

LA FORÊT FRANÇAISE : UN PUITTS DE CARBONE ? SON RÔLE DANS LA LIMITATION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

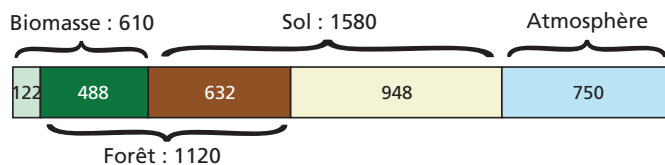
Le carbone est au cœur des discussions internationales sur l'effet de serre et le changement climatique. Dans ce cadre, la forêt assure un rôle primordial en captant les composés atmosphériques contenant du carbone ou en libérant du dioxyde de carbone par respiration, décomposition et par combustion. Cela fait d'elle le principal réservoir terrestre de carbone susceptible, selon le cas, de se comporter en puits¹ ou en source. L'IFN s'est investi dans deux études d'envergure pour établir des bilans du carbone forestier : le projet national Carbofor et l'étude régionale du secteur forêt et bois d'Aquitaine. Les données de l'Inventaire, complétées par d'autres sources, permettent d'estimer les stocks présents dans la biomasse et dans les sols forestiers ainsi que les flux. Cette évaluation nationale est nécessaire, notamment pour répondre aux engagements internationaux résultants du protocole de Kyoto : réduire nos émissions de carbone et autres gaz à effet de serre pour limiter le réchauffement planétaire et les conséquences qui en découlent.

La forêt : réservoir terrestre de carbone

Le carbone, présent dans l'atmosphère sous la forme gazeuse de dioxyde de carbone (CO₂), participe au réchauffement climatique. Lors de la photosynthèse, les plantes libèrent l'oxygène (O₂) dans l'atmosphère et fixent le carbone (C) pour assurer leur croissance. Il est alors séquestré pendant des durées très variables dans la biomasse puis dans les sols, avant de retourner dans l'atmosphère.

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), en 1996 les océans stockaient 93 % du carbone de la planète, soit environ 39 200 milliards de tonnes de carbone (GtC), principalement sous une forme inorganique dissoute.

Les 7 % restants se répartissent entre la biomasse terrestre, les sols et l'atmosphère. La végétation et les animaux terrestres constituent un stock de 610 GtC. Les sols², avec 1 580 GtC, contiennent deux fois plus de carbone que l'atmosphère. Avec 750 GtC, elle représente moins de 2 % du carbone de la planète (fig. 1). L'augmentation de cette fraction est responsable du réchauffement climatique. Les forêts stockent plus de la moitié du carbone des terres émergées (1 120 GtC). Elles jouent donc un rôle déterminant dans la régulation du niveau du CO₂ atmosphérique.



■ Biomasse terrestre hors forêt ■ Sols forestiers ■ Atmosphère
■ Biomasse forestière ■ Sols non forestiers

source : Giec, 2001

Fig. 1 : Stock de carbone mondial (hors océan), en GtC.

¹ puits de carbone : tout processus ou mécanisme qui absorbe un gaz à effet de serre, tels le CO₂ et le CH₄, [...] présent dans l'atmosphère (d'après *Utilisation des terres, changements d'affectation et foresterie*, Giec, 2000).

² fraction organique, hors roches calcaires.

Sommaire

La forêt : réservoir terrestre de carbone	1
Une quantité importante de carbone dans la biomasse et les sols des forêts de France métropolitaine	2
Les forêts, puits de carbone potentiel au regard du protocole de Kyoto	5
L'IFN participe activement à l'évaluation du carbone	6
Les atouts de la forêt et du bois	8



INVENTAIRE FORESTIER
NATIONAL

En raison de leur durée de vie et de leurs dimensions relativement importantes, les arbres sont de véritables réserves de carbone. La forêt permet un stockage de carbone important et à long terme sur une faible surface, aussi bien dans le sol que dans la biomasse. Les autres terres stockent environ 14 % de carbone de plus que la forêt, mais sur une surface triple (fig. 2). Elles présentent des stocks de carbone à

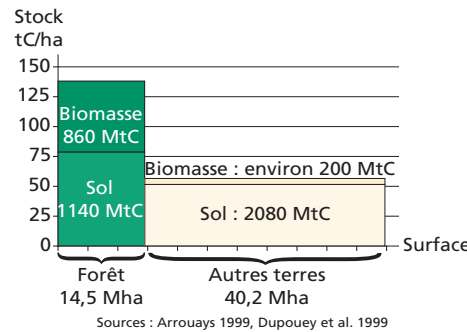


Fig. 2 : Stocks de carbone en France métropolitaine, par surface, compartiment et occupation du sol (en MtC⁴)

l'hectare faibles. En effet, leur biomasse est rapidement exportée (cas des cultures annuelles), relarguée vers l'atmosphère par minéralisation de la matière organique en décomposition ou stockée dans les sols.

Le stock forestier métropolitain du début des années 1990 est estimé à 2 000 MtC. Ce stock est donc en

⁴ MtC = méga (million de) tonne de carbone.

De plus en plus de carbone stocké dans la biomasse forestière

Les études menées au cours des années 90 dans le cadre du programme « Agriculture et gaz à effet de serre » (Agriges) ont apporté des éclairages importants sur les gaz à effet de serre (GES), dont le CO₂, dans l'espace rural. La collaboration entre l'IFN et l'Institut national de recherche agronomique (Inra) a permis d'estimer les stocks et flux de carbone dans la biomasse forestière à cette période.

Plus de bois et plus de forêt

Entre 1979 et 1991, l'IFN a mesuré une augmentation du volume de bois fort sur pied dans les forêts de production (hors peupleraies) de 27,5 millions de m³/an. Cela se traduit par une séquestration de + 10,5 MtC/an soit environ 10 % de nos émissions annuelles dues à la combustion de carbone fossile. Cela s'explique par l'augmentation simultanée :

- de la surface forestière (de 14 à 14,5 millions d'hectares) ;
- du stock de bois sur pied par unité de surface.

La quantité de carbone stocké passe de 53 à 59 tC/ha (soit de 740 à 860 MtC dans la biomasse forestière), principalement du fait de la capitalisation du bois sur pied. Les prélèvements actuels sont nettement inférieurs à la production (à peine plus de 60 % des 81 millions de m³ produits chaque année).

Plus de carbone dans les forêts âgées

L'âge des peuplements est le principal facteur de variation du stock de carbone par hectare. Les stocks varient de quelques tonnes par hectare au début du cycle sylvicole, jusqu'à plusieurs centaines en fin de révolution.

Si les résineux montrent un accroissement du stock beaucoup plus rapide que les feuillus dans les jeunes peuplements, cette différence s'amenuise à partir de 70 ans pour finalement s'inverser dans les futaies âgées (plus de 140 ans).

En moyenne, les peuplements à plus fort stock par unité de surface sont les sapinières (87 tC/ha) et les hêtraies (84 tC/ha), les plus faibles étant les peuplements de Douglas (45 tC/ha), en raison de leur jeune âge. Les stocks de carbone par unité de surface dans la biomasse des forêts domaniales (75 tC/ha) et soumises (71 tC/ha) sont nettement supérieurs à ceux des forêts

privées (55 tC/ha), en partie en raison du plus jeune âge de ces dernières.

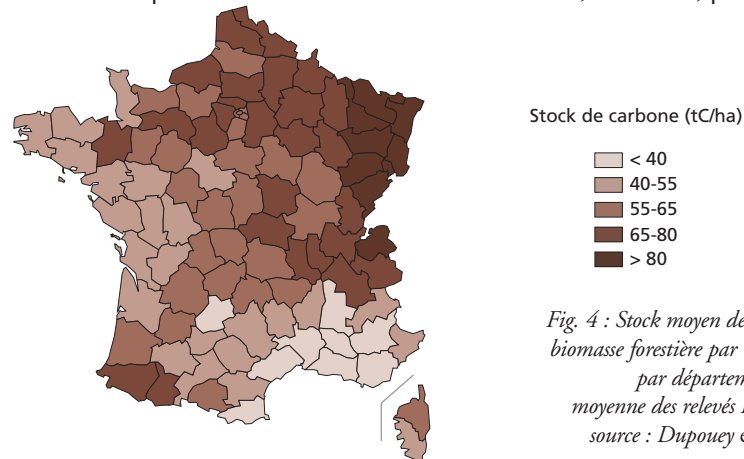
Moins de carbone dans les taillis

Les taillis-sous-futaie et les futaies régulières sont les types de formations qui stockent le plus de carbone (67 tC/ha), soit deux fois plus qu'un taillis simple (32 tC/ha). Les futaies irrégulières ont une position proche des futaies régulières (59 tC/ha).

Des disparités régionales

Les régions au plus fort stock de carbone à l'hectare sont au nord-est de la France (fig. 4) où les peuplements sont souvent matures et traités en futaie ou taillis-sous-futaie.

A contrario, celles au plus faible stock se trouvent en région méditerranéenne, caractérisée par une part plus importante de taillis et par un milieu fortement contraignant (chaleur, sécheresse, incendies, pâturage).



Stock de carbone (tC/ha)

- < 40
- 40-55
- 55-65
- 65-80
- > 80

Fig. 4 : Stock moyen de carbone dans la biomasse forestière par unité de surface, par département – moyenne des relevés IFN : 1991 – source : Dupouey et al., 1999

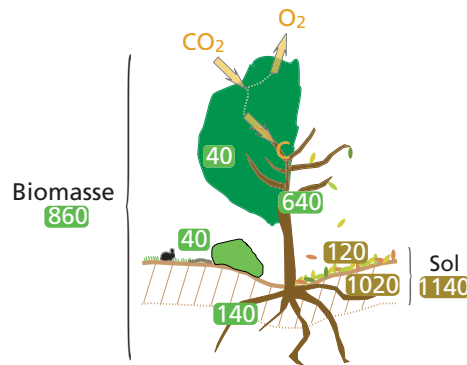
et les sols des forêts de France métropolitaine

moyenne de 138 tC/ha, avec sans doute une sous-estimation du bois mort et du sous-bois (arbrisseaux et herbacées).

Le carbone contenu dans la biomasse est réparti entre quatre compartiments (fig. 3) :

- le tronc et les branches : 640 MtC ;
- les racines : 140 MtC ;
- le feuillage : 40 MtC ;
- les ligneux bas, la végétation non

Fig. 3 : Stocks de carbone dans les écosystèmes forestiers métropolitains (en MtC)



Sources : - biomasse, Dupouey et al. 1999 ;
- sols hors litière, Arrouays et al. 1999.

ligneuse et le bois mort sur pied ou au sol : 40 MtC.

Le sol est le principal réservoir de carbone forestier puisqu'il contient 57 % du carbone stocké en forêt. Ses stocks se divisent entre deux compartiments :

- l'humus (dont la litière) : 120 MtC ;
- les horizons minéraux : 1 020 MtC (entre 0 et 30 cm de profondeur).

Sols et biomasse stockent des quantités comparables de carbone

Les sols de prairie et de forêt sont riches en carbone

En 1999, l'Inra a estimé que l'ensemble du carbone contenu dans les sols de France (forestiers et non forestiers), sur 30 cm hors litière et humus, est de 3 100 MtC.

La profondeur 0-30 cm est retenue parce qu'elle correspond aux horizons les plus affectés par les changements d'usages du sol et que les stocks décroissent rapidement avec la profondeur.

Les sols de vigne et verger (30 tC/ha) et les terres arables (45 tC/ha) sont les plus pauvres. Les landes, forêts et prairies ont des stocks assez élevés, sensiblement identiques (de 60 à 70 tC/ha). Les pelouses d'altitude et les milieux humides sont les plus riches (95 tC/ha). Les zones de culture et de sols limoneux plus ou moins dégradés ont les stocks les plus faibles, tandis que les zones d'élevage et/ou de forêt ont des sols riches en carbone (fig. 5). Enfin, les régions aux climats froids et/ou aux sols gorgés d'eau en permanence (tourbières en altitude, marais littoraux) présentent les stocks à l'hectare les plus élevés.

Les sols forestiers constituent d'importants réservoirs de carbone organique terrestres. En France, ils stockent 1 140 MtC, soit 79 tC/ha.

La part de carbone s'y répartit approximativement comme suit :

- humus (dont la litière) : 11 % ;
- couche 0-10 cm : 47 % ;
- couche 10-20 cm : 28 % ;
- couche 20-30 cm : 16 %.

Hors litière, la différence de stock de carbone des sols sous feuillus et sous résineux n'est pas significative.

En forêt, le stock est fonction du climat, de l'essence, du type de sol et des pratiques de gestion des sols

Les principaux facteurs de variation des stocks de carbone des sols forestiers sont le climat, l'essence dominante, en lien avec le type d'humus, et des caractéristiques qualitatives (type pédogénétique⁵) et quantitatives des sols (teneur en argile et profondeur du sol).

Si les sols participent pour près de 75 % aux stocks terrestres de carbone en France, des perturbations d'origines anthropiques ou climatiques sont susceptibles d'entraîner à moyen terme la libération dans l'atmosphère d'importantes quantités de GES. C'est pourquoi la protection des sols est primordiale dans les politiques de lutte contre les changements climatiques. En effet, la dynamique de stockage de carbone dans les sols forestiers dépend des changements d'usages des sols (déforestation, boisements, etc.), du climat et de certaines pratiques sylvicoles accroissant l'activité minéralisatrice des micro-organismes du sol (labour, drainage, fertilisation). L'ampleur de ces impacts sur la teneur en carbone du sol reste à quantifier.

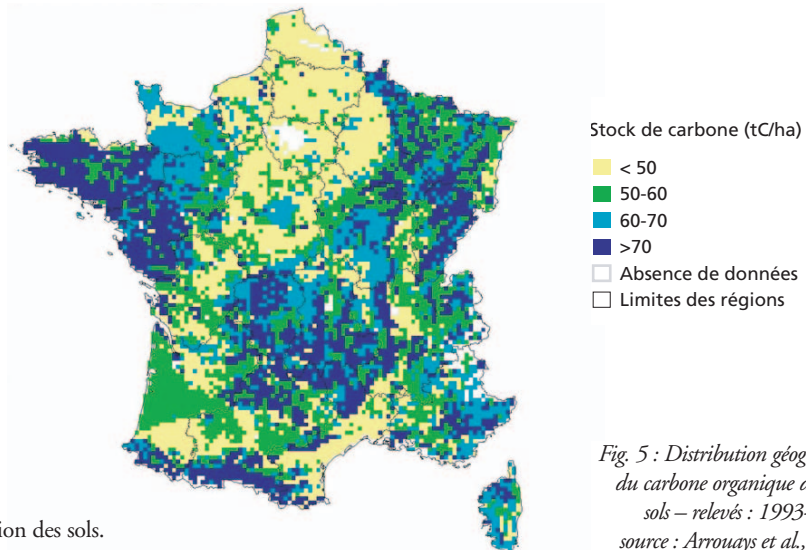


Fig. 5 : Distribution géographique du carbone organique dans les sols – relevés : 1993-94
source : Arrouays et al., 1999

⁵ Pédogénétique : relatif à la formation et à l'évolution des sols.

Encadré 1 : Des stocks de carbone dans les écosystèmes forestiers difficiles à quantifier

La quantification du carbone contenu dans les arbres s'estime à partir des données du volume bois fort mesuré par l'IFN. En plus de l'estimation de la biomasse ligneuse, les stocks dans quatre autres compartiments doivent être évalués : les sols et la litière, les feuilles, le bois mort, la biomasse du sous-bois (fig. a). Différentes sources, issues de mesures et/ou de travaux de modélisation, sont utilisées pour estimer le stock de carbone des différents compartiments des écosystèmes forestiers. Toutefois les incertitudes restent grandes et les calculs sont complexes.

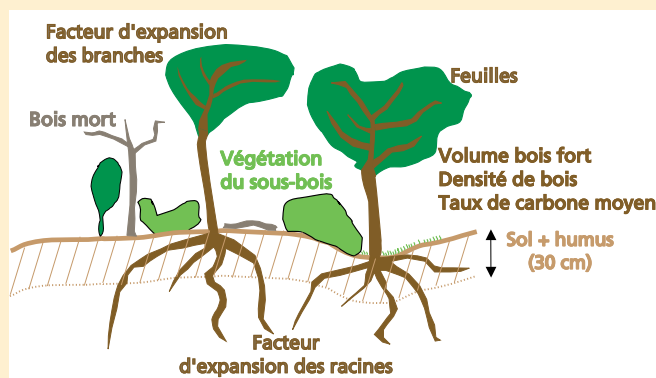


Fig. a : Les compartiments à évaluer pour quantifier le carbone forestier

Calculer le volume des troncs

L'objectif initial de l'IFN (et des inventaires forestiers en général) est d'évaluer la ressource en bois exploitable. De ce fait, seules les tiges ayant un diamètre à 1,30 m de plus de 7,5 cm sont mesurées. Le volume bois fort sur écorce correspondant est connu avec une très bonne précision. En revanche, le volume dans les boisements jeunes ou dans les accrus naturels jeunes n'est pas mesuré par l'IFN. Or, il peut représenter une part non négligeable du volume de bois, notamment en région méditerranéenne.

Évaluer les stocks de carbone dans les arbres

Le calcul des stocks de carbone dans les arbres est obtenu, pour l'ensemble des espèces, à partir du produit suivant :

$$C = V_{\text{IFN}} \times \text{Den} \times \text{FEB} \times \text{FER} \times \text{Car}$$

C : masse de carbone pour l'espèce et la placette considérée

V_{IFN} : volume bois fort mesuré par l'IFN

Den : densité du bois

FEB : facteur d'expansion des branches^A

FER : facteur d'expansion des racines^B

Car : taux de carbone moyen

Les coefficients multiplicateurs ci-dessus reposent sur des mesures qui, si elles sont déjà nombreuses aujourd'hui, ne sont pas généralisables. C'est le cas notamment pour l'évaluation, complexe, de la biomasse racinaire. Les coefficients peuvent être fonctions de l'essence, de la sylviculture, du type de peuplement, des régions, du climat, etc. Il est donc difficile d'établir des formules génériques de passage du volume de bois fort IFN (m^3) à la quantité de carbone contenue dans l'arbre (tC).

^A Rapport de la masse ou du volume ligneux aérien total à la masse ou au volume des tiges.

^B Rapport de la masse ligneuse totale à sa masse ligneuse aérienne.

Estimer le carbone dans les sols

Le stock de carbone des sols forestiers a été mesuré entre 1993 et 1994 sur 642 placettes françaises :

- du réseau systématique européen de suivi de l'état de santé des forêts (540 placettes) ;
- du réseau intensif de suivi des écosystèmes forestiers (Renecofor, 102 placettes).

Évaluer le carbone dans le bois mort

Les connaissances sur les masses de bois mort sont lacunaires. Seul le volume de bois mort sur pied depuis moins de cinq ans est comptabilisé par l'IFN. Les autres formes de bois mort représentent une part non négligeable du total. Compte tenu des nouveaux enjeux associés à l'évaluation du bois mort en forêt (carbone, biodiversité, etc.), l'IFN pourrait mettre en place prochainement un protocole d'inventaire spécifique. Un test dans le Haut-Rhin a montré que le bois mort sur pied de moins de cinq ans ne représentait que 20 % du total.

Estimer le carbone de la végétation du sous-bois

La biomasse du sous-bois, composée de petits ligneux, d'herbacées et de mousses, est très mal connue. Elle n'est cependant pas négligeable dans l'évaluation du stock de carbone de l'écosystème.

Les modèles de variation de ces biomasses restent à établir en fonction des typologies de stations existantes. Des collaborations entre l'IFN et la recherche pourraient déboucher sur l'estimation du volume de sous-bois et de la masse de carbone correspondante par station forestière. Ainsi, les données de l'IFN seraient à la base d'une évaluation nationale du stock de carbone de la végétation du sous-bois.

Déterminer la surface forestière

L'estimation de la superficie forestière est nécessaire à l'intégration des stocks au niveau national. Elle constitue néanmoins une autre source d'incertitude.

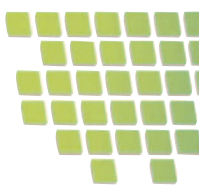
Jusqu'en 2004, l'IFN opérait à l'échelle départementale selon un cycle d'environ 12 ans, avec pour conséquence que la surface de l'ensemble des forêts françaises n'était jamais évaluée à une date donnée. Les calculs de l'IFN donnaient une situation moyenne sur la période d'inventaire national. Cet inconvénient pouvait être en partie contourné grâce aux données de l'enquête Teruti/LUCAS^C, mais un écart non négligeable (de l'ordre de 600 000 ha, soit environ 4 % de la surface forestière), existait entre ces deux sources statistiques.

Dès fin 2005, l'IFN sera en mesure d'évaluer chaque année la surface nationale boisée.

Améliorer la connaissance

La coopération entre l'IFN et les organismes de recherche est indispensable pour affiner l'estimation globale des stocks et des flux de carbone au niveau de l'écosystème demandée dans les inventaires nationaux d'émission de GES.

^C Enquête annuelle réalisée par le Scees (Service central des enquêtes et des études statistiques) au ministère chargé de l'agriculture. Elle permet de suivre la répartition de l'occupation et de l'utilisation des sols du territoire français.



Les forêts, puits de carbone potentiel au regard du protocole de Kyoto

Réduire les émissions de GES

La Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (UNFCCC) a été adoptée en 1992. Elle fixe comme objectif de maintenir la teneur en GES de l'atmosphère à un niveau tel qu'aucune modification dangereuse du climat ne puisse apparaître pour les générations actuelles et futures. Adopté en 1997, le protocole de Kyoto fixe les règles générales et les engagements chiffrés pour réduire les émissions de GES dans les pays développés. Avec la signature de la Russie en novembre 2004, le protocole est entré en vigueur en février 2005. En effet, le seuil des 55 pays l'ayant ratifié et représentant plus de 55 % des émissions des pays développés est dépassé (132 pays pour 61,6 % au 16/12/04). Les pays signataires se sont engagés à réduire en moyenne de 5,2 % leurs émissions par rapport au niveau de 1990 (année de référence) au cours de la période 2008-2012. L'Union européenne à 15 (UE-15) s'est engagée sur la même période à le réduire de 8 %. La France, représentant 12 % des émissions de

l'UE-15, s'est engagée à ne pas dépasser son niveau de 1990. Elle est actuellement à 1,9 % de moins.

La place de la forêt

En France, les activités forestières sont prises en compte dans deux articles du protocole de Kyoto :

- l'article 3.3, sur la déforestation et les nouveaux boisements ;
- l'article 3.4, sur la gestion forestière.

Ne sont éligibles au titre de ces articles que les flux « intentionnels » engagés après 1990. De plus, le stockage dans les produits bois ne peut être élu dans cette première phase du protocole. Des principes ont été définis pour vérifier l'effet « stockant » de l'activité et les surfaces qui y sont soumises. Il faut être en mesure de prouver le stockage revendiqué.

La mise en œuvre du protocole de Kyoto en France s'accompagne donc d'une réflexion approfondie sur les moyens pour obtenir les évaluations requises. En France métropolitaine, l'évaluation des émissions forestières repose sur l'identification annuelle des surfaces soumises à un changement d'usage.

L'enquête Teruti et l'IFN (grâce à sa nouvelle méthode) produiront des résultats annuels et nationaux.

En 2000, l'IFN a réalisé des estimations prévisionnelles du stockage de carbone éligible au titre des activités de l'article 3.3. Le bilan est négatif (-0,62 MtC/an). Les émissions de carbone dues aux défrichements sont en effet supérieures aux absorptions de carbone par les boisements récents, faibles pendant les premières années des peuplements. Le bilan pourrait être inversé si les colonisations naturelles étaient prises en compte.

Le stockage additionnel dans les forêts gérées éligibles au titre de l'article 3.4 permet de compenser la libération de carbone liée aux activités prises en compte par l'article 3.3.

La France doit également intégrer le bilan de carbone forestier des DOM dans son bilan national. Les méthodes d'évaluation des changements d'usage des sols et des stocks de carbone dans la biomasse et les sols font aujourd'hui l'objet d'une réflexion approfondie au sein du ministère chargé de l'agriculture, de l'IFN et d'autres partenaires.

Encadré 2 : Calcul des flux de carbone en forêt

Trois approches sont possibles pour calculer les flux nets de carbone nationaux :

- ① par comparaison des stocks à différentes dates (fig. b) ;
- ② par mesure des flux entrants et sortants ;
- ③ par modélisation de ces flux (si la mesure directe est impossible).

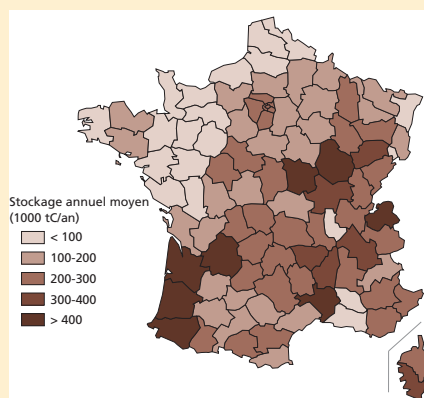


Fig. b : Variation annuelle du stock de carbone dans la biomasse forestière, par département – Période 1984-1996 – Source Pignard et al., 2005

Les flux dans la biomasse

L'IFN, grâce à une collecte régulière d'informations depuis près d'un demi siècle, peut estimer de manière fiable les flux dans la biomasse par comparaison d'inventaires (approche ①). Les coefficients multiplicateurs pouvant changer avec le temps (sylviculture, modification de la forme des arbres, de leur productivité, etc.), il est nécessaire d'étudier l'évolution de ces flux.

On peut calculer la variation totale du stock de carbone (approche ②) dans les forêts françaises (*Sto*) en retirant de la production courante (*Pro*) les prélèvements (quantité de bois exportée hors de la forêt, *Pre*) et la mortalité (*Mor*).

$$Sto = Pro - Pre - Mor$$

Les flux entrants (*Pro*) sont relativement bien estimés par l'IFN qui mesure l'accroissement en volume des peuplements.

La mortalité est également mesurée. Les prélèvements sont calculés à partir de l'Enquête annuelle de branche (EAB) du ministère chargé de l'agriculture et des estimations du bois de feu prélevé en forêt.

L'enquête fournit avec précision les volumes de bois commercialisés. En revanche, les pertes d'exploitation sont relativement mal connues, de même que les flux de bois hors des circuits commerciaux. À l'heure actuelle, la mise en œuvre de cette approche, intéressante pour connaître la destination des bois, est complexe du fait de l'hétérogénéité des sources.

Les flux dans les sols

Pour les sols, seules les approches ① et ③ sont applicables, car aucune mesure des flux entrants et sortants n'est réalisée en routine pour les sols forestiers à l'échelle nationale. La mise en place d'un réseau national de suivi de la qualité des sols devrait permettre d'améliorer ces estimations.

Au niveau national



De 2002 à 2004, l'IFN a participé aux travaux de recherche menés dans le cadre du projet national Carbofor⁶. Ce projet, achevé en juin 2004, visait à quantifier les impacts d'un changement climatique sur le bilan et le stockage de carbone, la production primaire et l'hydrologie des grands écosystèmes forestiers métropolitains.

Affiner les estimations antérieures

Le carbone dans la biomasse ligneuse est évalué à partir des volumes de bois fort de l'IFN auxquels sont appliqués divers coefficients (cf. p. 4).

Jusqu'à présent, les coefficients utilisés provenaient principalement de bibliographies internationales et ne dépendaient que du groupe d'essence. Ils s'appliquaient de manière imparfaite au volume sur pied mesuré dans les forêts françaises.

L'IFN a coordonné les travaux visant à améliorer les méthodes de comptabilité des stocks de carbone forestier au niveau national. Des ajustements ont été proposés, sur la base de tarifs de cubage du volume aérien total construit par le Laboratoire d'étude des ressources forêt-bois (Lerfob⁷) et de nouvelles valeurs des facteurs d'expansion des racines et des densités du bois. Ces

coefficients ont permis d'actualiser et de cartographier les stocks et les flux de carbone dans la biomasse ligneuse aux échelles régionales et départementales.

La séquestration de carbone recalculée est plus importante que celle estimée auparavant. En 1999, une séquestration de 10,5 MtC/an (période 1979-1991) avait été calculée sur la base des coefficients issus du projet Agriges. Le projet Carbofor a réévalué cette séquestration à 17,9 MtC/an pour la période 1984-1996. Cette hausse est expliquée par l'emploi de coefficients ajustés et par l'accroissement tendanciel de la surface boisée et du volume par unité de surface. Les coefficients Carbofor doivent encore faire l'objet d'études complémentaires.

Un important travail de croisement des données de l'IFN et de l'Inra a facilité la création d'une base de données sur les stocks de carbone des sols forestiers à

l'échelle nationale. Ce travail constitue une première étape vers l'estimation des flux de carbone de ces sols.

Le changement climatique

Grâce à l'utilisation par les chercheurs des données brutes de l'IFN (dendrologiques, cartographiques et écologiques) on a pu :

- paramétrer des modèles simulant les impacts régionalisés de scénarios climatiques ;
- alimenter l'analyse et la classification des aires de répartition des essences en fonction de critères affectés par le changement climatique ;
- fournir une projection de ces mêmes aires à l'horizon 2100.

Ces travaux ont contribué à l'évaluation des impacts du changement climatique sur la forêt.

⁶ Consortium regroupant 14 partenaires, financé par les programmes « Gestion et impacts du changement climatique » (GICC) du ministère de l'Écologie et du développement durable (Medd) et « Forêt et Climat » du Groupement d'intérêt public écosystèmes forestiers (GIP Ecofor) sous tutelle du ministère chargé de l'agriculture.

⁷ Unité mixte de recherche Inra-Engref (École nationale du génie rural des eaux et forêts).

Encadré 3 : Le changement climatique provoquera

Les GES sont naturellement présents dans l'atmosphère. Sans eux la température à la surface de la terre serait de - 18°C. La vapeur d'eau contribue pour 55 % à l'effet de serre, le gaz carbonique pour 39 %. Si la vapeur d'eau est évacuée en quelques jours, le CO₂ y reste en moyenne 100 ans.

L'activité humaine en cause

Au niveau planétaire, les émissions de CO₂ d'origine anthropique sont estimées à 7 100 MtC/an. Leur niveau est croissant, en lien avec la combustion grandissante de

carbone fossile. Ces émissions sont absorbées pour plus de la moitié par les océans, la biomasse et les sols. Mais 3 300 MtC s'accumulent chaque année dans l'atmosphère, accentuant l'effet de serre (fig. c).

À l'horizon 2100, le Giec prévoit une forte augmentation du taux de CO₂ atmosphérique (entre + 150 et + 270 %) et une élévation des températures moyennes (entre + 1,4 et + 5,8 °C) par rapport au niveau de 2000.

Météo-France prévoit une perturbation des régimes hydriques saisonniers avec des hivers

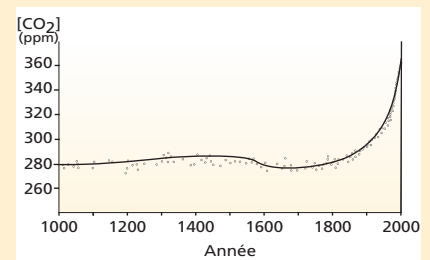


Fig. c : Concentration moyenne en CO₂ de l'atmosphère (source : Giec 2001)

plus humides et des étés plus secs. La contribution des forêts françaises à la réduction des émissions nationales de

En Aquitaine

En 2004, dans le cadre du projet FORSEE⁸, l'IFN a mis au point une méthode d'évaluation de l'indicateur de gestion durable du processus d'Helsinki concernant le stock de carbone dans la biomasse ligneuse et les sols des forêts de la région Aquitaine. Outre l'évaluation du stockage de carbone en forêt, l'IFN a développé avec ses partenaires aquitains une méthode d'évaluation des stocks et des flux de carbone dans les produits bois de pin maritime. Les émissions de carbone de quelques postes de la filière ont également été estimées. Ces travaux ont permis d'établir un premier bilan de la filière forêt-bois landaise. Il est égal à la somme du flux en forêt et du flux des produits, moins les émissions. Il fait appel à des sources nombreuses et hétérogènes.

Les stocks de carbone dans la biomasse ligneuse ont été estimés sur la base des coefficients multiplicateurs issus du projet Carbofor. Ils ont été appliqués aux volumes inventoriés lors des deux derniers inventaires départementaux, ainsi qu'aux volumes actualisés suite à la tempête de 1999. À l'instar de la tendance nationale, les forêts de la région Aquitaine ont constitué un puits de carbone dans la biomasse ligneuse entre 1979 et 1999 (cf. p. 2).

Les forêts de Dordogne, des côtes du Lot et de la Garonne gagnaient en

moyenne 9 tC/ha dans la biomasse ligneuse entre 1979 et 1989, soit un stockage moyen de + 0,62 MtC/an.

Entre 1982 et 1992, les forêts comprises entre la Chalosse et la Haute montagne pyrénéenne séquestraient + 0,38 MtC/an.

La futaie de pin maritime des Landes de Gascogne représentait un puits de carbone estimé à + 0,35 MtC/an entre 1988 et 1999, mais la tempête de décembre 1999 a inversé la dynamique de stockage du massif (fig. 6). Sur la période 1988-2000 le bilan de carbone

de la biomasse ligneuse est négatif, de l'ordre de - 0,34 MtC/an. Sur la base d'études prospectives de la ressource, ce bilan redeviendrait positif vers 2015.

Entre 1990 et 2001, les produits du bois de pin maritime représentaient un puits de carbone d'environ 0,07 MtC/an. La masse de carbone stockée dans les produits bois pendant toute leur durée de vie progressait quant à elle de 43 % sur la période.

Les résultats de l'étude sur le massif landais confirment le besoin de développer une comptabilité du carbone dans une approche filière. Les bilans présentés ici n'intègrent ni les flux de carbone des sols (non quantifiés) ni les émissions de la filière encore trop sous-évaluées. Ils ne tiennent pas non plus compte des émissions de carbone évitées par substitution de matériaux ou d'énergies fossiles par le bois. Des travaux complémentaires devraient permettre de mieux renseigner la contribution nette de l'activité forestière au cycle du carbone.

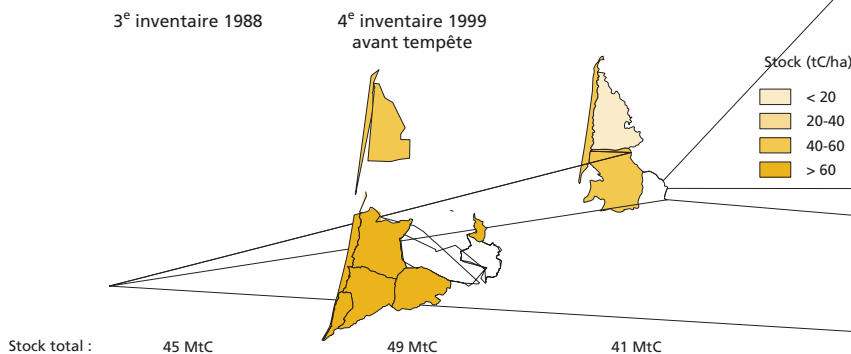


Fig. 6 : Évolution des stocks de carbone dans la biomasse de pin maritime du massif landais par région forestière

⁸ FORSEE : projet cofinancé par des fonds européens et la région Aquitaine.

des modifications des écosystèmes forestiers

GES est croissante (tab. a), mais qu'en sera-t-il demain compte tenu de prévisions climatiques alarmistes ?

	1990	2002
Émission de CO ₂	108	111
CH ₄ hors puits forestiers	19	17
N ₂ O hors puits forestiers	24	20
Gaz fluorés	2,5	3,5
Total hors puits forestier	153,5	151,5
Puits forestiers net	-10	-15
Total des émissions	143,5	136,5

Tableau a : Émissions de GES en France en 1990 et 2002 (en Mt équivalent C) – Source : Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa), 2003

Les écosystèmes forestiers en mutation

Les projections à l'horizon 2100 du projet Carbofor donnent une idée de l'impact du changement climatique sur les écosystèmes forestiers. Ces derniers seraient fortement affectés par les modifications du régime climatique et hydrique. Globalement, l'augmentation du CO₂ et le réchauffement profiteraient à la végétation en ayant un effet fertilisant et en allongeant la durée de végétation. Mais la disponibilité en eau serait vite limitante. Les aires de répartition géographique des essences seraient

largement modifiées. Les essences méridionales s'étendraient vers le Nord et l'Est, tandis que les essences montagnardes et continentales régresseraient. Les essences en limite d'aire seraient les plus menacées, comme le hêtre qui ne subsisterait qu'à l'extrême Nord-Est du pays. Cela aurait de lourdes conséquences en terme de paysage et de stockage de carbone.

Il est enfin à craindre que la douceur des hivers favorise l'extension des aires potentielles des pathogènes, avance la date des premières infections et augmente les fréquences des maladies telles l'oïdium.

Pour en savoir plus

www.ifn.fr

www.ipcc.ch

ARROUAYS (D.) *et al.*, *Stocker du carbone dans les sols de France ?*, Inra, 2002, 332 p.

Citepa, *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France au titre de l'UNFCCC*, 2003, 307 p.

Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France, vol. 85, n° 6, Édition Académie française, Paris, 1999 :

– Arrouays (D.) *et al.*, Stocks de carbone dans les sols de France : quelles estimations ?, p. 278-292 ;

– Dupouey (J.-L.) *et al.*, Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises, p. 293-310.

DUPOUEY (J.-L.), PIGNARD (G.), Quelques problèmes posés par l'évaluation des stocks et flux de carbone forestiers au niveau national, *Revue forestière française*, vol. LIII, n° 3-4, 2001, p. 294-300.

Giec, *Changements climatiques 2001 : Rapport de synthèse. Résumé à l'intention des décideurs*, 2001, 37 p.

GICC – GIP Ecofor, Inra, *Rapport final du projet Carbofor – Séquestration de Carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France* (<http://medias.obs-mip.fr>), 2004, 136 p.

LOUSTAU (D.) *et al.*, *Modelling the climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub regional level*, *Tree Physiology*, à paraître.

MORIN (G.A.), LAUFER (P.), La consommation de bois de feu en France, *Revue forestière française*, vol. XLIV, n° 3, 1992, p. 255-265.

PIGNARD (G.), DUPOUEY (J.-L.), Les flux de carbone dans les forêts françaises et européennes : apport des inventaires forestiers, *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 88, n° 5, Édition Académie française, Paris, 2002, p. 7-17.

PIGNARD (G.) *et al.*, Estimation des stocks et des flux de carbone dans la biomasse des forêts françaises à partir des données de l'Inventaire forestier national, *Rapport final du projet Carbofor*, 2004, p. 62-74.

Les atouts de la forêt et du bois Stocker le carbone sur pied en forêt

Deux stratégies sont envisageables pour permettre aux forêts d'augmenter leur capacité de lutte contre le changement climatique :

- l'augmentation de la surface forestière par boisement des terres agricoles permet un accroissement pérenne des stocks de carbone dans la biomasse et dans les sols ;
- l'augmentation de l'âge d'exploitabilité des forêts accroît le niveau de stock (tC/ha) dans la biomasse ligneuse.

Toutefois, la mise en œuvre de cette stratégie doit être considérée au cas par cas. Il apparaît plus efficace de stocker le carbone sur pied dans les forêts situées sur les stations les moins productives ou qui capitalisent déjà des stocks importants (forêts matures).

En outre, dans le cadre des principes de gestion durable, il vaut mieux valoriser le carbone fixé par les forêts les plus productives par l'usage des produits bois.

Développer l'utilisation du bois matériau

Une étude réalisée pour la Mission interministérielle sur l'effet de serre (Mies) évalue la quantité de carbone stocké dans le bois d'œuvre en France à 60 MtC. Elle prend en compte la consommation apparente de produits forestiers en 1995, l'exploitation de bois induite et les rendements matière associés, et la durée de vie moyenne de chaque catégorie de produits. Pour environ 80 %, ce bois est mis en œuvre dans le bâtiment, avec une durée de vie moyenne comprise entre 20 et 50 ans. Les 20 % restant sont surtout constitués de meubles.

À cela s'ajoute la quantité de carbone présente en permanence dans le papier et les cartons qui est estimée à environ 25 MtC, avec une durée de vie moyenne de 8 ans.

Le bois se substitue à des matériaux dont la fabrication génère du CO₂ (béton, acier, PVC, aluminium). Son utilisation entraîne, à performance équivalente, une émission de GES moindre.

Pour promouvoir l'éco-matériau bois, il est nécessaire d'évaluer l'impact global de la filière forêt-bois en terme d'émissions de GES et d'identifier les étapes où des optimisations peuvent être recherchées.

Utiliser le bois comme énergie renouvelable

L'utilisation du bois constitue une excellente alternative aux énergies fossiles. Elle permet l'économie de 4,5 MtC/an. Avec du matériel adapté et performant, le bois énergie émet douze fois moins de GES en équivalent carbone que la filière charbon, huit fois moins que la filière fuel domestique, sept fois moins que la filière gaz naturel et deux fois moins que la filière électricité. Il présente de plus l'avantage d'être neutre puisqu'il absorbe autant de carbone qu'il en émet, contrairement aux autres énergies.

CONTACT

Chargé de communication :
N. ROBERT
Inventaire forestier national
Château des Barres
F – 45290 Nogent-sur-Vernisson
Tél. : +33 (0)2 38 28 18 18
Courriel : nrobert@ifn.fr

ABONNEMENT

L'IF est téléchargeable sur le site internet de l'IFN :
www.ifn.fr
Pour recevoir L'IF ou modifier vos coordonnées :
par fax : +33 (0)2 38 28 18 28
ou par courriel : ifl@ifn.fr

L'IF

Directeur de la publication
C. VIDAL
Rédacteurs
A. COLIN, N. DERRIÈRE
Conception et réalisation
IFN
ISSN : 1769-6755