

Les forêts sont-elles le poumon de la planète ? Le cycle du carbone

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 02.02.Q02

2020, révisée 2026

Bernard ROMAN-AMAT, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Mots clés : écosystème

Le gaz carbonique (CO₂) est le principal gaz à effet de serre d'origine anthropique. Quels sont les mécanismes permettant aux forêts de l'absorber (à l'inverse d'un poumon humain) et de le stocker ?

Le carbone : un élément très répandu à la surface du globe

Le gaz carbonique, très abondant dans l'atmosphère primitive, a été absorbé par les êtres vivants, et son carbone a été fixé sous diverses formes : biomasse, humus, roches ; ce gaz peut par ailleurs être dissous dans l'eau. Aujourd'hui, la répartition du carbone à la surface du globe est la suivante (en Giga tonnes) :

La circulation – ou cycle – du carbone entre ces compartiments s'effectue à des vitesses très variables ;

Localisation	Atmosphère	Biosphère (plantes et sols)	Hydrosphère (océans)	Roches carbonatées (calcaires) et carbonées (charbon, pétrole)
Stock de carbone, en milliard de tonnes (Gt)	750	2 200 (dont 50 % dans les forêts, 60% de ce carbone se trouvant dans leur sol)	39 000	37 millions

dans les roches, le carbone peut être immobilisé pendant plusieurs centaines de millions d'années. Le cycle court du carbone se déroule essentiellement entre l'atmosphère (où le carbone séjourne 5 ans en moyenne), l'hydrosphère et la biosphère (durée de séjour de 1 à 250 ans dans la végétation, de 5 000 à 10 000 ans dans les sols). Les activités humaines interviennent dans ce cycle court : en 2018, elles ont émis environ 10 Gt de carbone dans l'atmosphère (soit 37 Gt de gaz carbonique). L'IGN estime le stock moyen de carbone des forêts françaises métropolitaines à 154 t/ha, dont 51 % dans le sol. Ce stock augmente chaque année d'environ 1,7 % pour la biomasse, et de l'ordre de 0,5 % pour le carbone du sol.

Les échanges de carbone entre l'atmosphère et les forêts

Les échanges de carbone entre l'atmosphère et les forêts sont schématisés dans la *Figure 1* :

- **L'absorption du carbone par la biomasse** (entrée depuis l'atmosphère, la forêt étant alors un puits) est due à la photosynthèse, qui permet aux végétaux d'utiliser l'énergie solaire. Chaque année, la végétation du globe absorbe 105 milliards de tonnes de carbone, 54 % de cette absorption ayant lieu dans les écosystèmes terrestres. Dans les plantes, l'association des molécules de sucres, ainsi obtenues, permet de former les tissus végétaux, notamment le bois, pour les arbres : dans 1 kg de bois sec, on trouve en moyenne 500 g de carbone. L'absorption de carbone est appelée *Production primaire brute*, PP dans le schéma en *Figure 1*.

- **L'exportation de carbone** (= perte, la forêt étant alors une source) est plus diversifiée, selon :

- la respiration des végétaux (ou respiration autotrophe : Ra), racines incluses ;
- la respiration des êtres vivants du sol (ou respiration hétérotrophe : Rh), surtout celle des organismes décomposeurs de la biomasse : champignons, bactéries, insectes xylophages ;
- les émissions de molécules carbonées (Ec) ;
- les exportations sous forme de tissus végétaux (consommation par les animaux, récoltes de bois) ou de gaz (incendies), qui peuvent se faire en grandes quantités, et de manière discontinue ;
- le carbone exporté sous forme dissoute dans les eaux du sol, en petites quantités.

Les scientifiques distinguent schématiquement différents flux, tous difficiles à mesurer, pour lesquels on dispose donc d'estimations plutôt que d'évaluations précises :

- la production nette de carbone par la végétation :
 $PN = PP - Ra - Ec$
- l'échange net de carbone entre l'écosystème et l'atmosphère : $EN = PN - Rh$
- le bilan net global de carbone de l'écosystème :
 $BN = EN - \text{ensemble des exportations}$.

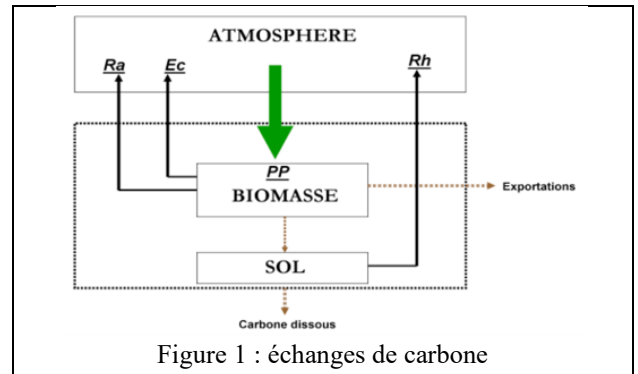


Figure 1 : échanges de carbone

L'échange net de carbone des forêts varie fortement sous l'effet des facteurs naturels

La Figure 2 compare les ordres de grandeur de trois flux annuels de carbone, pour les sept principaux biomes¹ forestiers du monde. En zone tropicale, la production brute et les respirations sont très actives, car tous les facteurs sont favorables : température, longueur de la saison de végétation, pluviométrie. En zone boréale semi aride, la production

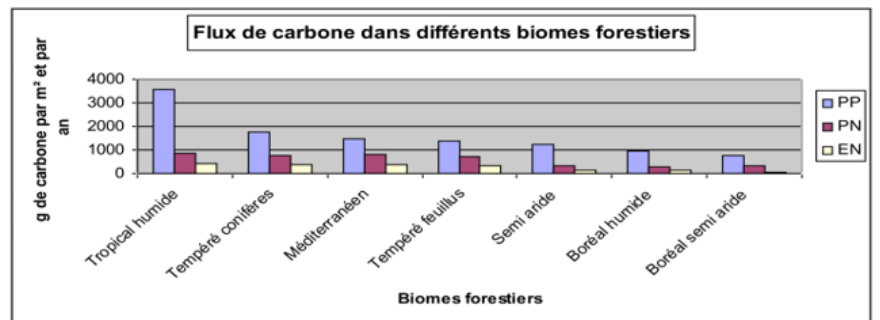


Fig. 2 : Flux de carbone

brute n'atteint que le quart de la production de la zone tropicale. L'ensemble des respirations représente de 75 % (méditerranée) à 95 % (boréal semi aride) de la production brute. L'échange net de l'écosystème est du même ordre de grandeur en zones tropicales, méditerranéenne et tempérée (conifères), soit 400 grammes de carbone par m² et par an. En zone boréale semi aride, cet échange est dix fois moins important. Globalement, les forêts sont le principal puits de carbone terrestre, avec un flux net estimé à 1,2 Gt de carbone par an (période : 2000- 2007).

Le bilan net de carbone des forêts varie dans le temps

La production primaire dépend de la photosynthèse, donc de la température et de la pluviométrie.

Ainsi, dans une jeune hêtraie de Lorraine (pourtant sur sol et sous climat favorables), la production primaire a pu être réduite de 20 % à 30 % lors de certains étés secs (Figure 3) ; dans un taillis de chêne vert méditerranéen, la production primaire peut varier d'un facteur 2,5 d'une année à la suivante.

L'échange net est très dépendant de la respiration de l'écosystème, en particulier du sol. Sous climat tempéré, la respiration du sol peut être particulièrement active lors des automnes et hivers doux, et réduire fortement l'échange net. Les valeurs de bilan n'ont donc de sens que lorsqu'elles sont calculées sur au moins dix ans.

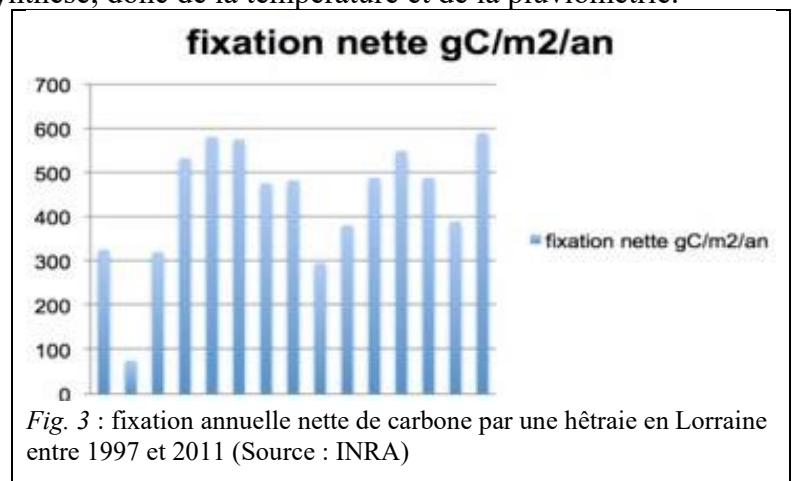


Fig. 3 : fixation annuelle nette de carbone par une hêtraie en Lorraine entre 1997 et 2011 (Source : INRA)

Le bilan net de carbone des forêts dépend fortement des activités humaines

Le déboisement d'une forêt provoque le retour de son carbone à l'atmosphère, soit en grande quantité et en quelques heures en cas d'incendie, soit en partie et sur plusieurs années dans d'autres cas (tempête, invasion d'insectes). Le déboisement actuel se produit essentiellement en zone tropicale, et souvent par incendie : la disparition d'un hectare de forêt émet alors en moyenne 130 tonnes de carbone. On estime que la déforestation

¹ vaste zone biogéographique s'étendant sous le même climat

touche actuellement chaque année 13 millions d'hectares de forêts et émet 1,6 Gt de carbone par an dans le monde, soit environ 20 % des émissions d'origine humaine, et 2,5 fois la production primaire nette de l'ensemble des forêts de l'Union européenne.

Dans l'Union européenne, entre 1985 et 2015, 480 000 hectares de forêts brûlent chaque année en moyenne (20 000 hectares en France). Comme après un incendie, il faut plusieurs dizaines d'années à une forêt pour fixer la quantité de carbone perdue, la préservation de l'état boisé et la prévention des incendies de forêts sont essentielles pour réduire les émissions de carbone issues des forêts.

Dans les forêts faisant l'objet d'une sylviculture, les exportations de carbone sont principalement causées par les coupes de bois. Lorsque le peuplement forestier est jeune, ces exportations sont inférieures à l'échange net de carbone ; ainsi, dans une jeune hêtraie et sur une période de 10 ans, sur un échange net moyen de 540 g de carbone par m² et par an, 22 % ont été exportés par une coupe et 78 % ont été stockés dans les arbres. En revanche, lorsque le peuplement est exploité en fin de révolution, le carbone contenu dans les produits récoltés quitte la forêt, et le sol continue de respirer ; par exemple, dans les Landes de Gascogne et sur un an, l'échange net de carbone est un puits de l'ordre de 500 g/m² pour un peuplement de pins de 30 ans, et une source de 300 g/m² l'année suivant une coupe rase.

On pourrait donc penser que pour maximiser la fonction de puits de carbone des forêts, il faudrait les laisser vieillir le plus longtemps possible, et les densifier en supprimant les récoltes de bois. Cependant, la production primaire d'une forêt diminue lorsqu'elle vieillit : pour le pin maritime, entre 10 et 90 ans, elle baisse de moitié. Les peuplements forestiers très denses sont par ailleurs très sensibles aux accidents du climat (tempêtes, sécheresse) et aux attaques biotiques : la quantité importante de carbone qu'ils renferment risque donc d'être brutalement émise vers l'atmosphère. Il est possible de limiter fortement l'émission de CO₂ dans les coupes de régénération :

- en limitant leur surface,
- en évitant d'y travailler le sol,
- en réinstallant rapidement par régénération naturelle ou plantation un peuplement forestier qui couvrira le sol (ce qui se fait très couramment en France ; ci-après Fig. 4).



Fig. 4 : Futaie régulière de chêne



Fig. 5 : structure de peuplement de futaie irrégulière

Une autre formule consiste à éviter les coupes de régénération en adoptant un traitement dit "en futaie irrégulière" visant à assurer un couvert continu (cf. Fig. 5). C'est une méthode difficile à maîtriser pour les espèces d'arbres exigeantes en lumière (chêne sessile notamment), et, qui par ailleurs, impose de limiter le volume de bois du peuplement sous peine de nuire à la régénération des arbres : elle ne permettra donc pas d'obtenir un stock de carbone important à l'hectare.

Par ailleurs, la fonction de puits de carbone sera maximale dans une plantation d'arbres installée sur un terrain précédemment non boisé. Boisement et reboisement sont ainsi, à côté de la conversion, des méthodes éligibles au label « bas carbone » en forêt récemment créé par le Ministère de l'écologie (cf. fiche 4.03). Enfin, dans tous les cas, l'utilisation du bois retarde le retour vers l'atmosphère du carbone qu'il contient. Du point de vue du carbone comme du point de vue économique, il est avantageux de donner plusieurs vies au bois, par exemple : poutre, panneau de particules, combustible. On ne fera ainsi revenir le carbone à l'atmosphère que lorsqu'aucun autre usage du matériau ne sera plus possible (voir fiche 02.06.Q06 *Les produits à base de bois : combien de carbone stockent-ils et quelle est leur empreinte carbone ?*).

Ce qu'il faut retenir :

- La fixation du carbone dans les forêts se fait par un seul mécanisme (la photosynthèse), alors que les pertes de carbone des forêts se réalisent par des voies très diverses.
- Les forêts françaises renferment 154 tonnes de carbone par ha, dont la moitié dans leur sol.
- Dans le monde et en France, les forêts sont des fixatrices nettes de carbone.
- Le bilan carbone des forêts varie fortement dans le temps et dans l'espace.
- Les forêts peuvent émettre beaucoup de carbone quand elles sont détruites, incendiées ou victimes d'attaques massives de ravageurs.
- Le stockage de carbone dans les forêts n'est pas illimité.
- Une gestion adaptée des peuplements forestiers et l'utilisation du bois d'œuvre dans l'économie optimisent la fonction "puits de carbone" des forêts.

Pour en savoir plus

fiches Encyclopédie :

- 02.02.Q03 *La fertilité des sols forestiers : quels sont ses déterminants ?*
- 02.04.Q03 *Les marchés du carbone : quelles perspectives pour le secteur forêt-bois ?*
- 02.06.Q06 *Les produits à base de bois : combien de carbone stockent-ils et quelle est leur empreinte carbone ?*
- 02.08.Q03 *Pourquoi couper des arbres ?*
-

Chiffres clés du carbone dans la forêt française métropolitaine (ordres de grandeur, année 2015)

Stocks de carbone

Biomasse des arbres : 1,2 Gt

Sols : 1,3 Gt

Total : 2,5 Gt

Variations de biomasse aérienne

Production : 0,041 Gt / an

Récolte : 0,020 Gt / an

Puits apparent : 0,021 Gt / an

Augmentation du stock de carbone du sol (estimation avec forte incertitude) : 0,006 Gt / an