lorsque des outils préparant des lignes de plantation sont utilisés. Lors du boisement d'anciennes terres arables faibles en COS, l'intensité des opérations de préparation du site module l'évolution des stocks de COS : la plantation manuelle (ou autre opération non intensive) induit une augmentation plus forte du stock de COS (+ 19 % sur 20 ans) qu'une préparation mécanisée du sol avec labour, formation mécanisée de billons et/ou de tranchées, et plantation à l'aide d'engins (seulement + 4 % sur 20 ans).

Au-delà de leurs effets généralement négatifs sur les stocks de COS, il est important de rappeler que les opérations de préparation du site entraînent souvent une augmentation de la séquestration de carbone dans la biomasse (en améliorant la croissance des arbres), susceptible de compenser les pertes de COS qu'elles génèrent, voire de constituer un puits net de carbone à l'échelle de l'écosystème forestier. Par ailleurs, il est relativement établi que les boisements effectués avec une densité de plantation forte ne voient pas leur stock de COS augmenter plus que ceux réalisés avec une densité de plantation faible. De même, aucune différence de stocks de COS n'a été observée dans des plantations de pin maritime (forêt des Landes) et de douglas (massifs forestiers du Limousin et du Morvan) entre des parcelles à forte ou à faible densité de plantation. Il ressort que **la densité des**



**peuplements forestiers, pour autant que le couvert végétal soit maintenu, n'a pas d'effet quantifiable sur les stocks de COS.**

Le choix des essences forestières est susceptible d'affecter les stocks de COS au travers de deux leviers : la biodiversité (le nombre d'espèces d'arbres présentes), et l'identité (la nature de l'espèce d'arbre – ou des espèces – présente(s)). Pourtant, concernant les peuplements plus diversifiés, les résultats existants ne montrent qu'un effet très faible (0 à + 10 %) sur les stocks de COS. Outre le manque de données fiables, l'imprécision relative à l'effet de la biodiversité tient également au fait que les résultats sont extrêmement dépendants du contexte, qu'il s'agisse du climat, du type de sol, ou de l'identité des espèces qui composent les peuplements à forte biodiversité. **L'identité des espèces (espèce ou groupe fonctionnel comme les conifères ou les fixateurs d'azote) a potentiellement plus d'impact sur le stock de COS que la biodiversité.** Un résultat largement documenté est le plus grand stockage de carbone dans la litière sous les conifères (+ 100 % en moyenne<sup>10</sup>). Toutefois, lorsque l'ensemble du profil de sol est pris en compte, il n'existe plus de différence significative entre les conifères

<sup>10</sup> Augusto L. et al., 2015

Figure 1 - (A) Travaux de préparation du site par travail du sol localisé (technique « 3B »), site expérimental Alter (pôle Renfor) d'Haguenau (Bas-Rhin) sur (B) Podzosol meuble rédoxique



et les feuillus. C'est pourquoi dans l'état actuel des connaissances, aucun levier de gestion impliquant le choix des essences forestières ne peut être mobilisé pour augmenter les stocks de COS. De la même manière, il n'est pas encore possible de trancher quant au rôle séquestrant ou non d'autres leviers de gestion du couvert végétal en l'état actuel des connaissances (Tableau 1). C'est notamment le cas du régime sylvicole (par exemple taillis, taillis sous futaie ou futaie), de la structure d'âge des peuplements, ou encore de la durée de rotation des peuplements dont l'allongement est prédit comme une pratique « stockante » par la plupart des modèles. L'étude de ces leviers potentiels de séquestration de carbone dans les sols est difficile, tant il est compliqué d'étudier de telles modalités « toutes choses égales par ailleurs », ou de mettre en place et de suivre dans le temps long de tels essais.

### Apports au sol de matières exogènes

Des apports exogènes de matières minérales ou organiques peuvent modifier les stocks de COS (tableau 1). C'est le cas de la fertilisation azotée des écosystèmes forestiers qui entraîne une réponse très variable du stock

de COS, ne permettant pas de recommander cette pratique pour augmenter les stocks de COS forestiers. L'apport de cendres ne fait en moyenne pas varier significativement le stock de COS, mais il existe un risque de déstockage de COS qui augmente avec le stock de COS initial, à mettre au regard des gains potentiels de productivité de biomasse aérienne. L'apport aux sols forestiers de produits résiduels organiques a un effet moyen positif sur le stock de COS (de l'ordre de + 20 %, dépendant de la dose apportée), sans influence nette du type de produit apporté.

### Conclusion : quelle gestion sylvicole pour préserver et augmenter les stocks de COS ?

Les pratiques pour stocker du carbone dans les sols forestiers ne peuvent pas se raisonner indépendamment des cycles d'éléments nutritifs car les forêts sont en très grande majorité sur des sols pauvres, acides avec une recharge en éléments minéraux essentiellement basée sur les apports atmosphériques et l'altération des minéraux du sol. Ainsi, **l'intensité des éclaircies, les compartiments exportés et la durée de révolution sont des**

© N. Pousse - Inra

**paramètres importants pour le maintien de la fertilité des sols.** Par ailleurs, la conversion ou le renouvellement des peuplements pour tenir compte des changements climatiques pourra avoir des conséquences sur le sol.

Au final, nous envisageons cinq grands cas potentiels sur lesquels la gestion sylvicole a des moyens de contribuer au stockage du carbone organique dans les sols forestiers. Ces cinq cas peuvent être regroupés en trois groupes, en fonction de leur potentiel de séquestration de COS.

**A/ Les sols forestiers à fort potentiel de séquestration de COS (> 0,50 tC/ha/an)**

**Cas 1** – Les forêts « récentes » (boisement postérieur à 1960) sur d'anciens sols arables constituent un fort puits de COS pour les 40 prochaines années en cas de maintien de l'usage boisé (l'état d'équilibre des stocks de COS n'étant pas atteint 120 ans après le boisement<sup>11</sup>).

**Cas 2** – La conversion par plantation de peuplements forestiers récents (type accru naturel sur terres arables abandonnées) avec des essences adaptées aux changements climatiques et à forte production en carbone constitue un second puits de COS fort et durable.

Pour ces deux cas de figures, il est possible de profiter à la fois des effets de séquestration de carbone dans l'écosystème (sol et biomasse), et des effets de substitution *via* la récolte de biomasse.

**B/ Les sols forestiers à potentiel de séquestration de COS modéré (environ 0,17-0,35 tC/ha/an)**

**Cas 3** – Les forêts anciennes et gérées (publiques et privées) constituent un puits modéré de COS comme le démontrent les observations de séquestration de COS en forêt domaniale gérée<sup>12</sup>. Pour ces forêts,

un taux conservatif d'environ 0,17 tC/ha/an peut être retenu<sup>13</sup>. Pour ce cas, l'ambition est de conserver ce capital de séquestration de COS en évitant les coupes rases (régénération naturelle, conservation d'un couvert forestier, avec une préparation du sol minimale), et en adoptant des durées de rotation entre deux éclaircies supérieures aux pratiques actuelles.

**C/ Les sols forestiers à potentiel de séquestration de COS faible et à risque important de perte de COS**

**Cas 4** – Dans les forêts sur-capitalisées et en position d'être exploitées, deux solutions principales sont à déterminer selon le type de peuplement :

- pour ceux mités et/ou en situation de sur-stockage depuis longtemps, la plantation avec pas ou peu de travail du sol sera la solution la plus rapide et la moins coûteuse en perte de COS ;

- pour les autres peuplements, des éclaircies de faible intensité et rapprochées pour éviter des dégâts majeurs issus des tempêtes ou des attaques de pathogènes permettront d'éviter un déstockage important du COS. Les peuplements forestiers récents (type accru naturel) sur d'anciennes prairies rentrent aussi dans cette catégorie. Leur transformation réussie les intégrera dans le cas 3 des forêts gérées.

**Cas 5** – Les forêts soumises à une forme de protection particulière (parcs, réserves, etc.) à gestion non orientée vers la production de bois vont probablement continuer à stocker du COS à condition qu'elles ne soient pas affectées trop fortement par les changements globaux ou par un aléa (tempête, incendie, épidémie). En revanche, la (re)mise en exploitation de ces forêts pourrait entraîner un déstockage de COS. ■

<sup>11</sup> Poeplau C. *et al.*, 2011.

<sup>12</sup> Jonard M., Nicolas M. 2019. *Les sols des forêts du réseau Renecofor séquestrent le carbone*. Forêt-entreprise n° 245, p. 67-71.

<sup>13</sup> Inra-IGN 2019. *Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ?* Forêt-entreprise n° 245, p. 43-50.

#### Remerciements :

Les auteurs remercient les pilotes (Sylvain Pellerin et Laure Bamière) et les participants de l'étude 4 pour 1000 France (Inra ; Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation ; Ademe) dans le cadre de laquelle la majeure partie de ce travail a été réalisée. Une partie de ces travaux a été conduite dans le cadre du projet Capsol financé par l'Ademe.

#### Bibliographie :

■ Achat D.L., Fortin M., Landmann G., Ringeval B., Augusto L., 2015. *Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting*. Scientific Reports, 5. <http://dx.doi.org/10.1038/srep15991>

Cet article est résumé dans « Conséquences de l'intensification des récoltes de biomasse sur le stockage de carbone en forêt », 2016. Achat D., et Augusto L., Forêt-entreprise n° 230, p. 34-37

■ Augusto L., De Schrijver A., Vesterdal, L., Smolander A., Prescott C., Ranger J., 2015. *Influences of evergreen gymnosperm and deciduous angiosperm tree species on the functioning of temperate and boreal forests*. Biological Reviews, 90 (2): 444-466. <http://dx.doi.org/10.1111/brv.12119>

■ James J., Harrison R., 2016. *The effect of harvest on forest soil carbon: a meta-analysis*. Forests, 7 (12). <http://dx.doi.org/10.3390/f7120308>

■ Jandl R., Lindner M., Vesterdal L., Bauwens B., Baritz R., Hagedorn F., Johnson D.W., Minkinen K., Byrne K.A., 2007. *How strongly can forest management influence soil carbon sequestration?* Geoderma, 137 (3-4): 253-268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.09.003>

■ Poeplau C., Don A., Vesterdal L., Leifeld J., Van Wesemael B., Schumacher J., Gensior A., 2011. *Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach*. Global Change Biology, 17 (7): 2415-2427. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x>

# Les sols des forêts du réseau Renecofor séquestrent le carbone



Par Mathieu Jonard<sup>1</sup>, Manuel Nicolas<sup>2</sup>, David Coomes<sup>3</sup>, Isabelle Caignet<sup>1</sup>, Anaïs Saenger<sup>1</sup> et Quentin Ponette<sup>1</sup>

*Renecofor est le Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers. Ce dispositif se révèle très utile pour obtenir des éléments objectifs de comparaison et de connaissance sur la concentration en carbone des sols forestiers.*

## Le carbone des sols : un enjeu pour le climat

Les sols ont un rôle important à jouer dans la régulation du climat. Ils constituent une réserve considérable de carbone, sous forme de matières organiques, dont une augmentation minimale (4 % par an) pourrait suffire à stopper l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. À l'inverse, une diminution de cette réserve pourrait contribuer à accélérer le réchauffement du globe. C'est à partir de ce constat que la France a lancé l'initiative « 4 pour 1000 », lors de la Conférence de Paris sur le climat (COP21) en 2015, afin de promouvoir des pratiques de nature à préserver, voire à développer les stocks de carbone des sols. Il importe en retour de suivre l'évolution réelle de ces stocks.

## Engagements de la France et objectifs de l'étude

Dans le cadre des négociations internationales relatives aux changements climatiques (convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques), de nombreux pays, dont la France, ont signé le protocole de Kyoto et se sont engagés, pour la période 2008-2012, à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) de 5 % par rapport au niveau de 1990. Plus récemment, lors de la COP 21, un nouvel accord a été obtenu avec comme ambition de limiter le réchauffement climatique à moins de 1,5 °C à l'horizon 2100. Dans cette optique, la France s'est engagée à réduire, d'ici à 2030, ses émissions de GES de 40 % par rapport au niveau de 1990.

Pour que l'on puisse vérifier le respect de leurs engagements, les pays signataires sont tenus de comptabiliser leurs émissions de GES et de fournir des rapports. Pour la période 2008-2012, la prise en compte de la foresterie dans cette comptabilité était optionnelle : la France avait choisi de l'intégrer en faisant l'hypothèse que les sols forestiers ne constituaient pas une source nette de carbone vers l'atmosphère, hypothèse qui demandait toutefois à être vérifiée. Par chance, la France était aussi l'un des rares pays doté d'un observatoire national disposant depuis peu de mesures répétées du stock de carbone des sols forestiers, le réseau Renecofor. C'est à la demande du ministère de l'Agriculture que nous avons analysé ces données, afin de déterminer si les sols forestiers français se comportent comme des sources ou comme des puits de carbone.

Concrètement, le premier objectif était de détecter et de quantifier l'évolution du stock de carbone organique dans le sol. Dans un second temps, nous avons tenté d'identifier les facteurs et processus responsables des évolutions observées en nous basant sur deux types d'approches : une analyse statistique (procédure de sélection de variables) et une approche par bilan entre les flux d'entrée et de sortie de carbone.

## Comment le réseau Renecofor suit le carbone des sols forestiers ?

Cette étude s'est donc basée sur les données de sol collectées dans les 102 placettes du réseau Renecofor, lesquelles couvrent une

<sup>1</sup> Université catholique de Louvain, *Earth and Life Institute, Environmental Sciences*, Croix du Sud,

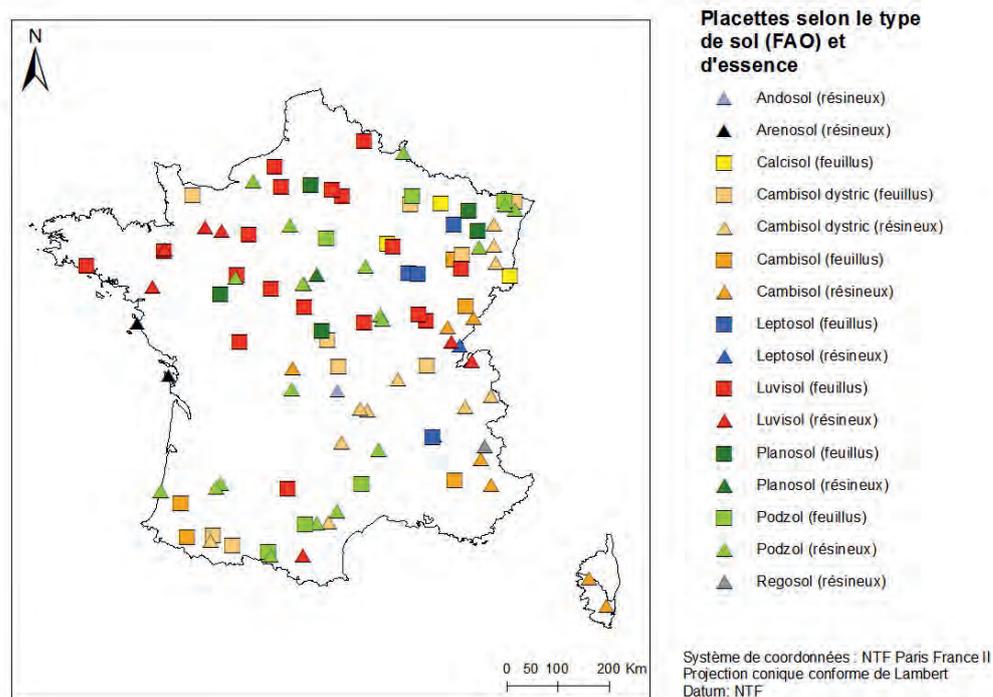
<sup>2</sup> – Boîte L7.05.09, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique (mathieu.jonard@uclouvain.be, quentin.ponette@uclouvain.be)

<sup>3</sup> Office national des forêts, département Recherche-développement-innovation, Boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau, France (manuel.nicolas@onf.fr)

<sup>3</sup> *University of Cambridge, Department of Plant Sciences, Forest Ecology and Conservation Group, Downing Street, Cambridge CB2 3EA, UK* (dac18@cam.ac.uk)

<sup>4</sup> Une variante de la méthode Walkley - Black qui consiste à oxyder le carbone organique par un excès de  $K_2Cr_2O_7$  en milieu acide ( $H_2SO_4$ ) à  $30^\circ C$ . La teneur en carbone organique est ensuite obtenue en dosant les ions  $Cr^{3+}$  réduits par colorimétrie.

Figure 1 - Distribution des placettes du réseau Renecofor selon le type de sol (classification FAO) et d'essence (feuillus vs résineux)

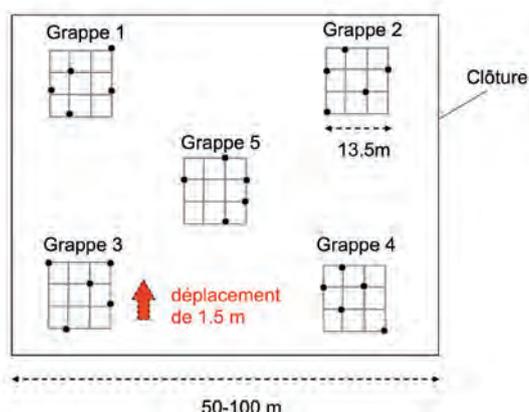


## À retenir

Les sols forestiers constituent une grande réserve de carbone dont l'évolution importe dans le cadre des engagements internationaux pour le climat. En France, le réseau Renecofor a permis pour la première fois de quantifier cette évolution à partir de mesures répétées à 15 ans d'intervalle sur 102 sites répartis dans la forêt métropolitaine. En moyenne, les sols de ce réseau ont accumulé 0,35 tC/ha/an, principalement dans la couche 0-10 cm du sol minéral. Cette séquestration du carbone par le sol tend à diminuer avec l'âge des peuplements et à être affectée par sa structure, suggérant qu'elle pourrait être influencée par des choix de gestion forestière. Une grande part de sa variabilité reste néanmoins inexpliquée. Les recherches doivent se poursuivre pour mieux comprendre la dynamique du carbone des sols et pouvoir prévoir son évolution sous l'effet des changements environnementaux.

**Mots-clés :** sol, séquestration du carbone, suivi à long terme des forêts, Renecofor.

Figure 2 - Plan d'échantillonnage du sol au sein d'une placette Renecofor (entre chaque campagne, les grappes sont déplacées de 1,5 m dans une direction donnée)

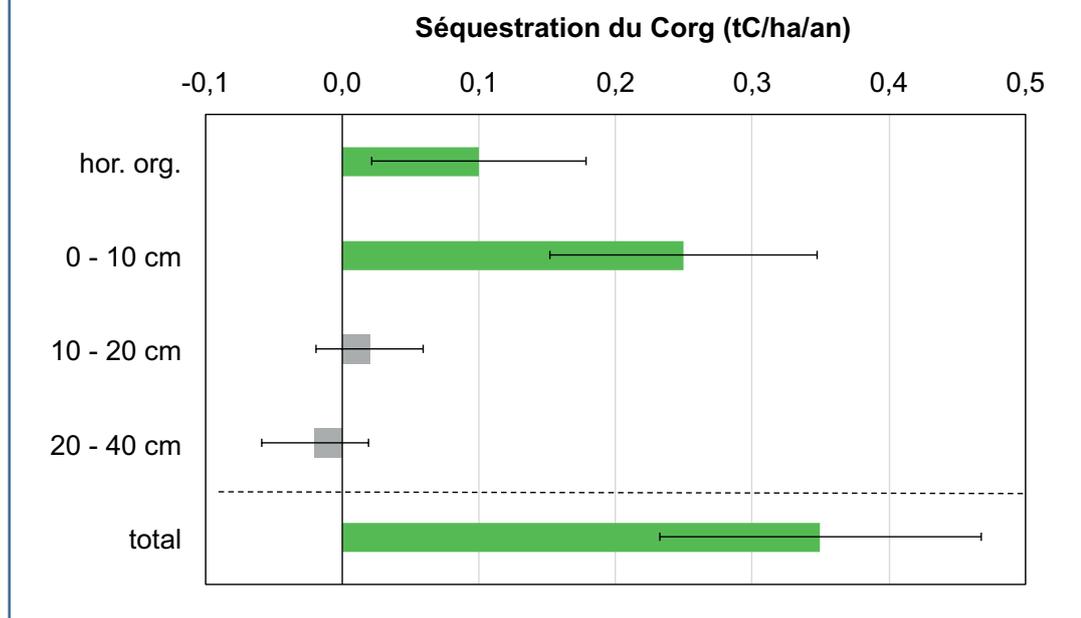


large gamme d'essences, de climats et de sols (figure 1). Au sein de chaque placette, l'échantillonnage du sol a été effectué dans 5 grappes carrées fixes, une première fois entre 1993 et 1995 et puis 15 ans plus tard entre 2007 et 2012. Chaque grappe était divisée selon une grille comprenant 16 nœuds parmi lesquels 5 points de prélèvement ont été choisis de manière à obtenir une bonne répartition spatiale (figure 2). Pour chaque couche de sol, un échantillon-composite a été constitué en rassemblant les échantillons d'une même grappe. Ce plan d'échantillonnage a été conçu de manière à bien cerner la variabilité intraplacette pour pouvoir mettre en évidence à moyen terme les éventuelles évolutions temporelles à l'échelle du site.

Le prélèvement des échantillons de sol s'est fait en 4 à 6 couches. Jusqu'à 3 horizons organiques (OL, OF, OH) ont été individualisés dans l'humus. Pour le sol minéral, le prélèvement s'est fait par couche de profondeur fixée : 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm. La teneur en carbone organique des échantillons a été déterminée par combustion sèche (après soustraction de la teneur en carbonates) en ce qui concerne les horizons organiques et la couche 0-10 cm et par la méthode Anne<sup>4</sup> pour les couches 10-20 et 20-40 cm. Aux deux campagnes, le stock de carbone de l'humus a été calculé en multipliant la masse de litière de chaque horizon organique par sa teneur en carbone organique et en sommant

**Figure 3 - Variation annuelle du stock de carbone organique (Corg) dans les différentes couches de sol.**

Les barres d'erreurs correspondent aux intervalles de confiance à 95 %.  
La couleur verte indique que la variation est significative d'un point de vue statistique.



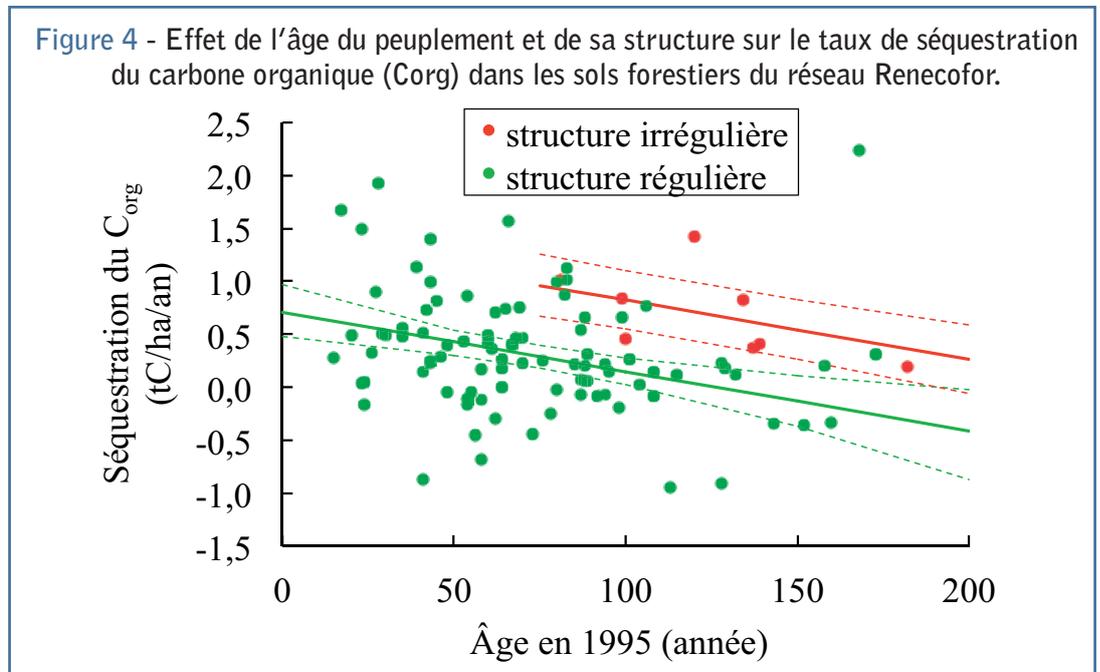
La séquestration de carbone d'environ 0,35 tC/ha/an se situe essentiellement dans les couches de 0 à 10 cm et dans les couches organiques du sol.

sur l'ensemble de ces horizons. Au niveau des couches minérales, le stock de carbone a été obtenu sur base de la teneur en carbone et de la densité apparente en tenant compte de la fraction d'éléments grossiers. Exactement les mêmes méthodes de prélèvement et d'analyse ont été mises en œuvre aux deux campagnes, ce qui rend les stocks de carbone tout à fait comparables d'une campagne à l'autre.

### Des stocks de carbone mesurés à la hausse

Comme le laps de temps séparant les deux campagnes de prélèvement de sol variait d'une placette à l'autre, l'analyse statistique a été faite sur la différence de stocks de carbone entre les deux campagnes rapportée au temps écoulé. La variation annuelle du stock de carbone est significative uniquement pour les couches organiques et la couche 0-10 cm du sol minéral ainsi que pour le stock total (figure 3). Cette variation se faisant à la hausse, il s'agit d'une **séquestration de carbone par le sol qui s'élève à 0,35 tC par ha et par an et qui, rapportée au stock de carbone du sol (en moyenne 81 tC/ha), est de l'ordre du fameux objectif de quatre pour mille** (Jonard *et al.*, 2017). En l'extrapolant à l'ensemble des forêts françaises, ce puits de carbone équivaldrait approximativement à 5 % des émissions de GES dues à la combustion des énergies fossiles en France. Il s'agit bien évidemment d'un ordre de grandeur calculé en

supposant que le réseau Renecofor soit représentatif de l'ensemble de la forêt française. Or, si le réseau a été conçu de manière à couvrir les principales essences de production dans une large gamme de contextes écologiques, certains types d'écosystèmes n'ont pas été considérés (ex. : forêts méditerranéennes). De plus, les placettes ont été installées uniquement en forêt publique et dans des peuplements matures dont le terme d'exploitabilité était encore éloigné (> 30 ans). Initialement, la phase de régénération ne devait donc pas être prise en compte, mais les tempêtes de 1999 et 2009 ont hâté le renouvellement de certains peuplements ce qui rend finalement le réseau plus complet à cet égard. Même si le réseau Renecofor n'a pas été prévu pour être représentatif au sens strict du terme, nous sommes relativement confiants dans l'estimation du taux moyen de séquestration du carbone par les sols forestiers français. Ce chiffre sera affiné d'ici quelques années grâce aux données issues de la deuxième campagne d'échantillonnage du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) comprenant 2 200 placettes réparties selon un maillage de 16 km × 16 km et dont un quart des points se situent en forêt (Nicolas *et al.*, 2014). Cependant, on peut déjà noter qu'en Allemagne, un taux de séquestration du carbone comparable à celui de la France a été mesuré (0,41 tC par ha et par an) sur un réseau comportant 1 800 placettes réparties sur l'ensemble du pays selon



un maillage systématique de 8 km x 8 km (Grüneberg *et al.*, 2014).

### Quels facteurs pourraient expliquer cette dynamique ?

Pour identifier les facteurs à l'origine de cette séquestration ou permettant de discriminer les placettes vis-à-vis de celle-ci, une série de variables potentiellement explicatives ont été présélectionnées et une méthode de sélection de variables leur a été appliquée, ce qui a permis de mettre en évidence l'effet de deux facteurs : l'âge et la structure du peuplement. La séquestration du carbone dans le sol diminue avec l'âge du peuplement et elle est plus élevée dans les peuplements irréguliers que dans les peuplements réguliers (figure 4). Ensemble, ces deux facteurs expliquent 14 % de la variabilité. Le fait que seule une faible proportion de la variabilité puisse être expliquée provient de la grande incertitude associée aux estimations du taux de séquestration du carbone à l'échelle du site. En effet, en 15 ans, la variation du stock de carbone organique du sol reste limitée et difficile à quantifier avec précision à cette échelle du fait de la grande variabilité spatiale des sols.

La procédure de sélection de variables n'a pas retenu l'essence comme facteur explicatif. Toutefois, **les sols des essences résineuses (à l'exception du douglas) ont un taux de séquestration du carbone nettement plus élevé que les sols de feuillus (0,49 vs 0,20 tC/ha/an)**. Si cet effet ne ressort pas

de l'analyse statistique, c'est parce qu'il est confondu avec celui de l'âge et également avec l'ancienneté de l'état boisé. Les peuplements résineux sont en moyenne plus jeunes que les peuplements feuillus et le temps depuis lequel les placettes résineuses sont sous forêt est en général plus court. Il est donc difficile de dire s'il y a vraiment un effet de l'essence ou pas. Quoi qu'il en soit ces résultats suggèrent que

**La séquestration du carbone dans le sol diminue avec l'âge du peuplement ; elle est plus élevée dans les peuplements irréguliers que dans les peuplements réguliers**

la gestion forestière pourrait influencer la séquestration du carbone dans le sol en jouant sur l'essence, le type de traitement et le terme d'exploitabilité. L'effet de ces facteurs demanderait néanmoins à être confirmé

sur la base de dispositifs de recherche en conditions contrôlées.

### Quels processus pourraient être impliqués ?

Pour mieux comprendre quels pourraient être les processus responsables de la séquestration du carbone dans le sol, une approche par bilan « entrées-sorties » a été réalisée pour une placette fictive représentative de l'ensemble du réseau. Ce bilan a été effectué pour la partie aérienne (horizons organiques) et pour la partie souterraine (sol minéral) en supposant que les stocks de carbone étaient à l'équilibre lors de la première campagne de prélèvement. Pour l'humus, cette approche a permis d'estimer un taux de séquestration qui correspond bien au taux observé. Elle a en outre montré que la séquestration de carbone dans le sol est vraisemblablement due à une diminution du taux de décomposition suite à une détérioration de la qualité chimique des



Placette Renecofor de l'ONF dans une sapinière de Coudons (11).

litières entre 1995 et 2012 (hausse constatée du rapport carbone/azote). Pour les couches minérales, le taux de séquestration estimé par l'approche de bilan est nettement inférieur aux observations, ce qui laisse à penser que l'état d'équilibre n'était pas atteint lors de la première campagne de mesure et que la production de litière était supérieure à sa décomposition. Cette hypothèse d'un déséquilibre préexistant permet d'expliquer le taux de séquestration observé et s'avère tout à fait compatible avec l'effet négatif de l'âge du peuplement sur le taux de séquestration du carbone dans le sol. **Les sols des peuplements les plus âgés étant plus proches de l'état d'équilibre, ils accumulent moins de carbone.**

### Quel devenir de la capacité de séquestration des sols ?

Au terme de cette étude, une série de questions demeurent. La séquestration du carbone dans les sols forestiers va-t-elle se poursuivre à long terme et au même rythme ? Ou bien ces sols pourraient-ils devenir au contraire une source de carbone ? Quelle est la stabilité du carbone nouvellement accumulé ? Quels sont les processus en jeu ?

#### Bibliographie

- Grüneberg E., Ziche D., Wellbrock N., 2014. *Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany*. *Global Change Biology*, 20, 2644–2662.
- Jonard M., Nicolas M., Coomes D.A., Caignet I., Saenger A., Ponette Q., 2017. *Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon*. *Science of the Total Environment*, 574, 616–628.
- Mao Z., Derrien D., Didion M., Liski J., Eglin T., Nicolas M., Jonard M., Saint-André L., Submitted. *Modeling soil*

Face à toutes ces questions, le réseau Renecofor apporte des connaissances et un support de recherche précieux pour mieux comprendre la dynamique du carbone des sols. Il permet par exemple d'évaluer la capacité de modèles de recherche issus de l'état des connaissances théoriques (modèle Yasso<sup>5</sup>) à prédire l'évolution des stocks de carbone constatée dans les sols (Mao *et al.*, soumis). D'autres études sont en cours afin de déterminer la stabilité du carbone dans les échantillons de sol du réseau grâce à la pyrolyse Rock-eval (Soucémariadin *et al.*, 2018) et au dosage de la glomaline. Par ailleurs, le réseau Renecofor a participé en 2017 à l'expérimentation mondiale Tea bag index (<http://www.teatime4science.org>) dont le principe est d'utiliser des sachets de thé pour évaluer la vitesse de décomposition des matières organiques dans une grande diversité de contextes écologiques. L'enjeu de ces travaux de recherche est de mieux connaître la capacité de séquestration du carbone par les sols forestiers et de pouvoir prévoir son devenir sous l'effet des changements environnementaux. ■

*organic carbon dynamics in temperate forests using Yasso07*. *Biogeochemistry*.

- Nicolas M., Jolivet C., Jonard M., 2014. *L'apport des dispositifs de suivi vis-à-vis des enjeux de fonctionnement et de gestion des écosystèmes forestiers en relation avec les sols*. *Revue Forestière Française*, LXVI, 491-500.
- Soucémariadin L.N., Cécillon L., Guenet B., Chenu C., Baudin F., Nicolas M., Girardin C., Barré P., 2018. *Environmental factors controlling soil organic carbon stability in French forest soils*. *Plant Soil*, 426, 267–286.

<sup>5</sup> Yasso est un modèle de dynamique du carbone du sol développé par l'institut finlandais de l'environnement.

#### Remerciements

Un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué à la mise en place et la maintenance du réseau Renecofor, à la collecte de données et à l'assurance qualité. Renecofor fait partie du programme PIC-Forêts et a toujours été soutenu par des fonds publics français (Office national des Forêts, ministère de l'Agriculture, ministère de l'Écologie, Ademe) et par l'Union européenne de 1991 à 2006. Nous tenons également à remercier le laboratoire d'analyse des sols de l'Inra d'Arras (LAS) et le laboratoire d'analyse et de recherche de l'Aisne (LDAR 02) pour le traitement et l'analyse des échantillons ainsi que pour les discussions fructueuses sur les méthodes d'analyse des sols.

# L'effet de substitution : des économies d'émissions de CO<sub>2</sub> en remplaçant les matériaux et énergies dominants par le bois



8 min

Par Estelle Vial, FCBA\*

\* Institut technologique chargé des secteurs de la forêt, de la cellulose, du bois-construction et de l'ameublement.

*Les études évaluant l'impact de la filière forêt-bois sur le changement climatique mentionnent le stockage du carbone en forêt, le stockage du carbone dans les produits bois et les effets de substitution de ces produits bois. À quoi correspondent exactement ces effets de substitution ? Comment les quantifie-t-on ?*

## Qu'est-ce que l'effet de substitution ?

L'effet de substitution, qu'il concerne un usage énergie ou un usage matériau, correspond à **la différence d'émissions de gaz à effet de serre entre cet usage du bois et la situation « de référence » d'utilisation de combustibles fossiles ou de matériaux concurrents.**

Lorsque l'on souhaite comparer plusieurs scénarios d'évolution de la filière forêt-bois, on obtient pour chacun des scénarios des assortiments différents de produits et de combustibles bois rendant chaque scénario différent en termes de services rendus. Ainsi un scénario peut fournir plus de bois de charpente et moins de bois bûche qu'un deuxième scénario. Afin de rendre les scénarios comparables du point de vue environnemental, on étend les frontières du système étudié aux matériaux et énergies concurrents. On soustrait par exemple à la production additionnelle de charpente en bois du premier scénario la production d'une charpente métallique ayant les mêmes caractéristiques fonctionnelles, les deux scénarios rendant ainsi la même fonction en termes de « surface de toit soutenu ». D'un point de vue économique, on peut aussi considérer qu'une production additionnelle ou au contraire une diminution de la mise à disposition d'un produit ou combustible bois, si elle est significative, engendre des variations de production des produits concurrents.

## L'effet de substitution est-il important pour comparer deux scénarios de gestion forestière ?

De nombreuses études attestent de l'importance d'intégrer l'effet de substitution au bilan de gaz à effet de serre si l'on veut comparer des scénarios de gestion forestière.

À l'échelle d'une parcelle, on peut constater que l'impact de l'effet de substitution est du même ordre de grandeur que la variation du stock en forêt occasionné par la coupe de la parcelle<sup>1</sup>. Ainsi, sur une plantation de douglas ayant une révolution de 40 ans, la récolte engendre une baisse du stock de carbone en forêt, baisse compensée par l'effet cumulé de substitution sur la révolution.

Au niveau national, les résultats de l'étude Inra-IGN<sup>2</sup> montrent qu'à horizon 2050, la différence de séquestration entre les trois scénarios étudiés est compensée par les effets de substitution.

## Comment calculer l'effet de substitution ?

Le calcul de substitution demande de modéliser « une manière alternative de fournir le(s) procédé(s) ou les produit(s) que la fonction non requise remplace »<sup>3</sup>. En pratique, **un bilan des gaz à effet de serre fossiles sur tout le cycle de vie du produit bois est réalisé et comparé au bilan d'un produit équivalent fabriqué à partir d'un autre matériau en utilisant la méthodologie des Analyses de**

<sup>1</sup> GESFOR, 2018

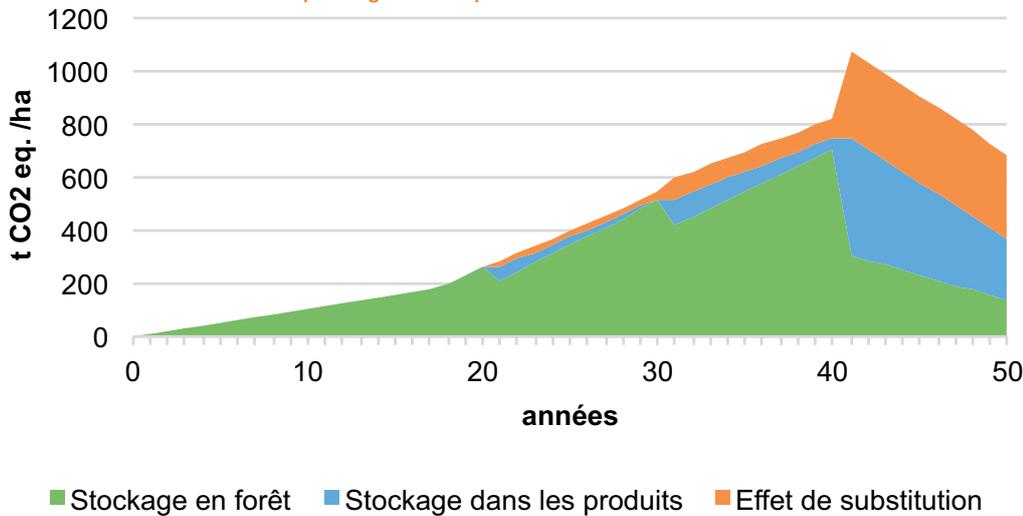
<sup>2</sup> Inra-IGN 2019. *Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ?* Forêt-entreprise n° 245 p. 43-50.



<sup>3</sup> European commission, 2010.

**Figure 1 - Évolution du bilan GES global secteur forêt-bois au niveau d'une parcelle de douglas en considérant une seule révolution de 40 ans (tCO<sub>2</sub>e/ha).**

*L'effet substitution (en utilisant le bois à la place d'autres matériaux) augmente et prolonge le bilan positif du secteur forêt-bois.*



Source GESFOR, 2018.

**cycle de vie (ACV)** (ISO 14040, ISO 14044). Les bilans intègrent non seulement l'impact de la fabrication du produit, par exemple la production d'une fenêtre bois, mais également l'impact de la fabrication du carrelé, de son transport et encore en amont, la fabrication du sciage, l'exploitation forestière et la sylviculture. Pour les produits concurrents comme la fenêtre en PVC ou en aluminium, les bilans tiennent compte de l'extraction du pétrole et de la bauxite. Étant donné que ce type d'analyse est très consommatrice en temps et ressource, on utilise souvent des données déjà calculées pour un ensemble de produits, appelées coefficients de substitution ou encore facteurs de déplacement. Un facteur de déplacement se définit comme « un moyen de mesurer le différentiel d'émissions de gaz à effet de serre fossiles entre un produit/combustible à base de bois et un autre produit fonctionnellement équivalent »<sup>4</sup>. Il se calcule comme suit :

$$\text{Facteur de déplacement} = \frac{\text{GES}_{\text{bois}} - \text{GES}_{\text{non-bois}}}{Q_{\text{bois}} - Q_{\text{non-bois}}}$$

Les termes  $\text{GES}_{\text{non-bois}}$  et  $\text{GES}_{\text{bois}}$  désignent les émissions de gaz à effet de serre fossiles résultant respectivement de l'option favorisant l'utilisation de matériaux concurrents (béton, acier, PVC ou autres) et de celle privilégiant l'usage du bois. Les termes  $Q_{\text{bois}}$  et  $Q_{\text{non-bois}}$  correspondent à la quantité de bois utilisé res-

pectivement dans le produit/système à base de bois et dans le produit/système concurrent. Ces facteurs peuvent s'exprimer avec des unités variées : masse de CO<sub>2</sub> équivalent par masse de produit bois ou masse de carbone par masse de carbone contenu dans le produit bois.

Les coefficients de substitution dans la littérature montrent que le cycle de vie des produits bois génère moins de gaz à effet de serre fossiles que les produits concurrents. Ainsi dans la méta-analyse de Sathre et O'Connor réalisée en 2010, les produits bois permettent d'éviter en moyenne 3,8 tonnes de CO<sub>2</sub> par tonne de bois utilisé, soit 2,1 t d'équivalent carbone par tonne de carbone contenue dans les produits bois (Sathre, 2010).

<sup>4</sup> Ruter *et al.*, 2016.

### À retenir

Utiliser du bois en substitution d'autres matériaux (béton, acier, PVC, autres) est bénéfique au regard de l'analyse de cycle de vie ! La prise en compte des effets de substitution lorsqu'on compare les bilans de gaz à effet de serre de deux scénarios de gestion sylvicole est essentiel. Les coefficients de substitution, délicats à calculer, sont ensuite directement utilisables dans les calculs de bilan carbone forestier.

Une étude de 2016, *Climwood2030*, réalisée au niveau européen, montre que « l'utilisation matériau des produits bois entraîne une baisse des émissions de GES fossiles sur l'ensemble du cycle de vie par comparaison à des produits alternatifs fonctionnellement équivalents de l'ordre de 1,5 à 3,5 t CO<sub>2</sub> par tonne de produits bois » soit entre 1 et 2,5 tonnes d'équivalent carbone

par tonne de carbone contenue dans les produits bois. Il s'agit là de **valeurs moyennes européennes**. Ces facteurs peuvent varier en fonction

des scénarios considérés : parts de marché des différents matériaux auxquels le bois peut se substituer, mix énergétique utilisé pour la fabrication des produits bois et des produits concurrents et scénarios de fin de vie des produits. Par exemple, le facteur de déplacement de la cogénération à base de bois en France est moins élevé que dans les pays voisins en raison d'un mix énergétique national peu carboné (forte proportion d'énergie nucléaire). Enfin, l'utilisation de coefficients de substitu-

tion nécessite la connaissance du devenir des bois récoltés, à savoir le pourcentage de bois d'œuvre et de bois d'industrie, le devenir des connexes de scierie, le devenir des sciages, etc. Ces données sont disponibles au niveau national et de manière globale dans les études Inra-IGN (2017) ou BICAFF (2017) ou de manière plus détaillée dans l'étude Inra-Gesfor

pour le chêne et le douglas<sup>5</sup>. Un modèle intégrant la description de la filière aval et ses impacts carbone est disponible pour ces deux essences dans l'outil CAT de comptabilisation carbone de la filière aval (développement et description de l'outil CAT<sup>6</sup>).

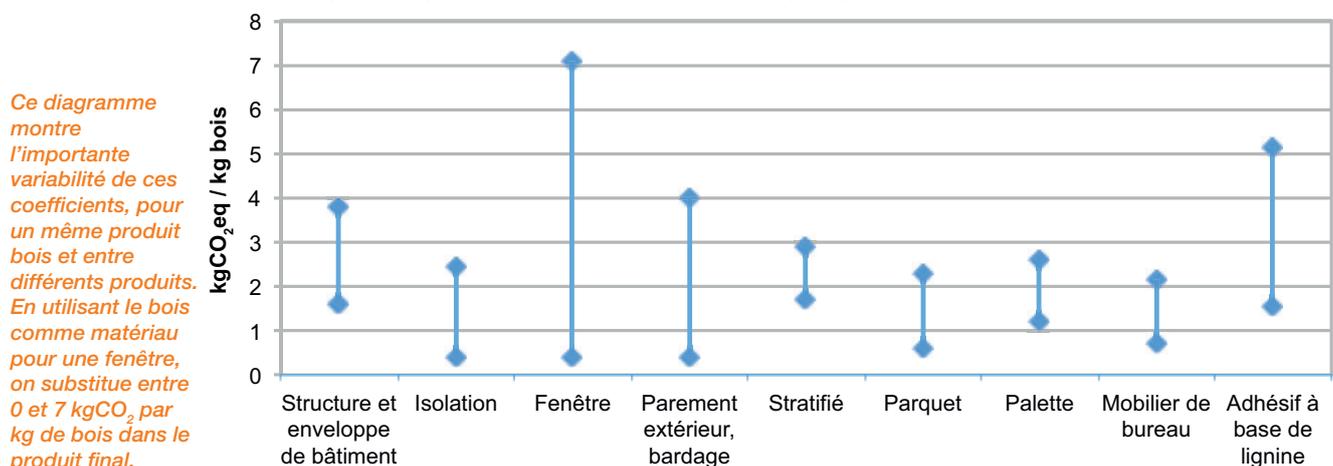
Ces calculs de coefficients sont donc délicats, car ils présentent des enjeux de concurrence entre la filière forêt-bois et des secteurs économiques dominants sur le marché. Une fois établis, leur emploi s'avère relativement simple. Et s'ils sont construits avec rigueur, ils permettent de mettre en lumière une part importante des atouts de la filière pour la lutte contre le changement climatique. ■

### D'importantes incertitudes demeurent sur les calculs des coefficients de substitution.

<sup>5</sup> GESFOR, 2018.

<sup>6</sup> Pichancourt *et al.*, 2018.

Figure 2 - Gamme de coefficients de substitution en kgCO<sub>2</sub> évité par kg de bois utilisé pour la production et la fin de vie de quelques produits bois



Ce diagramme montre l'importante variabilité de ces coefficients, pour un même produit bois et entre différents produits. En utilisant le bois comme matériau pour une fenêtre, on substitue entre 0 et 7 kgCO<sub>2</sub> par kg de bois dans le produit final.

#### Bibliographie

■ Vial E., Cornillier C., Fortin M., Martel S., 2018. *Gesfor - Bilan environnemental des systèmes forestiers vis-à-vis du changement climatique : pour une optimisation des pratiques sylvicoles et des politiques territoriales - Rapport*. 102 p. Ademe - FCBA.

■ European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, 2010. *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - general guidance document for life cycle assessment - detailed guidance*. First edition

■ Pichancourt J.-B., Manso R., Ningre F., Fortin M., 2018. *A carbon accounting tool for complex and uncertain greenhouse gas emission life cycles*. *Environmental Modelling and Software* 107. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.06.005>

■ Rüter S., Werner F., Forsell N., Prins C., Vial E., and Levé A.-L., 2016. *"ClimWood2030, Climate Benefits of Material Substitution by Forest Biomass and Harvested Wood Products: Perspective 2030"*. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.

■ Sathre R., and O'Connor J., 2010. *"Meta-Analysis of Greenhouse Gas Displacement Factors of Wood Product Substitution"*. *Environmental Science & Policy* 13 (2): 104-114.

■ Valade A., Luyssaert S., Bellassen V., Vallet P., Njakou Djomo S., 2017. *BICAFF - Bilan carbone de la ressource forestière française. Projections du puits de carbone de la filière forêt-bois française et incertitude sur ses déterminants*. Rapport final. Mars 2017, Paris. Ademe/1260C0056.

# Climafor<sup>®</sup>, le nouvel outil de quantification du carbone du CNPF

Par Olivier Gleizes, CNPF-CRPF Occitanie et Simon Martel, CNPF-IDF

*Développé à partir des dernières connaissances scientifiques sur la séquestration de carbone par la forêt, l'outil Climafor<sup>®</sup> compare le bilan carbone de différentes modalités de gestion à l'échelle de la parcelle forestière. Cet outil évolutif, qui se veut simple et fonctionnel, est adapté pour une utilisation en ligne.*

## Une application web

La réalisation de projets carbone passe par une étape cruciale, celle de la quantification du CO<sub>2</sub> séquestré au cours du temps par deux itinéraires : un scénario de référence ou *baseline* (observé en l'absence de financement) et un scénario « carbone + » (mis en œuvre grâce au financement carbone). Un outil s'avère donc nécessaire pour estimer le gain en séquestration de CO<sub>2</sub> permis par le projet carbone grâce à une quantification précise.

Climafor<sup>®</sup>, initialement conçu sous forme d'un tableur, devient une application informatique en ligne *via* un accès réservé. L'utilisateur renseigne les essences des scénarios de gestion à comparer. L'outil lui propose de saisir des données de croissance ou d'utiliser des données pré-renseignées sous forme de tables de production pour chaque essence. L'outil « déroule » ensuite la table retenue, convertit les volumes de la table en métriques carbone (tC/ha ou tCO<sub>2</sub>/ha), compare les deux itinéraires entre eux et indique à l'utilisateur le gain en séquestration du CO<sub>2</sub> sur une période de temps choisie.

De même, l'outil peut calculer le carbone contenu dans le compartiment des produits bois récoltés et appliquer des coefficients de substitution au bois mobilisé en plus par rapport au scénario de référence.

Les résultats sont visibles sous forme de graphique ou de tableau exportables.

Climafor<sup>®</sup> est un outil évolutif, qui pourra être amélioré au gré des avancées scientifiques (nouvelles tables de production, nouvelles fonctionnalités...), grâce aux travaux du service national du développement numérique et de l'informatique du CNPF qui en assure le codage, le développement et la maintenance.



## Le recours aux tables de production pour une quantification carbone précise

Les deux itinéraires à comparer doivent faire l'objet d'une quantification la plus précise possible sur une durée donnée. L'évaluation de la croissance forestière est capitale et il convient d'avoir recours à des tables de production à chaque fois que cela est possible. C'est pourquoi Climafor<sup>®</sup> intègre une base de données contenant de nombreuses tables de production.

Selon la définition donnée par Bastien et Gauberville<sup>1</sup> (2011), une table de production est un tableau de données chiffrées décrivant la croissance des peuplements forestiers réguliers d'une essence donnée, dans une région donnée, présentée par classe de productivité. Elles sont établies en faisant l'hypothèse de conditions environnementales constantes.

Les auteurs de l'outil Climafor<sup>®</sup> ont fait le choix d'un outil facile d'utilisation avec des données par défaut déjà insérées grâce à un important effort de compilation de tables de production publiques issues de guides de sylviculture et de publications dans la littérature scientifique. L'objectif était de collecter plus de 100 tables de production pour une trentaine d'essences couramment rencontrées en forêt française ! Concrètement, il s'agit de tableaux indiquant

<sup>1</sup> Bastien Y., Gauberville C., 2011. *Vocabulaire forestier : écologie, gestion et conservation des espaces boisés*. AgroParisTech, CNPF-IDF, ONF, 602 p.

Figure 1 - Table de production pour le mélèze d'Europe

Hdom = hauteur dominante (m), N = densité (nombre de tiges), G = surface terrière (m<sup>2</sup>/ha), Cmo = circonférence moyenne (cm), V = Volume (m<sup>3</sup>/ha), TYP = type de l'éclaircie (rapport entre la circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne prélevé lors de l'éclaircie et la circonférence moyenne avant l'éclaircie), PDS = poids de l'éclaircie (rapport entre le nombre de tiges à l'hectare prélevées en éclaircie et le nombre de tiges avant l'éclaircie), ACV = accroissement annuel courant en volume par hectare (m<sup>3</sup>/ha/an), ACM = accroissement annuel moyen en volume par hectare (m<sup>3</sup>/ha/an), PTV = production totale en volume (m<sup>3</sup>/ha), TIR : taux interne de rentabilité.

Mélèze d'Europe planté à 2,5 m x 3 m (H 50 = 28 m). Le TIR est de 2,8 %.

Âge	HDOM	Avant éclaircie				Éclaircie				Après éclaircie				Accroissement			H/D	Âge		
		N	G	CMOY	V	TYP	PDS	N	G	CMOY	V	N	G	CMOY	V	ACV			AMV	PTV
18	14,9	1196	16,6	42	112	0,81	0,29	347	3,3	35	20	849	13,3	44	92	6,2 112			111	18
21	16,9	849	18,7	53	146	0,79	0,29	246	3,6	43	26	603	15,1	56	120	18	7,9	166	100	21
24	18,6	603	19,5	64	168	0,78	0,29	175	3,6	51	29	428	15,9	68	139	16	8,9	214	91	24
30	21,4	428	22,9	82	224	0,9	0,29	124	5,5	74	53	304	17,4	85	171	14,2	10	299	82	30
36	23,8	304	23,2	98	248	0,93	0,29	88	5,8	91	62	216	17,4	101	186	12,8	10,4	376	76	36
42	25,8	216	22,4	114	255	0,95	0,29	63	5,9	108	67	153	16,5	116	188	11,5	10,6	445	71	42
48	27,5	153	21,1	132	252	0,94	0,29	44	5,4	124	65	109	15,6	134	187	10,7	10,6	509	65	48
60	30,4	109	23,7	165	304	1								9,8	10,4	626	58	60		

diverses données dendrométriques telles que les diamètres (D), les hauteurs (H), les surfaces terrières (G), les volumes (V) et d'autres variables comme les densités (N) ; toutes ces variables variant avec l'âge du peuplement.

La figure 1 est une extraction de la table de production du mélèze d'Europe publiée dans le livre de sylviculture *Le mélèze* (IDF, 2001). Pour la quantification du carbone, deux variables sont importantes : les volumes et les âges, car ces deux données vont permettre de simuler la croissance d'un peuplement dans le temps et donc de déterminer une séquestration en CO<sub>2</sub> moyenne sur une période donnée.

### Un outil aux perspectives prometteuses

Cette application présente un intérêt majeur pour la quantification du CO<sub>2</sub> dans les projets carbone : elle correspond à un compromis entre une simplicité d'utilisation d'une part (les

porteurs de projets forestiers n'étant pas des modélisateurs) et la rigueur technique et scientifique nécessaires à la quantification dans le cadre de projets certifiés d'autre part. Par ailleurs, l'outil est susceptible d'intéresser les collectivités territoriales, car il pourrait constituer une réponse au plan d'actions des PCAET (Plan climat-air-énergie territorial) en apportant des informations sur les gains ou les pertes en CO<sub>2</sub> de différentes sylvicultures à l'échelle de la parcelle forestière.

Climafor® sera utilisé dans un premier temps pour les besoins propres du CNPF. Son déploiement sera réfléchi, à travers des formations, auprès de gestionnaires, de collectivités ou d'autres utilisateurs potentiellement intéressés. ■

**Remerciements** au Service national du développement numérique et de l'informatique et à Arnaud Seité tout particulièrement.

## À retenir

Le CNPF a développé un outil de quantification du carbone séquestré par les forêts qui s'appuie sur un nombre important de tables de production publiées. Cet outil, nommé Climafor®, réalise des estimations du CO<sub>2</sub> séquestré par les forêts dans les projets carbone.

Mots-clés : Climafor®, table de production, quantification, carbone, outil

# Les enjeux forestiers au cœur des plans climat des collectivités

En savoir<sup>+</sup>

Par Simon Martel, CNPF-IDF et Olivier Gleizes, CNPF-CRPF Occitanie

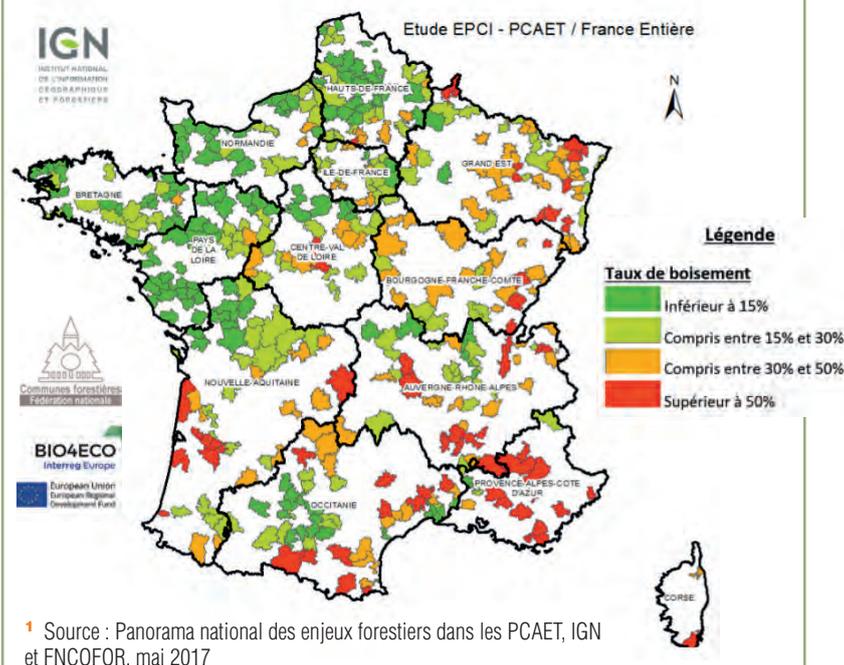
[www.cnpf.fr/n/diagnostic-carbone-territorial/n:2492](http://www.cnpf.fr/n/diagnostic-carbone-territorial/n:2492)

## Qu'est-ce qu'un PCAET ?

Le Plan Climat-Air-Énergie Territorial, qui remplace son prédécesseur le PCET, est un outil territorial qui a pour but d'atténuer le changement climatique, de développer les énergies renouvelables et de maîtriser la consommation d'énergie. Il traite également des problématiques de qualité de l'air et d'adaptation au changement climatique. Suite à la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte de 2015, tous les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) de plus de 20 000 habitants doivent élaborer et mettre en œuvre un PCAET. Cette démarche participative est co-construite entre les décideurs, l'ensemble des services des collectivités territoriales et tous les acteurs du territoire (collectivités, acteurs socio-économiques, associations, entreprises, universités, habitants...).

Le PCAET peut être de nature assez différente en fonction de l'engagement des collectivités concernées, mais son contenu est fixé par la loi : il doit contenir un diagnostic, une stratégie territoriale, un plan d'actions et un dispositif de suivi et d'évaluation des mesures initiées.

Figure 1 - Carte des EPCI dont la population est comprise entre 20 000 et 50 000 habitants, classés par taux de boisement<sup>1</sup> (carte éditée en avril 2017).



Le décret du 28 juin 2016 rend obligatoire la mise en œuvre des PCAET pour les EPCI de plus de 20 000 habitants et introduit l'obligation de la prise en compte de la séquestration de carbone : ce qui donne plus d'importance à l'intégration du secteur forêt-bois dans les PCAET. Ainsi, l'article 229-51 précise que le diagnostic doit comprendre « une estimation de la séquestration nette de dioxyde de carbone et de ses possibilités de développement, identifiant au moins les sols agricoles et la forêt, en tenant compte des changements d'affectation des terres ; les potentiels de production et d'utilisation additionnelles de biomasse à usages autres qu'alimentaires sont également estimés, afin que puissent être valorisés les bénéfices potentiels en termes d'émissions de gaz à effet de serre, ceci en tenant compte des effets de séquestration et de substitution à des produits dont le cycle de vie est davantage émetteur de

tels gaz ». Pour les collectivités de 20 000 à 50 000 habitants, la date limite de réalisation des PCAET fixée par la loi était le 31 décembre 2018. À ce jour, il n'existe pas d'état d'avancement national, mais il semble que la grande majorité des démarches PCAET soient toujours en cours de réalisation et que peu les aient fait approuver.

## Un diagnostic pour évaluer le rôle d'atténuation des forêts locales

Parmi les secteurs couverts par les PCAET, le secteur forêt-bois a l'effet de séquestration potentiel le plus important, pour permettre aux territoires de réduire leur impact climatique. Dans certains territoires où les surfaces forestières sont importantes (figure 1), le rôle joué par la forêt est conséquent. Dans d'autres, c'est une occasion pour connecter espaces urbains et ruraux autour d'une problématique commune de lutte contre

Tableau 1 - Stocks et flux de carbone par domaine biogéographique.

Attention, les flux sont exprimés en émissions nettes : une valeur négative indique donc une séquestration.

Domaine biogéographique	Surface (millier d'ha)	Stocks de carbone (MtC)	Flux de CO <sub>2</sub> (MtCO <sub>2</sub> /an)	Flux de CO <sub>2</sub> par hectare (tCO <sub>2</sub> /ha/an)
Domaine atlantique	8 728	687,9	- 35,4	- 4,06
Domaine continental	3 230	311,1	- 14,6	- 4,54
Domaine des hautes montagnes	1 956	147,2	- 7,4	- 3,81
Domaine méditerranéen	1 760	80	- 5	- 2,84
France	15 674	1 226,3	- 62,5	- 3,99

Source : IGN

l'effet de serre : les forestiers, par leur gestion séquestrent une partie du carbone majoritairement émis par les pôles urbains.

### Quelles données pour l'état des lieux ?

L'Ademe, pour accompagner les territoires, a publié en 2016 un guide PCAET proposant un cadre méthodologique développé par le MTES<sup>1</sup>. Ce guide donne des coefficients nationaux sur la séquestration forestière directe, la séquestration liée au changement d'usage des sols, le stockage dans les produits bois et concernant les effets de substitution.

L'outil ALDO<sup>2</sup>, mis au point par l'Ademe, actualise cette méthodologie *a minima* qui consiste donc à appliquer des valeurs génériques aux surfaces des forêts territoriales. ALDO est un tableur qui permet d'estimer (concernant la forêt) :

- l'état des stocks de carbone organique des sols, de la biomasse et des produits bois en fonction de l'aménagement de son territoire (occupation du sol) ;

- la dynamique actuelle de stockage ou de déstockage (c'est-à-dire, le flux de CO<sub>2</sub> ou séquestration nette CO<sub>2</sub>) liée aux changements d'affectation des sols, aux forêts et aux produits bois en tenant compte du niveau actuel des prélèvements de biomasse en forêt ;

Les chiffres fournis dans ALDO pour la biomasse forestière proviennent d'une étude de l'IGN<sup>3</sup>. Ils sont ventilés par GRECO<sup>4</sup> et par composition (feuillus, mixtes, conifères et peupleraies), mais le tableau 1 donne déjà un aperçu des valeurs (actualisées par rapport au guide PCAET de l'Ademe) et de leur diversité selon les domaines biogéographiques.

Ces moyennes, à des échelles supra-régionales et qui agrègent entre elles différentes essences et pratiques de gestion, peuvent évidemment être fausses localement ou masquer des dynamiques beaucoup plus contrastées à une échelle plus fine. Il est prévu en 2019 une amélioration de la précision des données « biomasse forestière » dans l'outil ALDO avec des coefficients déclinés par SER<sup>5</sup> et par essence principale. Compte tenu du maillage des inventaires IFN (à visée régionale) et des surfaces des EPCI, un inventaire complémentaire spécifique au territoire sera souvent nécessaire pour fournir des données plus précises sur le bilan carbone local.

### L'enjeu des plans d'action

Une fois un état des lieux posé, l'intérêt principal du PCAET est de **mettre les élus et acteurs locaux autour de la table pour faire émerger des actions d'adaptation et de lutte contre le changement climatique**. La forêt a alors un rôle de taille à jouer dans cette transition écologique, à travers son effet de puits de carbone et ses effets de stockage dans les produits bois et des substitutions. Des liens évidents existent avec les politiques locales de développement forestier, telles que les chartes forestières de territoire. L'outil Climafor<sup>®</sup> développé par le CNPF<sup>6</sup> permet de faire émerger des stratégies de gestion locale « bas carbone ». Enfin, les plans d'action sont autant d'opportunités à saisir pour mettre les enjeux actuels de gestion forestière au cœur du débat public et faire le lien entre adaptation des forêts au changement climatique et atténuation de ce même changement climatique : les forestiers ne doivent donc pas hésiter à participer aux ateliers PCAET et être force de propositions pour les actions à mener en forêt. ■

<sup>1</sup> Ministère de la Transition écologique et solidaire.

<sup>2</sup> Outil composé d'un tableur et d'une notice, accessible gratuitement sur le web : <https://www.territoires-climat.ademe.fr/ressource/211-76>

<sup>3</sup> Colin A., 2018. Contribution de l'IGN à l'établissement des bilans carbone des forêts des EPCI concernés par un PCAET - volet dendrométrique. Rapport d'étude pour l'ADEME.

<sup>4</sup> Grandes régions écologiques définies par l'IGN pour la France métropolitaine, au nombre de 12.

<sup>5</sup> Sylvoécocorégions définies par l'IGN pour la France métropolitaine, au nombre de 91

<sup>6</sup> Gleizes O., Martel S., 2019. Climafor<sup>®</sup>, le nouvel outil de quantification du carbone du CNPF Forêt-entreprise n° 245 p. 75.



## À retenir

Les collectivités territoriales de plus de 20 000 habitants doivent désormais tenir compte du rôle de la forêt et du bois au sein de leur Plan climat-air-énergie territorial (PCAET). Des outils existent pour réaliser l'estimation du rôle de la filière forêt-bois locale. Les plans d'action des PCAET sont une opportunité pour faire émerger des scénarios de gestion favorable au bilan carbone

Mots-clés : plan climat, collectivité, carbone, EPCI, PCAET.

Remerciements à Miriam Buitrago (Ademe), Antoine Colin (IGN) et Éric Hincelin (CRPF Normandie) pour leur relecture et leurs conseils avisés.

# Compenser c'est bien, mais il faut réduire !



Par Olivier Gleizes, CNPF-CRPF Occitanie et Simon Martel, CNPF-IDF

La fin d'année 2018 a été riche en événements relatifs au climat et au carbone. Le GIEC<sup>1</sup> publiait en octobre un rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire à + 1,5°C. En novembre l'augmentation de la « taxe carbone », prévue par la loi fut finalement annulée suite à la mobilisation du mouvement des « gilets jaunes ». Fin novembre, le Gouvernement publiait un décret et un arrêté créant le label Bas-Carbone. Tandis que les négociations de la COP 24 à Katowice (Pologne) décevaient les attentes.

## Un préambule incontestable

En optimisant la capture du CO<sub>2</sub> atmosphérique – gaz contribuant à réchauffer le climat – dans les forêts, on participe à atténuer le changement climatique. Syllogisme d'une banalité confondante ? Pas si sûr...

Quelque mensonger que puisse paraître le changement climatique aux esprits captieux des climatosceptiques, il convient de rétablir quelques éléments scientifiques que nul contempteur ne saurait récuser.

En premier lieu, le dioxyde de carbone est le principal gaz contribuant au réchauffement climatique (à hauteur de 70 %), bien qu'il ne soit pas le seul gaz à effet de serre (méthane, protoxyde d'azote...).

La concentration atmosphérique du CO<sub>2</sub> est passée de 287 ppm en 1870 à 410 ppm en 2019 (soit + 48 % en 150 ans) ; le GIEC a démontré que cette augmentation est fortement corrélée à l'activité humaine (industrialisation, mondialisation...).

## Chaque demi-degré compte...

Actuellement, les modélisations montrent que nous sommes sur une trajectoire de + 4 à + 5 °C (RCP 8.5<sup>2</sup>) d'ici à la fin du siècle, conduisant à un réchauffement qui aura de lourdes conséquences pour les humains, la nature et les forêts.

Au rythme actuel, l'augmentation de + 1,5 °C serait atteinte entre 2030 et 2052. Dans son rapport spécial<sup>3</sup>, le GIEC montre que limiter l'augmentation à 1,5 °C plutôt que 2 °C aurait des conséquences visibles dans notre quotidien : des événements extrêmes moins intensifiés (moins de vagues de chaleur, de pluies torrentielles et de grandes sécheresses), une différence de 10 cm de montée du niveau moyen des mers, 10 millions de personnes en

moins exposées aux risques liés à la montée du niveau des mers, moins de pertes de biodiversité et de dégradation d'écosystèmes, des chutes de rendement moins importantes pour les grandes cultures, donc un risque d'insécurité alimentaire moins élevé et une diminution de moitié de la fraction de la population mondiale exposée au risque de pénurie d'eau. Et ce, avec un différentiel de seulement 0,5 °C ! Le GIEC nous indique que pour contenir le réchauffement global à + 1,5 °C d'ici à la fin du siècle, les émissions de CO<sub>2</sub> devront diminuer de 45 % en 2030 par rapport à 2010 ! Pour limiter l'augmentation à + 2 °C, il faudrait diminuer les émissions de 20 % sur la période 2010-2030. En prenons-nous le chemin en France ? Pas vraiment si l'on se réfère à l'année 2017 qui a vu les émissions françaises de CO<sub>2</sub> repartir à la hausse de 3,2 % par rapport à 2016 ; elles augmentent depuis 2015 alors qu'elles étaient en diminution jusqu'alors.

**Le rapport spécial du GIEC de 2018 montre que chaque demi-degré compte !**

## La forêt pour nous sauver ?

La sortie du label Bas-Carbone est une grande première en France. Ce référentiel étatique permettra de certifier des actions en forêt en faveur du climat ; il faut néanmoins raison garder sur sa portée.

Le carbone forestier est très en vogue ; dès lors il convient de ne pas être crédule. Certaines initiatives, n'ayant souvent aucune compétence forestière avérée, ne lésinent pas à avancer sans ambages des propos erronés en enrobant de « carbone » toute opération forestière, avec des calculs à faire pâlir tout sylviculteur averti. Non au *greenwashing*<sup>4</sup> ! Disons-le sentencieusement : toute opération menée en forêt n'est pas forcément vertueuse

<sup>1</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

<sup>2</sup> Les RCP (*representative concentration pathway*) désignent les scénarios de modélisation des climats futurs. Le RCP 8.5 est le scénario climatique le plus pessimiste.

<sup>3</sup> IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, 562 p.

<sup>4</sup> Procédé marketing ou de relations publiques utilisé par une organisation pour se donner une image écologique responsable.



pour la capture de CO<sub>2</sub>; les méthodes du label Bas-Carbone vont apporter un cadre sur l'éligibilité des opérations forestières et sur les méthodes de calcul. Le CNPF aura été pionnier dans cette grande avancée vers l'intégrité et la cohérence des méthodes.

La forêt seule ne suffira pas à atteindre un avenir décarboné; elle fera partie incontestablement de l'équation, mais n'en sera pas l'unique solution. Chaque année, les forêts absorbent environ 15 % du CO<sub>2</sub> atmosphérique, la filière forêt-bois contribue à hauteur de 20 à 25 % (séquestration, stockage produits bois et effets de substitution). Certes, nous pouvons mieux faire **en optimisant ce rôle de la filière forêt-bois par l'utilisation du bois en cascade**. Cependant, nous n'atteindrons pas des chiffres mirobolants, d'autant qu'il faut reconnaître que le contexte est actuellement

**La forêt seule ne suffira pas à atteindre un avenir décarboné.**

plutôt favorable pour la séquestration du CO<sub>2</sub>; ces dernières années, la surface forestière française s'est accrue (+ 87 000 ha/an sur la période 1980-2010, source IGN) et le volume à l'hectare augmente, car nous n'exploitons que 50 % de l'accroissement (source IGN).

Les États s'étaient mis d'accord à la COP 21 à Paris pour limiter l'augmentation de la température à + 2 °C à la fin du siècle.

Pour ce faire, la priorité doit donc être donnée essentiellement et immédiatement à la réduction massive de nos émissions et de nos consommations d'énergies, à l'isolation du bâti « ancien », au développement des déplacements doux (bien loin de l'explosion du trafic aérien et de son corollaire, le *low cost*), à une économie décarbonée, à **une utilisation fortement accrue du bois des forêts françaises dans la construction...** ■

*Le problème de l'effet de serre me fait penser à une fuite dans un bateau. Favoriser les puits de carbone revient à pomper l'eau : c'est utile, mais il faut en même temps colmater la brèche, c'est-à-dire dans notre cas, réduire nos émissions de CO<sub>2</sub>.*

Philippe Ciais, chercheur au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement et membre du GIEC.



Retrouvez toutes les informations dans la rubrique Forêt et Carbone sur le site CNPF : <https://www.cnpf.fr/carbone>

Toute l'actualité du CNPF sur la thématique Forêt et carbone



**CENTRE NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE**



Mon compte  
Partager cette page



ACCUEIL   ACTUALITÉS   LE CNPF   L'IDF ET LA R&D   LES CRPF EN RÉGIONS   EUROPE & INTERNATIONAL   PHOTOFOR   ACCÈS RÉSERVÉ

Vous êtes ici : L'IDF et la R&D > Forêt et Carbone

## FORÊT ET CARBONE

### LA THÉMATIQUE FORÊT ET CARBONE AU CNPF

Le CNPF travaille sur le carbone depuis les années 2000



[Lire la suite](#)

### NOS ÉVÈNEMENTS CARBONE

Les séminaires du CNPF sur le carbone



[Lire la suite](#)

### PROJETS CARBONE



[Forêt et carbone au CNPF](#)

### NOS PARTENARIATS CARBONE

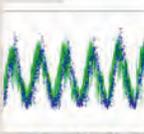
Le CNPF accompagne les entreprises pour mettre en œuvre des projets de compensation carbone en forêt privée.



[Lire la suite](#)

### LA R&D CARBONE AU CNPF

Les projets de Recherche-Développement-Innovation sur le carbone et la forêt auxquels participe le CNPF



[Lire la suite](#)

### STAGE - LES PROJETS CARBONE EN PRATIQUE



- Comment réduire son empreinte carbone avec des projets forestiers ?
- Quels intérêts pour l'entreprise ou la collectivité qui finance ?
- Comment les propriétaires forestiers peuvent-ils en bénéficier ?

[S'inscrire à cette formation](#)

### DIAGNOSTIC CARBONE TERRITORIAL

Quantifier le carbone des forêts pour les PCAET des collectivités



[Lire la suite](#)

### NOS PUBLICATIONS

Livre, plaquettes, et dossiers de Forêt-entreprise sur le carbone en forêt



[Lire la suite](#)

### REVUE DE PRESSE

Forêt et carbone : on parle du CNPF !



[Lire la suite](#)

### CONTACTS

L'équipe coordinatrice de la thématique carbone au CNPF



[Lire la suite](#)

25 et 26 septembre animée par Simon Martel et Olivier Gleizes

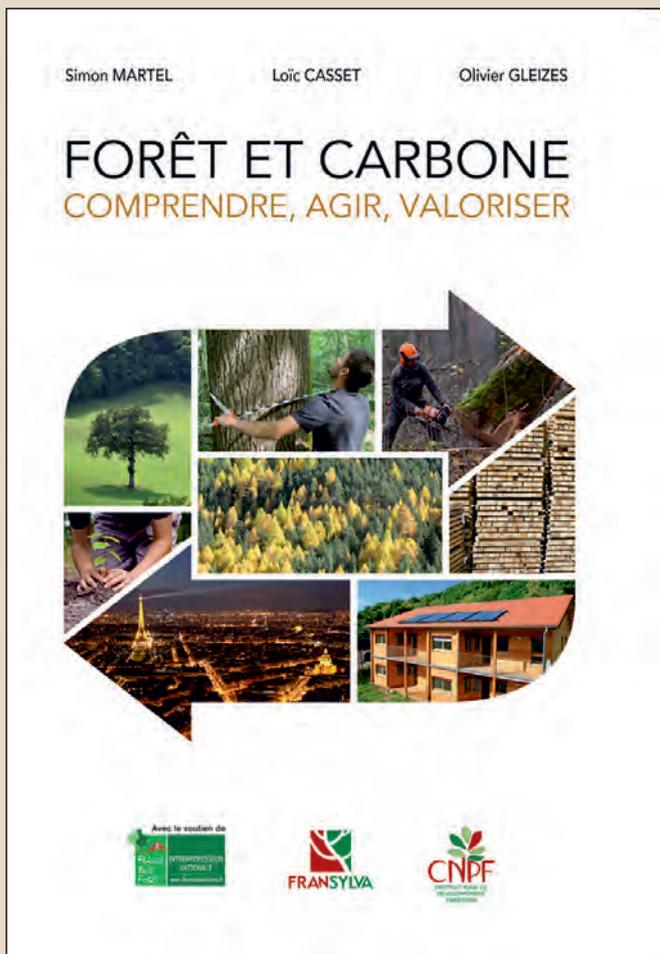
# FORÊT ET CARBONE

## COMPRENDRE, AGIR, VALORISER

Simon MARTEL

Loïc CASSET

Olivier GLEIZES



Cet ouvrage fournit une synthèse actualisée des connaissances et des outils nécessaires à la réalisation de projets carbone en forêt. La forêt séquestre chaque année une partie des émissions anthropiques de gaz à effet de serre (environ 15 % en France) et atténue ainsi les effets du changement climatique. En outre, les produits bois transformés stockent le carbone tout au long de leur vie. Utilisé dans la construction, le bois se substitue à des matériaux énergivores (aluminium, acier, béton, PVC); et utilisé comme combustible, il pallie l'épuisement des ressources non renouvelables (pétrole, gaz, charbon...). C'est ce qu'on appelle les 3 S : séquestrer, stocker, substituer. Ce livre permet de comprendre et d'optimiser ce triptyque vertueux en forêt.

Il fournit également les outils nécessaires pour réaliser des projets d'atténuation du changement climatique en forêt. Qu'est-ce qu'un itinéraire sylvicole « carbone + » ? Quels types de travaux forestiers ? Pourquoi regrouper les propriétés ? Quelles modalités de financement pour les entreprises ou les collectivités ? Quels intérêts pour les forestiers et les financeurs ? Le forestier trouvera dans cet ouvrage synthétique tout ce qu'il faut savoir sur le sujet.

160 pages, format 16 x 24 cm - Éditions CNPF-IDF

En vente auprès de la librairie :  
CNPF - Institut pour le développement forestier,  
47 rue de Chaillot, 75116 Paris, Tél. : 01 47 20 68 39,  
courriel : idf-librairie@cnpf.fr

sur [www.foretpriveefrancaise.com/publications](http://www.foretpriveefrancaise.com/publications)

**Promotion : 9 €**  
(au lieu de 19 €)

+ Frais d'envoi 1 ou 2 ex. : 7,50 €  
3 à 9 ex. : 9,50 €

**Version numérique offerte pour tout achat de l'ouvrage *Forêt et carbone* sur l'application « Librairie des forestiers »**

Ou à partir d'un ordinateur : <http://www.bit.ly/1Q95gxU>

(Merci d'indiquer votre courriel afin de recevoir votre code d'accès pour accéder au kiosque forestier)



n° 168 - 4 €



n° 181 - 4 €



n° 230 - 4 €

ISBN - 978-2-916525-49-5



9 782916 525495