

NOTE

DU BON USAGE DU CONCEPT DE SUBSTITUTION CARBONE PAR LA FILIÈRE FORÊT BOIS

Auteur : Aude Valade

Relecture : Sylvain Angerand, Bruno Doucet,
Gaëtan Du Bus, Julia Ouallet



cirad

LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT

CANOPÉE

FORÊTS VIVANTES



RÉSUMÉ

Dans le débat sur l'apport de la filière forêt-bois à l'effort de réduction massif de nos émissions de gaz à effet de serre, les pouvoirs publics ont placé de façon centrale, l'utilisation de bois en substitution à des énergies ou des matériaux réputés plus émetteurs de carbone pour justifier l'intérêt climatique d'une hausse de la récolte de bois. Cette note analyse les limites de cette approche en soulignant la complexité de l'évaluation des effets de substitution et en rappelant qu'ils ne peuvent être dissociés de leur impact sur la séquestration de carbone en forêt.

SOMMAIRE

1. Le cycle du carbone dans la filière forêt-bois : les 3 S	2	2. La substitution, un outil à manier avec précaution	12
1.1 Séquestration : des forêts françaises productives	2	2.1 Le carbone biogénique est-il pris en compte dans les deux scénarios ?	12
1.2 Stockage de carbone dans les produits bois : Les produits bois à longue durée de vie retiennent le carbone hors de l'atmosphère au prix d'émissions de carbone biogénique et fossile	4	2.2 Quelle cohérence entre le calcul des coefficients de substitution et leur application ?	12
1.3 Substitution : comparer les émissions fossiles de scénarios alternatifs	7	2.3 La substitution est-elle additionnelle ? Y a-t-il réellement un évitement d'émissions ?	13
1.4 Le bilan carbone des produits bois	7	2.4 Le scénario de référence est-il crédible ?	14
1.5 Bilan carbone du bois et réglementation	10	2.5 L'horizon temporel permet-il de maintenir la crédibilité des scénarios ?	15
		Conclusion	18
		Références	19

1. LE CYCLE DU CARBONE DANS LA FILIÈRE FORÊT-BOIS : LES 3 S

L'impact carbone des produits bois est généralement présenté sous l'angle des 3S : Séquestration in-situ (en forêt), Stockage de carbone dans les produits bois pendant leur durée de vie et émissions évitées par Substitution à des énergies ou matériaux plus émetteurs de carbone.

1.1 Distinguer le stock et le flux de carbone en forêt



LES BASES

Par le phénomène de photosynthèse, les arbres absorbent du carbone qu'ils stockent dans leurs tissus, bois, feuilles, racines, et qu'on appelle carbone biogénique. En forêt, le carbone est donc stocké à la fois dans la biomasse aérienne et dans les compartiments souterrains, biomasse racinaire, bois mort, sol et li-

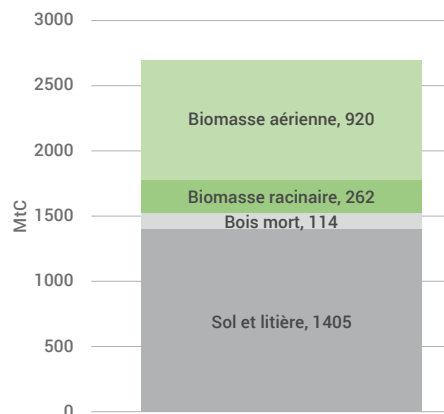
tière. A l'échelle de la France, en 2010, on estime le stock de carbone dans la biomasse aérienne vivante des forêts à 920MtC auxquels s'ajoutent 262MtC dans la biomasse racinaire, 114 MtC dans le bois mort et 1405MtC dans le sol et la litière (IGN, 2021). La biomasse vivante représente donc 44% du stock de carbone des forêts françaises, le bois récoltable ne compte lui que pour 34% (IFN, 2005). Les flux de carbone dans les forêts françaises sont en revanche dominés par la séquestration par la biomasse vivante, qui absorbe en moyenne 0,7tC/ha/an, contre 0,35 pour le sol (IGN, 2021).



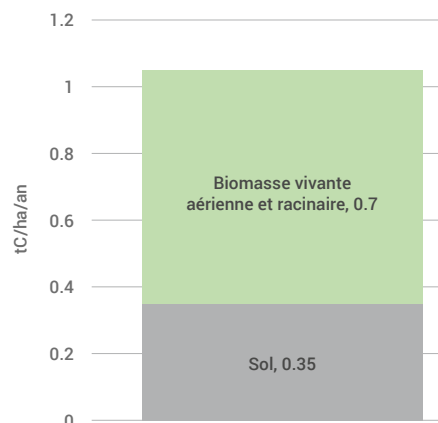
LE PROBLÈME

Loin d'être généralisables, ces valeurs moyennes ne sont qu'un « instantané » de la forêt française, reflet du faible âge de ses peuplements (IGN, 2018). En moyenne, 79% des peuplements des forêts françaises ont en effet moins de 100 ans. Pour le douglas et le pin maritime, ce sont même 85% des peuplements qui

Stocks de carbone dans les forêts françaises en 2012



Séquestration de carbone dans les forêts entre 2012 et 2015



ont moins de 60 ans (*IGN, 2018*). Ces âges sont faibles par rapport au cycle de vie potentiel des arbres.

En effet, après une phase de régénération d'une dizaine d'années en moyenne, pendant laquelle la séquestration de carbone est faible, la forêt entre dans une phase de développement à forte séquestration (avec un stock faible), atteint ensuite la maturité avec une séquestration de carbone qui reste positive pendant plusieurs décennies, voir siècles (*Figure 1, Anderson-Teixeira (2021)*).

Le temps nécessaire pour atteindre une séquestration nulle, c'est-à-dire une saturation du puits lors de laquelle la croissance dans les arbres jeunes est compensée par la mortalité des arbres les plus vieux sert d'argument à la réduction

du terme d'exploitation. **Pourtant, dans les conditions actuelles, la saturation du stockage de carbone dans les forêts tempérées n'est que rarement observée.**

En effet, les recommandations actuelles de sylviculture sont basées sur la maximisation de l'accroissement moyen, une vision centrée sur les flux, alors même que les stocks sont eux encore loin de leur maximum. Dans le cas des forêts françaises, une grande partie des peuplements a été plantée après-guerre grâce au Fonds forestier national et une autre a résulté de la déprise agricole dans les décennies qui ont suivi. **Ces peuplements sont donc encore jeunes ou proches de la maturité mais sont encore loin d'avoir atteint la saturation de leur stock de carbone.**

Figure 1 - Dynamique de stock de carbone dans les écosystèmes forestiers

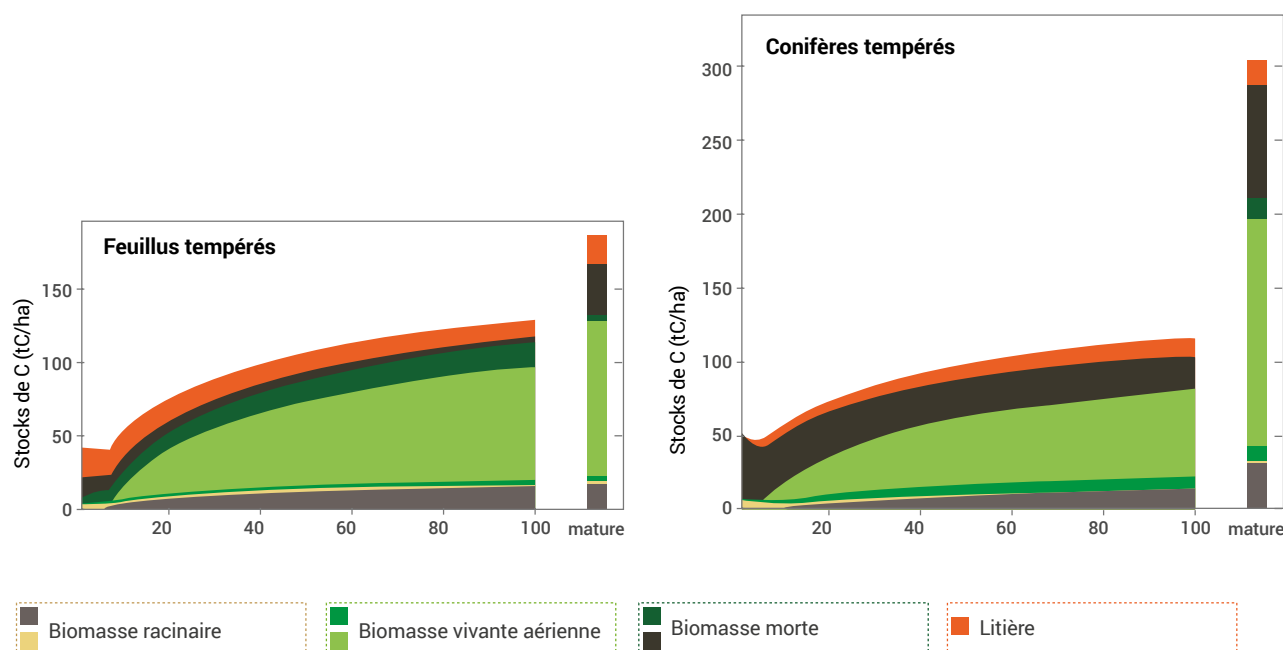


Figure 1 - (extrait de Anderson-Teixeira (2021)) - Dynamique du stock de carbone dans les écosystèmes forestiers tempérés en fonction des compartiments de carbone. À 100 ans les écosystèmes tempérés n'ont séquestré qu'une fraction de leur stock maximal de carbone.



Coupe de récolte définitive dans une plantation de douglas. Malgré une séquestration encore efficace au-delà de 80 ans les pratiques sylvicoles favorisent une coupe entre 40 et 60 ans.

LA SOLUTION

Le stock de C en forêt est vulnérable au changement climatique et la fonction d'atténuation du changement climatique ne pourra être maintenue que si les forêts s'adaptent à leurs nouvelles conditions de croissance. Les impacts des sécheresses, des insectes xylophages ou des tempêtes qui s'influencent d'ailleurs les uns les autres, augmentant la vulnérabilité des peuplements sont d'ores et déjà visibles dans certaines régions. L'adaptation progressive des peuplements au changement climatique est donc nécessaire, à la fois en adoptant une gestion souple, capable de réagir aux conditions sanitaires des peuplements, et en prenant en compte les projections de climat futur dans les décisions ayant des conséquences à long terme. Le choix de combiner plusieurs essences, et de réaliser une gestion en couvert continu permet par exemple d'augmenter la complexité des peuplements et ainsi leur résilience face aux événements extrêmes (Messier et al., 2019).

1.2 Stockage de carbone dans les produits bois : Les produits bois à longue durée de vie retiennent du carbone hors de l'atmosphère au prix d'émissions de carbone biogénique lors de leur production

LES BASES

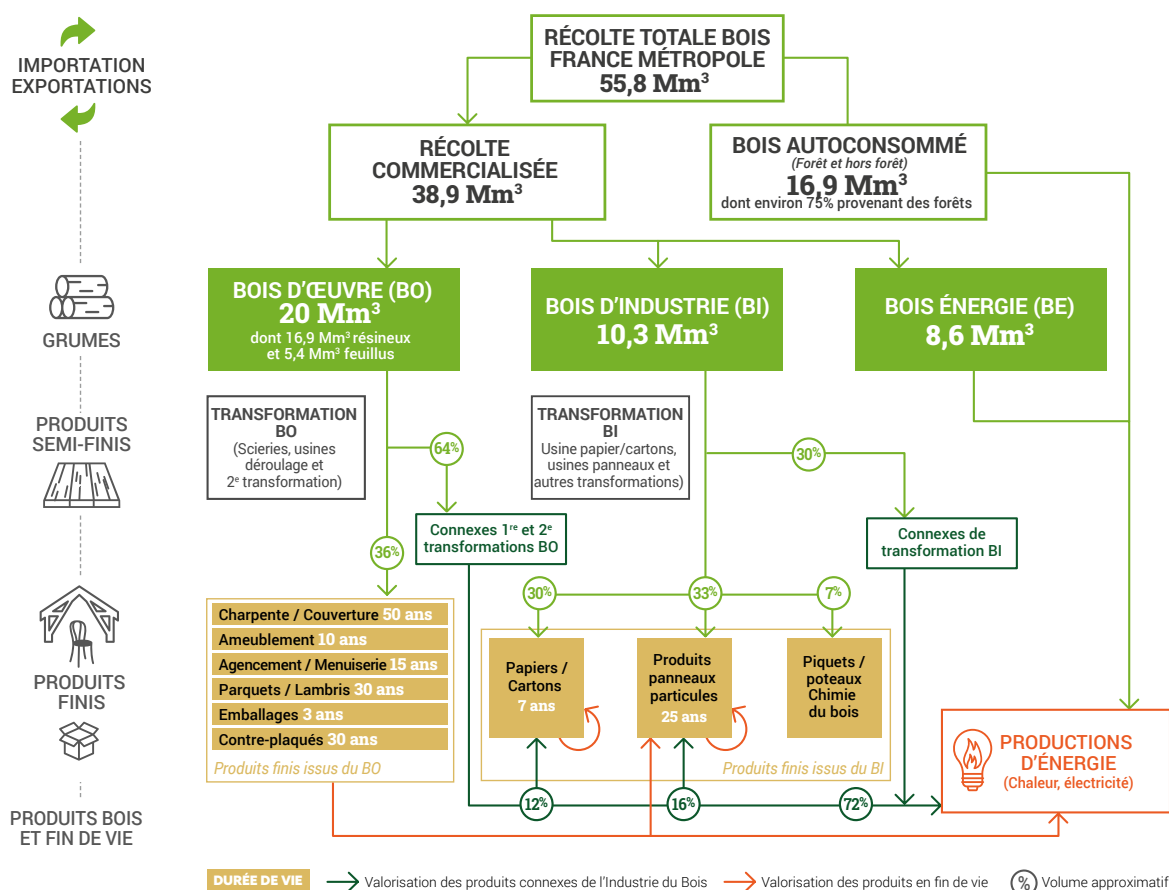
Les produits bois stockent le carbone pendant leur durée de vie, qui dépend de leurs usages. En France, on estime ainsi que des éléments de structure dans la construction ont une durée de vie de 75 ans contre 40 ans pour des parquets et bardages. Les meubles auraient une durée de vie comprise entre 5 ans pour des meubles extérieurs et 25 ans pour

des meubles de cuisine. Pour les emballages, la durée de vie est comprise entre 1 mois pour des emballages légers et 8 ans pour la tonnellerie. Pour l'énergie, les durées sont estimées entre 1 mois et 2 ans (Deroubaix et al., 2008). En fin de vie, les produits bois deviennent des déchets qui peuvent être valorisés en tant que matière après recyclage ou broyage pour s'intégrer à des panneaux, ou en tant qu'énergie par combustion pour les produits en bois brut non souillé. Environ 21% des bois en fin de vie sont éliminés par enfouissement. En fin de compte, incinération et combustion conduisent au retour du carbone biogénique dans l'atmosphère sous forme de CO₂, ou de méthane si les produits sont enfouis.

LE PROBLÈME

Lors de la récolte, les rémanents de coupe que sont les branches, feuillages et menus bois laissés au sol peuvent représenter de 20 à 50% du volume total de bois coupé. Sous l'action microbienne, cette matière organique est décomposée à l'horizon de quelques années et le carbone qu'elle contenait est pour partie émis dans l'atmosphère et pour partie minéralisé et stocké dans le sol selon une répartition encore mal connue qui dépend fortement des conditions climatiques et des usages antérieurs des sols. Ces flux de carbone biogénique en forêt, directement liés aux opérations sylvicoles, ne sont généralement pas comptabilisés dans l'évaluation de l'empreinte carbone des produits bois.

Figure 1 - Dynamique de stock de carbone dans les écosystèmes forestiers





La mise en œuvre de produits en bois à longue durée de vie entraîne aussi l'émission immédiate ou à brève échéance (<10 ans) d'une grande quantité de CO₂.

“

Pour chaque tonne de CO₂ stockée dans 1m³ de bois pendant plus de 10 ans, la filière aura émis entre 5,2 et 7,8t CO₂.

”

Les première et deuxième transformations des grumes génèrent également des résidus, ou connexes de scierie. Ces derniers peuvent être utilisés pour des usages papier ou énergie, donc avec une durée de vie courte et retournent rapidement à l'atmosphère.

Pour le chêne, le rendement de scierie est ainsi de 41 à 45%, ce qui signifie que 2,2 à 2,5 m³ de grumes sont nécessaires pour produire 1m³ de sciage (FCBA, 2020).

Ainsi, sur les 55,8Mm³ de la récolte de bois annuelle en France métropolitaine, pour lesquels entre 22 et 55Mm³ de résidus sont générés en forêt (Valade et al, 2017), environ 12,6Mm³ seulement peuvent espérer avoir une durée de vie supérieure à 10 ans : 36% des 20Mm³ destinées au BO, 16% de leurs connexes de scierie, et 33% du bois à destination BI. Autrement dit, pour chaque tonne de CO₂ stockée dans 1m³ de bois pendant plus de 10 ans, la filière aura émis entre 5,2 et 7,8t CO₂.

LA SOLUTION

Améliorer le levier du stockage de carbone dans la filière bois passe par l'augmentation de la part des bois destinés à des produits à longue durée de vie. **Les filières énergie, sciage et panneaux sont ainsi en compétition pour les bois de petite dimension et faible qualité.** Le chêne vert destiné en France uniquement à une utilisation énergétique pourrait être utilisé pour des usages matériaux : par exemple des parquets massifs, comme c'est déjà le cas dans d'autres pays méditerranéens (Roda et al., 2005). Les technologies de lamellisation et d'aboutage permettent de valoriser des bois de petites dimensions vers des usages structurels à longue durée de vie. L'utilisation des déchets bois pour la fabrication de panneaux permet également d'augmenter la durée de stockage du carbone. En 2015, la France était le premier exportateur européen de déchets bois avec 441kt exportés vers les producteurs de panneaux belges et italiens, soit 5% de la production nationale de connexes de scierie (Hill, 2017).

1.3 Substitution : comparer les émissions fossiles de scénarios alternatifs



LES BASES

L'impact carbone des produits bois dépend du stockage de carbone biogénique qu'ils permettent pendant leur durée de vie mais aussi des émissions de carbone fossile lors des opérations de récolte et transformation. Des analyses de cycle de vie (ACV) comptabilisent selon des méthodes standardisées les émissions de carbone fossile lors des différentes étapes du cycle de vie des produits. Les ACV s'appuient pour cela sur des bases de données internationales comprenant des coefficients d'émissions pour chaque opération en fonction de paramètres donnés, par exemple la distance de transport ou le type de technologie. Dans le contexte du changement climatique et de la recherche d'une réduction des émissions des gaz à effet de serre, le concept de substitution a été développé pour comparer les émissions de carbone fossile de différents scénarios de production d'un même produit ou service. La substitution n'est donc pas un flux physique mais une différence hypothétique entre les émissions fossiles de deux scénarios, l'un basé sur l'utilisation de bois et l'autre plus consommateur d'énergie fossile. Les coefficients de substitution ont émergé pour simplifier l'application de ce concept et éviter de faire des ACV détaillées pour chaque étude. Les coefficients de substitution sont calculés à partir d'ACV détaillées qui sont ensuite normalisées par la différence de quantité de bois utilisée dans les deux scénarios.



LE PROBLÈME

Les coefficients de substitution sont simples à comprendre et à utiliser, ce qui a rapidement popularisé leur utilisation

jusqu'à oublier leur base conceptuelle et à les considérer comme des qualités intrinsèques du bois au lieu de mode de comparaison entre deux scénarios. Cette erreur répandue et ses implications sont détaillées dans la section suivante.



LA SOLUTION

Augmenter le potentiel de substitution du bois revient à positionner les produits bois en remplacement des produits de référence les plus émetteurs ou pour lesquels la différence d'émissions entre le bois et sa référence est la plus grande. Pour une utilisation énergie du bois, l'énergie de la biomasse étant peu efficace face aux énergies fossiles, il s'agit par exemple de valoriser de la biomasse qui, dans un scénario de référence, aurait été brûlée sans récupération d'énergie. Pour une utilisation matériaux, utiliser du bois par exemple pour le remplacement de fenêtres aluminium permet d'éviter plus d'émissions que le remplacement de fenêtres PVC dont l'empreinte carbone est moins grande.

1.4 Le bilan carbone des produits bois

Les leviers qui influencent le bilan carbone des produits bois (séquestration, stockage et substitution) sont liés les uns aux autres et sont parfois en opposition, par exemple quand l'augmentation de la récolte augmente le stockage dans les produits mais réduit la séquestration en forêt, parfois en synergie, par exemple en utilisant du bois matériau au lieu de l'énergie, ce qui augmente à la fois le stockage et la substitution.

Les liens étroits entre ces processus discréditent toute utilisation de l'un d'eux en isolement des autres. Le fort intérêt politique pour le développement du bois énergie découle pourtant de



Bruler du bois n'est pas neutre en carbone. En Angleterre, la reconversion de la centrale à charbon de Drax en centrale à biomasse à entraîner l'importation d'une quantité massive de bois, notamment issus de coupes rases aux États-Unis.

l'omission de la séquestration en forêt avec l'utilisation pendant des années de l'hypothèse de neutralité carbone du bois. Selon cette hypothèse en effet, dans le cadre d'une gestion durable des forêts, les émissions de décomposition et de combustion du bois ne contribueraient pas au réchauffement climatique, puisqu'elles seront compensées lors de la repousse des arbres. Le carbone biogénique serait donc « invisible » pour l'atmosphère ce qui revient à restreindre le bilan carbone du bois à la substitution des émissions fossiles seule, ouvrant la voie à une vision partielle et erronée. L'hypothèse de neutralité carbone revient donc à ignorer les émissions de carbone biogénique des rémanents de récolte et des connexes de scierie (*fig. (4) et (2)*) la dynamique de séquestration des émissions. Ces postulats ont pourtant largement été invalidés (*Johnson, 2009; Zanchi et al., 2012*). D'abord, dans le contexte d'une augmentation pérenne des prélèvements, le stock moyen dans la forêt est plus faible avec un niveau de prélèvement plus important (*Holtmark, 2012*). Ensuite, en plus de la réduction du stock, pendant plusieurs décennies, le flux de sé-

questration en forêt est diminué par rapport au scénario de non-récolte, ce qu'on appelle la dette carbone. Cette dette est remboursée au fil des décennies, quand la séquestration s'accélère dans les peuplements jeunes, alors qu'elle aurait diminué dans des peuplements non récoltés. **Le temps nécessaire pour compenser la perte de séquestration des premières années post-récolte dépend de nombreux facteurs et hypothèses de calcul mais une méta-analyse a trouvé une moyenne de 136 ans (*Bentsen, 2017*)**. Ce chiffre est plus faible pour les études considérant la récolte dans des plantations forestières plutôt que des forêts naturelles et l'utilisation de résidus de récolte plutôt que de bois rond. Du point de vue du climat, cette dynamique n'est pas sans effet, en raison de la complexité des systèmes biologiques et physiques affectés. En effet, **pour une quantité égale d'émissions nettes de CO₂, un scénario dans lequel les émissions sont ponctuellement plus grandes, même si elles sont absorbées ultérieurement, déstabilise d'avantage le système climatique, une asymétrie appelée hystérésis (*Jeltsch-Thömmes et***

al., 2020). Autrement dit, le carbone émis a des effets sur la température de surface, le contenu en chaleur des océans, la désoxygénation des océans et leur acidification, qui ne sont que partiellement

annulés lorsque le carbone est extrait de l'atmosphère. L'hystérésis est d'autant plus importante que les systèmes naturels approchent des points de bascule.

Figure 4 - Bilan carbone statique

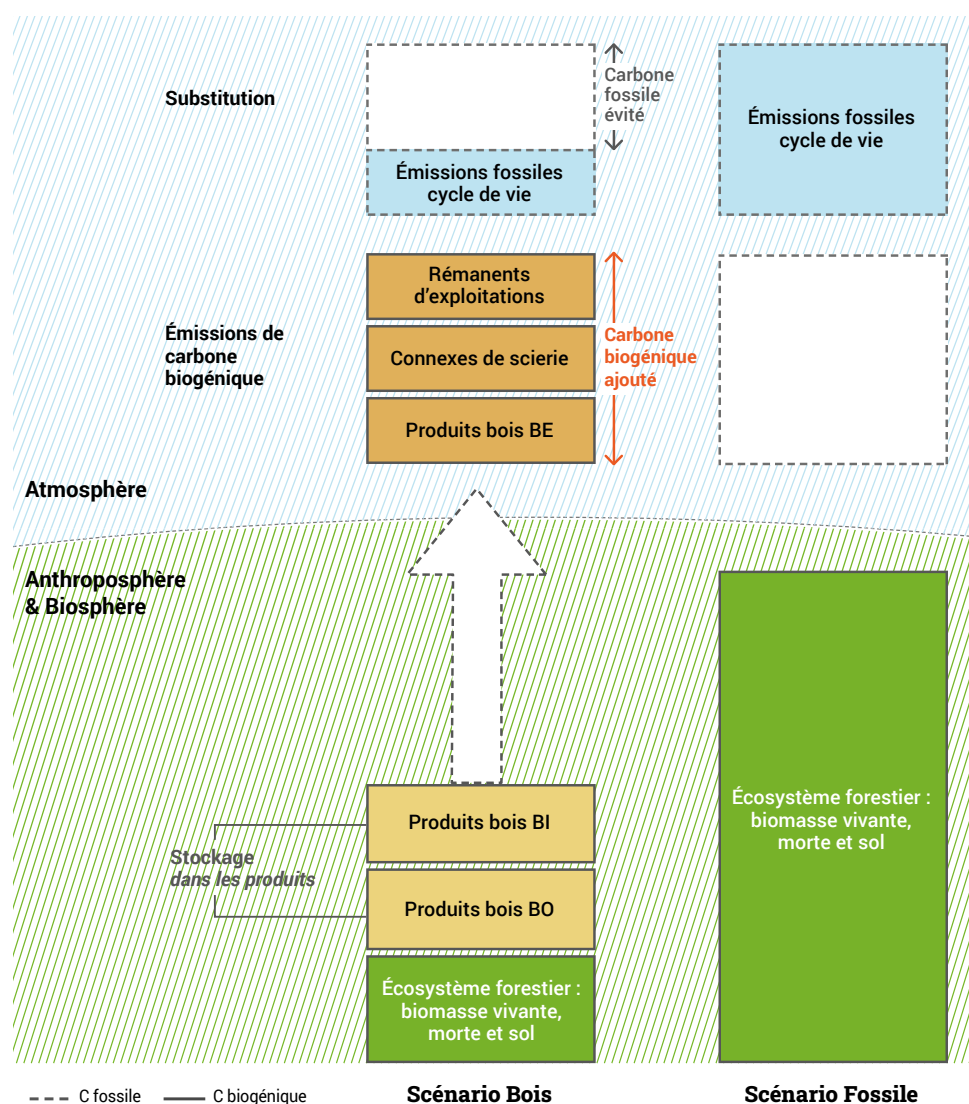


Figure 4 - Bilan carbone statique évalué à court terme de deux scénarios fournissant un service ou produit équivalent, l'un à base de bois, l'autre à base d'énergie fossile. La récolte de bois diminue le stock de carbone en forêt et le rythme de séquestration dans l'écosystème à court terme par rapport à un scénario sans récolte. Une partie du bois récolté reste stocké dans les produits à durée de vie moyenne et longue, tout en donnant lieu à des émissions de carbone biogénique lors de la récolte avec les rémanents de récolte, lors de la transformation avec les connexes de scierie et lors de son utilisation pour le bois énergie. Les émissions fossiles résultant de ces opérations est inférieure aux émissions fossiles nécessaires pour la production d'un produit ou service équivalent, c'est ce qui est compté dans le potentiel de substitution. Les émissions évitées par la substitution ne compensent les émissions biogéniques ajoutées et la dette de séquestration qu'au bout de plusieurs décennies en fonction du type de forêt et de l'usage qui est fait du bois.

1.5 Bilan carbone du bois et réglementation

La substitution est un flux comptable, hypothétique, relatif à un scénario donc assorti de fortes incertitudes et subjectivités. Pourtant, **la grande majorité des incitations financières et fiscales climatiques européennes et françaises visent le levier de la substitution énergétique aux dépens du stockage** (*Baron et al., 2013*).

Le financement européen de projets par le fonds pour l'innovation met ainsi l'accent sur le potentiel de substitution. Les projets sélectionnés doivent estimer les émissions évitées par le développement de leur technologie dans une approche qui se veut systémique et où l'additionnalité des réductions d'émissions est un critère majeur du financement. Le label bas carbone (*voir encadré 1*) permet aux projets labélisés d'inclure une estimation de la substitution mais prend en compte son incertitude par un rabais de 10% des réductions d'émissions calculées.

La stratégie nationale bas carbone française (SNBC) prône également la maximisation de la substitution et du stockage de carbone dans les produits bois en misant sur une récolte accrue de biomasse forestière (+12Mm³ de récolte annuelle

d'ici 2026 puis +0.8Mm³ par an). Les compromis entre usages sous-jacents à cette stratégie apparaissent cependant clairement dans le détail des scénarios : la diminution du puits de carbone dans les forêts engendrée par une telle augmentation de récolte n'est pas compensée par l'augmentation de stockage dans les produits, les émissions de carbone augmentent donc. De plus, la fragilité des scénarios de la SNBC apparaît dans leur construction même et dans leur confrontation aux données de production. D'abord les scénarii ne sont pas parvenus à équilibrer ressources et besoins en biomasse. Les hypothèses de la SNBC aboutissent en effet à un décalage entre le potentiel de production de biomasse de 430TWh prévu en 2050 et la consommation attendue de 460TWh (MTES, 2020).

Ensuite, **alors que les objectifs de la SNBC pour le secteur bois mettent en avant l'utilisation de bois pour les produits aux plus longues durées de vie et l'utilisation en cascade, on observe que l'augmentation de la récolte est principalement destinée à des usages énergétiques, la production de sciages étant proche du minimum historique de 2015** (*Agreste, 2020*). Au final, le volet forestier de la SNBC n'est finalement pas conçu pour maximiser le potentiel d'atténuation du secteur.



Une coupe rase de feuillus dans les Landes pour faire place à une monoculture de résineux. Une pratique encouragée par la demande en bois énergie puisque la totalité du bois issu de cette coupe est destinée à ce marché. Crédit photo : Sylvain Angerand

ENCADRÉ 1

Pourquoi l'indicateur du secteur Forêt-Bois-Biomasse de la Stratégie Nationale Bas Carbone survalorise la substitution au détriment des autres composantes du bilan carbone de la filière forêt-bois ?

La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) est la feuille de route de la France pour lutter contre le changement climatique. Elle définit une trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 2050 et fixe des objectifs à court-moyen terme pour l'ensemble des secteurs d'activités, dont la filière forêt-bois.

L'esprit de la SNBC semble aligné avec une vision complète du bilan carbone en considérant les compromis entre séquestration, stockage et substitution. Pourtant, l'indicateur de résultat du secteur forêt-bois-biomasse est déséquilibré par un calcul erroné du potentiel de substitution.

1- Le scénario de référence de la SNBC sur lequel est basé l'indicateur du secteur forêt-bois-biomasse est incomplet. Il est en effet calculé comme la somme des flux physiques de séquestration de biomasse en forêt du seul scénario SNBC avec la différence de flux fossiles entre ce scénario et un scénario de référence hors-SNBC. En omettant la séquestration en forêt dans le scénario de référence, les pertes de carbone biogénique dues à l'augmentation de la récolte sont écartées.

2- Le calcul de substitution est appliqué à l'ensemble de la récolte de bois français alors que la SNBC devrait être évaluée sur les émissions évitées par l'augmentation de la récolte qu'elle a déclenchée. La récolte et les usages de bois présents dans les deux scénarios, donc pré-existants à la SNBC ne correspondent pas à un évitement d'émissions d'un scénario à l'autre.

3- De plus, les coefficients de substitution utilisés ($1,6\text{tCO}_2/\text{m}^3$ pour le bois matériaux et $0,5\text{tCO}_2/\text{m}^3$ pour le bois énergie) sont peu fiables dans le contexte français. En effet, le coefficient de substitution matériaux provient d'une moyenne des coefficients de substitution calculés dans des contextes américain, suisse, suédois et finlandais principalement, toutes réalisées avec des périmètres de calcul différents dont la moyenne est donc peu informative (Roux et al., 2017; Sathre and O'Connor, 2010).

Ces écueils conduisent à survaloriser la substitution carbone au détriment, notamment, du stockage de carbone en forêt dans l'indicateur Forêt-Bois-Biomasse de la SNBC. La conséquence est que la conclusion de la SNBC présentant l'augmentation de la récolte de bois en forêt comme la stratégie la plus efficace pour optimiser l'apport de la filière forêt-bois dans l'atténuation aux changements climatiques est biaisée.

2. LA SUBSTITUTION, UN OUTIL À MANIERER AVEC PRÉCAUTION

L'intérêt du concept de substitution réside dans sa capacité à comparer l'utilisation de ressources alternatives pour la fourniture d'un même service ou produit. En évaluant si un des scénarios conduit à des émissions moindres, le but est d'informer la société pour maximiser la réduction des émissions de gaz à effet de serre. La substitution est donc un flux présumé et invérifiable, puisque découlant d'un scénario de référence subjectif qui par nature ne doit jamais se réaliser. **Plusieurs questions doivent se poser quand l'argument de la substitution est utilisé.**

2.1 Le carbone biogénique est-il pris en compte dans les deux scénarios ?



LE PROBLÈME

La simplicité apparente des coefficients de substitution fournissant une valeur d'émissions évitées pour chaque m³ de bois récolté donne l'illusion que la substitution est une caractéristique intrinsèque de chaque m³ de bois récolté, en oubliant l'ancrage dans un scénario de référence et la limitation aux émissions fossiles. Cette illusion ouvre la voie à une erreur répandue qui est celle d'additionner le potentiel de substitution – donc la différence d'émissions fossiles entre deux scénarios – à la seule séquestration du scénario bois (cf. figure 4, encadrés 1 et 2). Cette erreur revient à ne comptabiliser que les « gains » carbone du scénario bois et pas ses « pertes » via la diminution du stock de carbone biogénique et donc à

une bonification erronée du bilan carbone du scénario bois.



LA SOLUTION

Les conséquences en termes de décision publique sont importantes car la prise en compte des émissions biogéniques des 2 scénarios peut inverser le signe du bilan carbone d'un changement de pratique, le faire passer d'un facteur de réduction des émissions à un facteur d'augmentation, au moins à moyen terme. Seule une comparaison incluant les flux de carbone biogénique et fossile dans les deux scénarios, bois et de référence, permet donc d'évaluer si, et à quelle échéance, la perte de séquestration en forêt liée aux prélèvements additionnels dans le scénario bois est compensée par une diminution des émissions fossiles.

2.2 Quelle cohérence entre le calcul des coefficients de substitution et leur application ?



LE PROBLÈME

Le calcul des coefficients de substitution est fortement dépendant de leur cadre de calcul en raison de l'ancrage de la substitution dans les hypothèses de deux scénarios, l'un avec une récolte accrue de bois. La limite des systèmes considérés dans les deux scénarios, la prise en compte de la fin de vie des produits ou non, le type de matériau ou énergie

remplacés, la technologie de transformation utilisée dans chacun des scénarios, l'horizon temporel pour lequel le calcul est réalisé, ont chacun un poids crucial dans l'estimation finale des coefficients de substitution. La diversité de ces hypothèses se reflète d'ailleurs dans la variabilité des coefficients de substitution disponibles dans la littérature. Pourtant, les coefficients de substitution sont souvent moyennés et appliqués à des quantités de bois sans vérifier l'adéquation des conditions de calcul aux conditions d'application, comme c'est le cas dans le cadre de la SNBC, qui applique la moyenne de coefficients calculés pour différents produits dans différents pays au total de la récolte de la filière bois française. Par exemple, des coefficients de substitution basés sur le remplacement de centrales à charbon par des centrales à biomasse ne peuvent pas être appliqués à du bois se positionnant en remplacement d'énergie nucléaire. Plus subtilement, des coefficients de substitution calculés pour les paramètres de la production des unités marginales de produit ou de service ne sont pas valides pour la production moyenne, qui n'utilise en général pas les mêmes technologies pour des organisations de chaîne de production ou de stockage.

LA SOLUTION

Reconnaître le poids des hypothèses dans le calcul des coefficients de substitutions implique une grande vigilance sur le choix des coefficients et sur la compréhension des deux scénarios qui définissent la substitution. Dans ce cadre, la variabilité des coefficients n'est plus une incertitude à réduire mais une spécificité à maîtriser pour utiliser les coefficients à bon escient selon les conditions d'application.

2.3 La substitution est-elle additionnelle ? Y a-t-il réellement un évitement d'émissions ?

LE PROBLÈME

Une utilisation simpliste de la substitution consiste à appliquer des coefficients de substitution à toute utilisation de produits bois, sous-entendant ainsi que tout produit bois évite les émissions liées à la production de son équivalent fonctionnel, quelle que soit la crédibilité de ce scénario. Pourtant, pour de nombreuses utilisations du bois, les alternatives sont peu réalistes pour des raisons de technologie ou de coût, ou pour des raisons culturelles ou esthétiques. Par exemple, la charpente d'une maison individuelle est toujours réalisée en bois pour des raisons de coût et de meilleure résistance au feu que l'acier. Certains ménages n'envisagent par exemple pas d'acquérir des meubles qui ne soient en bois. D'autres ont toujours utilisé du chauffage au bois par plaisir du feu dans le foyer. Ces usages de bois ne se substituent donc pas à leurs produits concurrents.

LA SOLUTION

L'additionnalité, un critère commun à toutes les politiques publiques s'assure que les actions valorisées n'auraient pas eu lieu sous le scénario de référence. Comme dans tout contexte d'élaboration de politiques, la substitution devant guider vers l'alternative la plus bénéfique au climat, seules les actions remplissant le critère d'additionnalité est judicieuse et devrait être gratifiée. Malgré sa complexité et sa difficulté de vérification, ce critère est essentiel pour la crédibilité des réductions d'émissions annoncées.



Utiliser du bois plutôt qu'un autre matériau pour construire des résidences secondaires ou faire voler un avion avec des biocarburants à base de bois : peut-on parler d'effet de substitution sans questionner l'utilité ou l'usage ?

2.4 Le scénario de référence est-il crédible ?



LE PROBLÈME

La substitution carbone dans la filière bois repose sur la comparaison de 2 scénarios construits de manière subjective, l'un basé sur le bois, l'autre aujourd'hui quasi-unaniment basé sur des énergies fossiles ou nucléaire qui représentent les sources d'énergie dominantes en France. Il serait pourtant pertinent de considérer, à l'horizon des 20-30 prochaines années, des évolutions fortes des scénarii de référence.

Cette restriction des scénarios envisagés est renforcée par l'utilisation généralisée de coefficients de substitution génériques. Par exemple, il serait utile de comparer la production de chaleur à partir de bois aux énergies photovoltaïques ou éoliennes et non seulement aux centrales à fioul ou charbon, ou d'estimer les émissions évi-

tées par la construction d'habitats partagés plutôt qu'individuels et non seulement construction bois versus béton.



LA SOLUTION

A l'heure de l'action climatique, la crédibilité de la substitution repose sur sa capacité à comparer le bois à d'autres scénarios peu émetteurs crédibles et non pas seulement aux scénarios fossiles. En ouvrant l'horizon des possibles, de tels scénarios permettent d'envisager d'avantage de réduction d'émissions de CO₂ à l'échelle de la société, puisque les énergies photovoltaïques et éoliennes par exemple sont moins émettrices de carbone que le bois (Turconi et al., 2013). Chacune de ces alternatives a par ailleurs des impacts autres que leurs émissions de carbone qui sont aujourd'hui hors du périmètre du concept de substitution mais devraient également être comparés, comme la préservation de la biodiversité, le filtrage de l'eau souterraine, l'épuisement des métaux et minéraux. De plus, des scénarios

rios proposant des modifications au sein même de la filière bois lui permettraient d'améliorer encore son empreinte environnementale et d'alimenter la décision publique sur la transition écologique.

2.5 L'horizon temporel permet-il de maintenir la crédibilité des scénarios ?

LE PROBLÈME

Un coefficient de substitution n'est pas statique, il évolue dans le temps. La dynamique des systèmes biologiques et anthropiques (Fig. 6) apporte de larges incertitudes aux deux scénarios sous-tendant la substitution, ce qui limite la crédibilité des estimations à des horizons temporels longs. Cette dynamique porte d'abord sur les innovations technologiques. Par

exemple, la différence d'émissions carbone entre les filières construction bois et béton est amenée à se réduire dans le futur avec la réglementation climat et les investissements des deux filières pour améliorer leur empreinte environnementale. Dans ce cas, **appliquer les coefficients de substitution calculés dans les contextes technico-économiques actuels pour évaluer les émissions évitées à un horizon de 20 ans surestime – du moins il faut l'espérer pour l'avenir de la planète – les bénéfices climatiques de l'usage du bois.**

En plus de la dynamique propre de chaque système, les politiques climatiques ont des effets secondaires qui rétroagissent sur les conditions socio-économiques et peuvent modifier les réductions d'émission prévues. Par exemple, les effets de rebond ont été largement étudiés dans le cadre de l'efficacité énergétique. **En diminuant le coût de production d'un bien et en le rendant plus compétitif, une politique peut conduire à une surconsommation du bien au lieu d'une substitution simple et finalement à une augmentation des émissions.**

Figure 6- Les effets de rebond

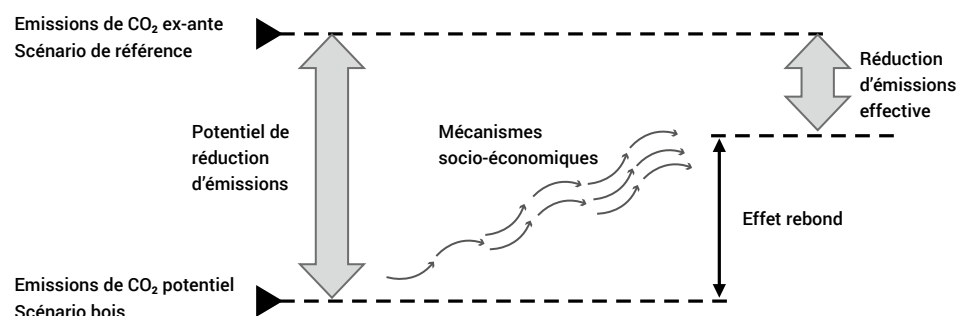


Figure 6 : adaptée de Lange et al. (2021). Les effets de rebond réduisent la substitution potentielle par des mécanismes socio-économiques liés au fonctionnement des marchés et au comportement des ménages.

LA SOLUTION

Le risque d'effet rebond est fort dans le cadre de l'utilisation accrue de bois. Par exemple, une baisse du budget des ménages dédié au chauffage suite à une transition à une chaudière à biomasse peut être compensée par une expansion

de la durée journalière de chauffage ou de la zone de la maison chauffée. Des analyses de sensibilité avec une prise en compte plus ou moins forte de l'effet rebond permettraient une estimation plus réaliste des réductions d'émissions effectives à attendre.

ENCADRÉ 2

Du mauvaise usage de la substitution par la filière bois

Le concept de substitution utilisé de manière erronée peut parfois donner une image verdie de la filière bois. On a ainsi pu lire que « si tous les produits bois étaient remplacés par leurs équivalents les plus courants, alors les émissions de gaz à effet de serre s'accroîtraient de près de 30 millions de tonnes de CO₂eq par an » (*rapport EFESE*). Cette affirmation est simpliste et trompeuse pour deux raisons principales : l'invalidité des coefficients appliqués aux scénarios utilisés, et l'omission de la prise en compte du carbone biogénique.

Tout d'abord, cette affirmation repose sur la multiplication de la récolte totale française par des coefficients de substitution. Cela revient donc à comparer la société actuelle avec un scénario dans lequel la filière forêt-bois n'existerait pas, aucune ressource bois n'y serait utilisée. Ce scénario peut bien sûr être envisagé mais requiert de faire des hypothèses sur ses implications industrielles, sociales et économiques. Par exemple l'économie française qui en résulterait permettrait-elle de maintenir la demande actuelle en produits de consommation ? Si aucun investissement n'avait été fait dans la filière bois depuis des siècles, les autres filières seraient-elles moins émettrices ? D'autres filières auraient-elles émergé ? Les coefficients de substitution couramment utilisés sont calculés sous les hypothèses fortes du contexte technico-socio-économique actuel. Appliquer ces coefficients de substitution à un scénario aussi éloigné des conditions actuelles est donc invalide.

De plus, cette ligne de raisonnement ne présente que la partie fossile du bilan carbone forestier en omettant le devenir des forêts non utilisées dans le scénario alternatif. Or, un scénario dans lequel le bois français n'est plus exploité sous-entend que les forêts françaises sont laissées en libre évolution et atteignent donc leur capacité de stockage maximale, très largement supérieure à celle des forêts gérées.

ENCADRÉ 3

La substitution dans le label bas carbone : une méthodologie qui va dans le bon sens mais reste perfectible

Le label bas carbone a été adopté en 2018 par le Ministère chargé de l'Environnement pour donner un cadre réglementaire aux projets de paiements pour services écosystémiques. Grâce à ce label, des propriétaires forestiers peuvent vendre des crédits carbone générés par des projets d'utilisation de leurs terres présentant une plus value environnementale. L'intérêt de ce mécanisme est d'offrir un cadre permettant à différents acteurs de contribuer à un effort collectif vers la neutralité carbone, avec cependant un risque souvent mis en avant de détournement du mécanisme pour éviter de réduire des émissions ou afficher une prétendue neutralité carbone à l'échelle de l'entreprise (ADEME, 2021^[1])

En ce qui concerne la méthodologie du label bas carbone, elle vise une approche systémique des projets forestiers. Pour cela, un indice de prise en compte des co-bénéfices pour les sols, la biodiversité, l'eau et l'économie du territoire sont inclus et indiqués aux potentiels acheteurs, et les émissions de carbone comptabilisées couvrent le puits forestier in-situ, les produits bois et les émissions fossiles via des coefficients de substitution.

Après 3 ans d'existence, 145 projets ont obtenu le label bas carbone, dont 64 sont partiellement ou entièrement financés. En février, un rapport de WWF faisait le point sur les caractéristiques des projets forestiers porteurs du label bas carbone (*Ollivier and Vallauri, 2021; alors 76 projets labélisés*) et trouvait que 77% des projets de boisement et 64% des projets de reboisement comptabilisent des émissions évitées dans leur bilan carbone. Ces émissions évitées comptaient en moyenne pour 21 à 25% des réductions d'émissions vendues, certains projets allant jusqu'à 68% de réduction d'émission due à l'effet de substitution.

Le label bas carbone utilise des coefficients de substitution moyens et est donc sujet aux mêmes limites que décrites précédemment concernant le périmètre, l'horizon temporel et les risques de rebond et de non additionnalité. Cependant le LBC prend des précautions pour répondre à certains de ces écueils. D'abord le puits forestier est pris en compte dans les deux scénarios par des équations de croissance ou un facteur linéaire dans le cas d'un reboisement et la substitution est calculée seulement sur la récolte additionnelle entre les deux scénarios. Ensuite le coefficient de substitution énergie est supposé de 0,5tCO₂/m³ aujourd'hui avec une diminution jusqu'à 0tCO₂/m³ en 2050 dans une économie totalement décarbonée soit une valeur moyenne de 0,25tCO₂/m³ retenue à l'horizon de 30 ans. De plus, seuls les produits bois issus des prélèvements durant les 30 ans du projet peuvent être comptabilisés soit, dans la plupart des boisements. En revanche, pour le bois utilisé comme bois d'œuvre et bois d'industrie, des coefficients de substitution types sont utilisés, constants à un horizon de 30 ans avec des valeurs non spécifiques du contexte français et dont il est difficile de vérifier leur adéquation aux usages réels.

¹ Comme l'explique l'ADEME dans son avis sur la neutralité carbone : « Individuellement ou à leur échelle, les acteurs économiques, collectivités et citoyens qui s'engagent pour la neutralité carbone, ne sont, ni ne peuvent devenir, ou se revendiquer, neutres en carbone, ce qui n'a pas de sens à leur échelle. En revanche, ils peuvent valoriser leur contribution à cet objectif mondial via leurs actions respectives »

CONCLUSION

L'approche largement répandue des « 3S » pose sur le même plan des concepts très différents. D'un côté, des processus biologiques et physiques dictent la séquestration, le stockage de carbone en forêt et dans les produits et les émissions de carbone fossile lors des opérations de sylviculture et de transformation. Ces flux composant le bilan carbone des produits bois, leur sont endogènes, ne dépendant que de l'origine de ces produits et de leurs caractéristiques. Ce sont les flux perçus par l'atmosphère. De l'autre côté, la substitution est un outil d'aide à la décision pour comparer des alternatives intersectorielles et appuyer la décision publique.

Le concept de substitution fait appel à l'élaboration d'un scénario de référence dans lequel un matériau ou une énergie non-bois serait remplacé par son équivalent bois. Malgré l'impression donnée par la généralisation des coefficients de substitution, ceux-ci ne sont donc pas intrinsèques au bois mais ancrés dans un complexe jeu d'hypothèses.

Les précautions à prendre sont donc nombreuses. Les deux scénarios, bois et non-bois doivent être évalués dans leur entièreté en incluant le devenir du puits forestier et pas seulement les émissions d'origine fossile. Si un coefficient de substitution est utilisé, il doit être appliqué dans un cadre d'hypothèses proche des conditions dans lequel il a été calculé. On doit également s'assurer que le bois qui est gratifié d'un potentiel de substitution remplace effectivement son équivalent. Le scénario de référence sur lequel s'appuie l'estimation doit être pertinent pour son cadre d'application et son horizon temporel, en cherchant toutes les alternatives crédibles. La substitution est un concept utile mais qui est parfois détourné de sa raison d'être par l'usage irraisonné des coefficients de substitution. La comparaison des émissions intersectorielles sous différents scénarios est essentielle pour répondre au défi du changement climatique mais elle doit être rigoureuse et exhaustive, à la fois en termes d'émissions fossiles et biogéniques et en termes de scénarios explorés.



Crédit photo : Sylvain Angerand



Références

- ADEME, 2021. Forêts et usages du bois dans l'atténuation du changement climatique (No. 010986), Expertises. ADEME.
- ADEME, 2021. La neutralité carbone. Avis. ADEME.
- Agreste, 2020. Graph'agri 2020 - Bois et sciages. agreste.
- Anderson-Teixeira, K.J., Herrmann, V., Morgan, R.B., Bond-Lamberty, B., Cook-Patton, S.C., Ferson, A.E., Muller-Landau, H.C., Wang, M.M.H., 2021. Carbon cycling in mature and regrowth forests globally. *Environ. Res. Lett.* 16, 053009.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abed01>
- Baron, F., Bellassen, V., Deheza, M., 2013. The contribution of European forest-related policies to climate change mitigation: energy substitution first. *Climate report* 44.
- Bentsen, N.S., 2017. Carbon debt and payback time—Lost in the forest? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73, 1211–1217.
- Deroubaix, G., Vial, E., Le Net, E., Thivolle Cazat, A., Bouvet, A., Malsot, J., Chenost, C., 2008. Carbon stored in wood products. Design of a stock variation quantifying methodology for wood products conformable with IPCC requirements and application to the year 2005 for a voluntary reporting in the framework of the United Nation Framework Convention on Climate Change-Carbostock study.
- FCBA, 2020. Memento 2020. FCBA.
- Hill, A., 2017. Developments in UK wood recycling. Presented at the Bois en fin de vie nouvel essor pour l'énergie !, Le Havre.
- Holtmark, B., 2012. Harvesting in boreal forests and the biofuel carbon debt. *Climatic Change* 112, 415–428.
- IFN, 2005. La forêt française : un puits de carbone? Son rôle dans la limitation des changements climatiques. L'IF n°7.
- IGN, 2021. Etat et évolution des forêts françaises métropolitaines. Indicateurs de gestion durable 2020. IGN.
- IGN, 2018. La forêt française - Etat des lieux et évolutions récentes - Panorama des résultats de l'inventaire forestier -Edition 2018. IGN.
- Jeltsch-Thömmes, A., Stocker, T.F., Joos, F., 2020. Hysteresis of the Earth system under positive and negative CO2 emissions. *Environ. Res. Lett.* 15, 124026.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc4af>
- Johnson, E., 2009. Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right. *Environmental Impact Assessment review* 29, 165–168.
- Lange, S., Kern, F., Peuckert, J., Santarius, T., 2021. The Jevons paradox unravelled: A multi-level typology of rebound effects and mechanisms. *Energy Research & Social Science* 74, 101982.
- Messier, C., Bauhus, J., Doyon, F., Maure, F., Sousa-Silva, R., Nolet, P., Mina, M., Aquilué, N., Fortin, M.-J., Puettmann, K., 2019. The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes. *Forest Ecosystems* 6, 1–16.

MTES, 2020. Stratégie nationale bas carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone. Ministère de la transition écologique et solidaire.

Ollivier, L., Vallauri, D., 2021. Les projets forestiers du label bas-carbone - Analyse factuelle et voies d'amélioration. WWF, Le Pré Saint Gervais.

Roda, J.-M., Gérard, J., Gorse, C., 2005. Faisabilité économique du parquet massif de Chêne vert.

Roux, A., Dhôte, J.-F., Achat, D., Bastick, C., Colin, A., Bailly, A., Bastien, J.-C., Berthelot, A., Bréda, N., Cauria, 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. INRA; IGN.

Sathre, R., O'Connor, J., 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy* 13, 104–114.

Turconi, R., Boldrin, A., Astrup, T., 2013. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28, 555–565. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.013>

Valade, A., Bellassen, V., Luyssaert, S., Vallet, P., Njakou Djomo, S., 2017. Bilan carbone de la ressource forestière française - Projections du puits de carbone de la filière forêt-bois française et incertitude sur ses déterminants. [Rapport de recherche] auto-saisine, pp.66. hal- 01629845

Zanchi, G., Pena, N., Bird, N., 2012. Is woody bioenergy carbon neutral? A comparative assessment of emissions from consumption of woody bioenergy and fossil fuel. *Gcb Bioenergy* 4, 761–772.

Contact

Sylvain Angerand

Coordinateur des campagnes

+33 7 51 69 78 81

sylvain.angerand@canopee-asso.org

Auteur : Aude Valade.

Relecture : Sylvain Angerand, Bruno Doucet,
Gaëtan Du Bus, Julia Ouallet.

Crédit photos : Shutterstock, Sylvain Angerand

Maquette : Deidamia Pelé