

# Quantification des émissions évitées par l'usage du bois : les angles morts les plus courants et comment y remédier

par Aude VALADE, Sylvain CAURLA et Valentin BELLASSEN

***La substitution est devenue une composante déterminante des politiques climatiques. Son évaluation se base sur la comparaison des émissions entre un scénario d'augmentation d'utilisation du bois et une référence : la différence représente les émissions “évitées”. Cependant les incertitudes sur le potentiel de substitution des produits bois sont importantes. Cet article a pour but de faire le point sur la méthode de quantification de la substitution et d'identifier des facteurs déterminants pour la prise de décision publique.***

Le concept de substitution carbone permet de faire le lien entre les aspects écologiques et socio-économiques de la gestion forestière et ainsi de comparer les bilans carbone pour différents modes de gestion, types de forêt, et utilisations du bois. Pour cela, l'évaluation de la substitution se base sur la comparaison des émissions entre un scénario d'augmentation d'utilisation du bois et une référence, le plus souvent construite autour de l'utilisation de produits et énergies fossiles pour un même niveau de services : cette différence représente les émissions « évitées ». Par définition, puisque ces émissions « évitées » n'ont pas eu lieu, leur quantification et vérification est impossible et les incertitudes sur le potentiel de substitution des produits bois sont importantes. Toutefois, la substitution est devenue une composante déterminante des politiques climatiques : la Stratégie nationale bas carbone de la France mise fortement dessus et le label Bas-Carbone du ministère de la Transition écologique et solidaire monétise des réductions d'émissions liées à la substitution. Cet article a pour but de faire le point sur la méthode de quantification de la substitution et d'identifier des facteurs déterminants pour la prise de décision publique. En particulier, l'importance de la dynamique du carbone biogénique sera détaillée pour l'exemple de la forêt française à partir des résultats du projet BiCaFF (Bilan Carbone de la forêt française).

## Quantification des émissions évitées par l'usage du bois

Le rôle du bois dans la limitation du changement climatique vise trois leviers, communément appelés les 3 S pour Séquestration, Stockage et Substitution. La séquestration correspond aux processus biophysiques par lesquels les écosystèmes absorbent du carbone atmosphérique et le stockent dans la biomasse et les sols, le carbone biogénique par opposition au carbone fossile stocké dans les couches géologiques. Le deuxième « S », le stockage dans les produits bois, est lié à la transformation du bois en produits dont la durée de vie permet de retarder le retour à l'atmosphère du carbone biogénique. Ce stockage peut s'étendre sur plusieurs décennies pour du bois d'œuvre utilisé dans la construction, ou se limiter à quelques mois pour du bois énergie utilisé rapidement après la coupe. La substitution quant à elle, consiste à comparer l'utilisation de produits bois à leurs alternatives de manière à évaluer les émissions de CO<sub>2</sub> « évitées » par l'utilisation du bois. Contrairement à la séquestration et au stockage, la substitution n'est donc pas un flux physique directement mesurable, mais un flux comptable utile pour justifier une prise de décision entre deux alternatives.

### ***Le scénario de référence est la clé de voute de la substitution***

Puisque la substitution consiste à évaluer des émissions évitées par l'utilisation du bois, deux scénarios doivent être définis. Les deux scénarios fournissent une même unité fonctionnelle qui, selon les objectifs de l'étude, peut être un service, comme par exemple chauffer un logement de 100 m<sup>2</sup>, ou un produit comme une quantité de combustible. Les scénarios alternatif et de référence décrivent respectivement les étapes pour la production de l'unité fonctionnelle avec et sans augmentation d'utilisation du bois, grâce à des analyses de cycle de vie (ACV). Les ACV s'appuient sur des méthodologies normalisées et des bases de données internationales pour inventorier les émissions associées à chaque étape de la vie des produits dans chaque scénario, typiquement de l'extraction des ressources nécessaires à leur production jusqu'à leur utilisation finale, ou à leur fin de vie selon les études. La substitution est déduite

de la comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> des deux scénarios (équation 1 ci-dessous).

$$\text{Substitution} = [\text{émissions\_scénario\_alternatif}] - [\text{émissions\_scénario\_référence}]$$

L'évaluation de la substitution dépend donc fortement des paramètres choisis pour définir à la fois le scénario d'utilisation du bois mais aussi le scénario de référence : lieux d'exploitation, de transformation et d'utilisation finales, source d'énergie nucléaire, charbon ou éolienne peuvent infléchir considérablement les deux scénarios. Alors que le scénario alternatif est dicté par les contraintes techniques et économiques du projet étudié, le scénario de référence ne sera pas réalisé et fait donc appel à la subjectivité. Par exemple dans le cas où l'unité fonctionnelle est le chauffage d'un logement résidentiel de 100 m<sup>2</sup>, choisir un scénario de référence où le chauffage remplacé par du bois est un chauffage au fioul (très émetteur de CO<sub>2</sub>) ou électrique d'origine nucléaire (faible émetteur de CO<sub>2</sub>) pourra changer totalement les conclusions.

### ***Temporalité et limites du système***

Les ACV ont longtemps été statiques, supposant que toutes les émissions résultant du cycle de vie d'un produit avaient lieu à un même instant. Cette hypothèse qu'on peut aussi voir comme l'intégration sur un temps infini des émissions des deux scénarios (équation 2) permet de considérer les émissions issues de la combustion de la biomasse comme nulles : la forêt coupée pour fournir le bois séquestre à nouveau le carbone émis par combustion lors de sa repousse. C'est l'hypothèse de « neutralité carbone » du bois.

$$\begin{aligned} \text{Substitution} = & \sum_{t=0}^{\infty} \text{émissions\_scénario\_alternatif}_t \\ & - \sum_{t=0}^{\infty} \text{émissions\_scénario\_référence}_t \end{aligned}$$

Cette hypothèse est aujourd'hui considérée comme incorrecte par de nombreuses publications scientifiques (HEAD *et al.*, 2019) et par des institutions internationales comme l'EASAC (EASAC, 2019) parce qu'elle occulte la différence de rythme entre le temps long de la séquestration de carbone lors de la croissance des arbres, et le temps court de la libération du carbone lors de la fin de vie des produits bois qui détermine pourtant la composition de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> (Voir article

de F. Ollivier-Henry p. 337). La neutralité carbone a ainsi longtemps permis l'exclusion du carbone biogénique des ACV des produits bois. Plus généralement, la réflexion sous l'angle des 3S a poussé à compartimenter d'un côté les processus biogéniques de séquestration *in situ* et stockage dans les produits bois et de l'autre les émissions de carbone fossile, créant ainsi des angles morts quand les deux types de carbone entrent en jeu. Pour éviter les angles morts, les deux types de carbone doivent être pris en compte, impliquant un choix arbitraire sur l'horizon temporel considéré (par exemple 50 ans dans l'équation 3).

$$\text{Substitution} = \sum_{t=0}^{50} \text{émissions\_scénario\_alternatif}_t - \sum_{t=0}^{50} \text{émissions\_scénario\_référence}_t$$

Les politiques publiques intègrent progressivement ces considérations. La future réglementation environnementale RE2020 par exemple prévoit de prendre en compte la temporalité des émissions de carbone via un bénéfice accordé aux émissions plus tardives et étend le périmètre de l'ACV en considérant les possibilités de réutilisation et de recyclage en fin de vie des produits.

### Coefficients de substitution

Les coefficients de substitution permettent de simplifier l'évaluation de la substitution en utilisant les résultats d'ACV antérieures. En divisant le total des émissions évitées entre deux scénarios par la différence de quantité de bois utilisée, on obtient un coefficient intégré sur l'ensemble du cycle de vie du produit qui correspond aux émissions évitées par unité de bois supplémentaire utilisé. Les coefficients de substitution sont donc souvent utilisés comme des facteurs de conversion entre bois récolté et émissions évitées en les multipliant par une quantité de bois supplémentaire. Cette utilisation des coefficients de substitution repose cependant sur l'hypothèse que les scénarios de référence et alternatif utilisés pour calculer les coefficients de substitution soient cohérents avec les conditions où les coefficients sont appliqués. Cette hypothèse est d'autant plus importante qu'il a été démontré que les coefficients de substitution sont extrêmement variables en fonction des hypothèses prises pour les définir (SATHRE & O'CONNOR, 2010) ce qui les rend peu fiables hors de leurs conditions de calcul.

## Application au bilan carbone de la forêt française

### Simulation du bilan carbone de la forêt française

Dans l'étude BiCaFF soutenue par l'ADEME (VALADE *et al.*, 2018), plusieurs scénarios de gestion forestière à l'échelle nationale ont été simulés en prenant en compte leurs effets sur les stocks de biomasse en forêt et la production de produits bois. Les détails sur le modèle utilisé et les scénarios sont disponibles dans le rapport du projet (VALADE *et al.*, 2017). Pour projeter la gestion future à l'échelle française, quatre types de forêt ont été identifiés selon une étude statistique des caractéristiques des placettes de l'inventaire forestier national. Pour chaque essence, les pratiques courantes de gestion ont été représentées par la détermination de valeurs seuils sur l'indice d'exploitabilité, le diamètre et la densité moyenne des peuplements. Les placettes dont l'indice d'exploitabilité était inférieur au seuil d'exploitabilité étaient ainsi supposées inexploitables quelles que soient leurs dimensions, les placettes dont le diamètre moyen était supérieur au diamètre seuil étaient supposées comme abandonnées par leurs propriétaires, les placettes dont la densité était supérieure à la densité seuil caractéristique d'une gestion dynamique étaient définies comme en surdensité et supposées non éclaircies. Les forêts dont l'exploitabilité, le diamètre, et la densité étaient compatibles avec les seuils fixés sont considérées comme en gestion dynamique. Dans un scénario de référence, ou « *business as usual* » dans lequel les pratiques de gestion resteraient les mêmes qu'actuellement, les forêts en gestion dynamique sont éclaircies et récoltées selon des critères spécifiques pour chaque essence, les forêts en surdensité sont récoltées sans avoir été éclaircies lorsqu'elles arrivent à maturité, les forêts abandonnées et les forêts inexploitables ne sont ni éclaircies ni récoltées.

En plus de ce scénario de prolongation des pratiques actuelles, trois scénarios de gestion représentent les effets de politiques visant différents types de propriétaires. Les modalités des politiques mises en œuvre ne sont pas précisées dans le cadre de cette étude. Le scénario « accélération » suppose que les gestionnaires déjà actifs raccourcis-



**Photo 1 :**  
Peuplement éclairci de pin d'Alep dans les Bouches-du-Rhône.  
Photo D. Afxantidis.

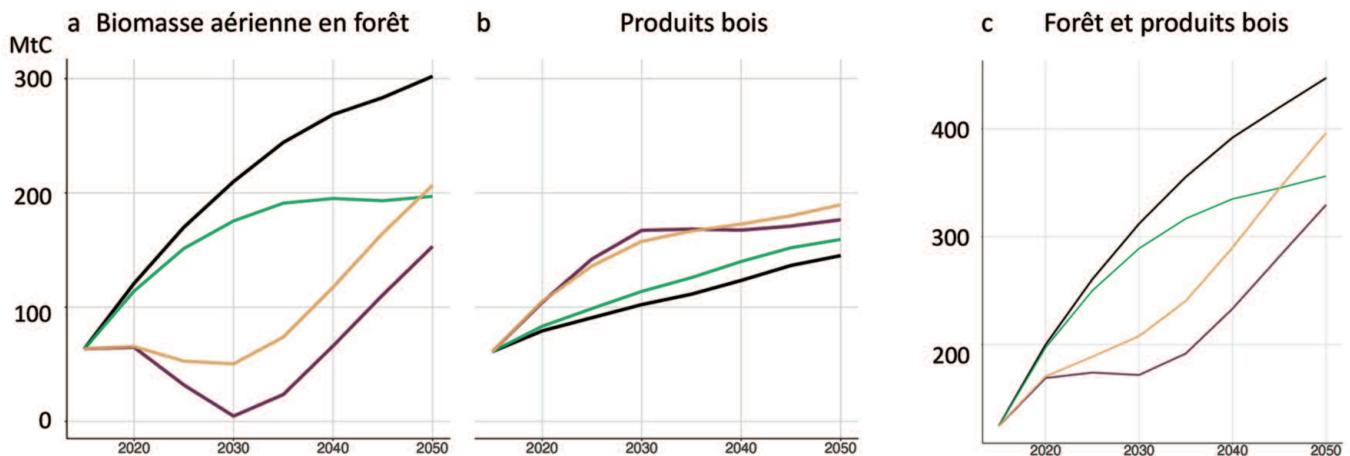
sent les durées de rotation et récoltent leurs forêts à un diamètre 10 cm inférieur au diamètre courant de coupe. Le scénario « éclaircies » suppose que les gestionnaires des forêts en surdensité procèdent à des éclaircies dans leurs peuplements, et le scénario « récoltes » suppose que les gestionnaires des forêts abandonnées procèdent à la coupe de leurs forêts. Ces scénarios d'augmentation des prélèvements par rapport aux pratiques actuelles conduisent donc à la mobilisation de différents peuplements dans différentes

**Fig. 1 (ci-dessous) :** Stock de carbone  
 a : dans la biomasse vivante aérienne en forêt,  
 b : dans les produits bois,  
 c : cumulé en forêt et dans les produits bois.  
 Les couleurs indiquent les différents scénarios de prélèvements.  
 Noir : « référence »,  
 Vert : éclaircies dans les forêts en surdensité,  
 Rouge : récolte dans les forêts abandonnées,  
 Jaune : diminution de 10 cm du diamètre de récolte dans les forêts gérées de manière dynamique.

régions, à la production de différents produits et donc *in fine* à des bilans carbone différents. La [figure 1](#) montre le stock de carbone dans la forêt (Cf. Fig. 1a) et dans les produits bois (Cf. Fig. 1b) selon les différents scénarios. L'augmentation des prélèvements de bois dans les scénarios « accélération », « éclaircies » et « récoltes » par rapport au scénario de référence se répercute par une diminution du stock de carbone dans la forêt et une augmentation moindre du stock dans les produits bois. La différence entre carbone déstocké en forêt et carbone stocké dans les produits bois résulte des résidus de coupe ainsi que du bois énergie qui est réémis très rapidement et n'apparaît donc pas dans le stock de produits bois.

## Implications pour les coefficients de substitution

Les coefficients de substitution standard pour la filière forêt bois française (ADEME, 2015) sont de 1,2 tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> pour le bois d'œuvre, 0,53 pour les panneaux et 0,5 pour le bois énergie. La moyenne pondérée de ces coefficients selon la proportion de chaque usage du bois dans la filière française donne un coefficient global compris entre 0,59 et 0,66 selon le scénario (le scénario « éclaircies » augmente davantage la production de BE que de BO et a donc un coefficient global inférieur). Ces coefficients donnent la réduction d'émissions fossiles attendue pour l'utilisation accrue d'1 m<sup>3</sup> de bois français selon sa provenance (Cf. Fig. 2a). Des coefficients similaires peuvent être calculés pour le bilan carbone en forêt en rapportant les diffé-



rences de bilan carbone décrits dans la section précédente à la différence de bois récolté par rapport au scénario de référence. On obtient ainsi un coefficient de substitution pour le carbone biogénique (Cf. Fig. 2b). Sous l'hypothèse que les coefficients de référence et d'utilisation accrue du bois utilisés pour déterminer ces coefficients sont cohérents avec les scénarios simulés dans l'étude BiCaFF, on peut ainsi combiner les coefficients de substitution fossile et biogénique pour avoir un coefficient global du bilan carbone de l'utilisation accrue de bois en France (Cf. Fig 1c).

Les coefficients de substitution portant sur l'ACV seulement sont constants et positifs indiquant que l'utilisation des produits bois conduit à moins d'émissions de CO<sub>2</sub> fossile que leurs équivalents dans le scénario de référence. Les coefficients de substitution pour le carbone biogénique cependant sont négatifs sur l'ensemble de la période puisque les scénarios d'augmentation des prélèvements conduisent tous à une diminution de la séquestration de carbone en forêt par rapport au scénario de référence (VALADE *et al.*, 2018). Cependant selon la catégorie de forêt dans laquelle les prélèvements sont réalisés leur évolution est différente. En augmentant les prélèvements à destination de l'énergie (scénario « éclaircies » ; vert) le coefficient de substitution diminue pendant toute la période passant de -0,7 à -1,6 ce qui reflète les émissions rapides de carbone suite à l'utilisation énergétique du bois qui n'est pas compensée par la croissance en forêt. En revanche, en augmentant les prélèvements

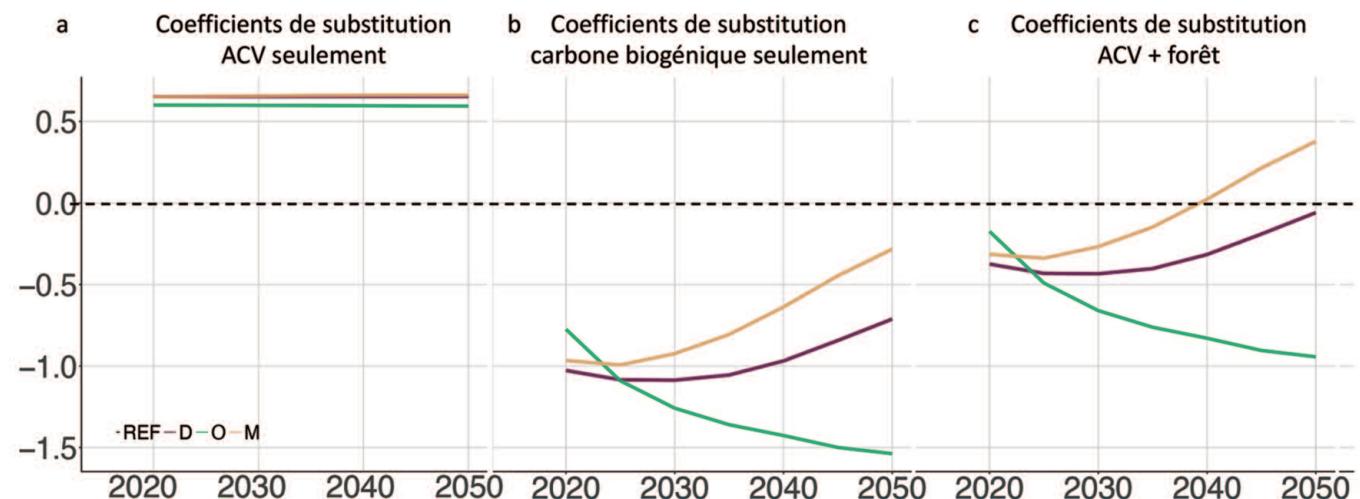
dans les forêts en gestion dynamique, qui auraient donc été récoltées aussi dans le scénario de référence quoique plus tard, le coefficient de substitution forêt diminue au premier pas de temps mais augmente ensuite pour atteindre -0,3 en 2050. Cette augmentation est le résultat de l'augmentation du rythme de croissance des peuplements rajeunis et d'une utilisation majoritairement vers le bois d'œuvre en première intention. L'augmentation des prélèvements dans les forêts abandonnées montre également une dynamisation de la séquestration en réponse à un rajeunissement mais qui ne suffit pas à compenser la perte de séquestration par rapport au scénario de référence dans lequel ces forêts n'auraient pas été récoltées. Le coefficient total prenant en compte les émissions fossiles comptabilisées par les ACV et le carbone biogénique simulé dans le cadre de l'étude BiCaFF montrent que sur l'horizon temporel de l'étude seul le scénario de mobilisation accrue des forêts déjà gérées de manière dynamique atteint un coefficient de substitution positif, donc émet moins que son scénario de référence d'ici la fin de la simulation pour laquelle on atteint un coefficient de substitution de 0,3 tCO<sub>2</sub> évitée par m<sup>3</sup> de bois additionnel récolté.

**Fig. 2 (ci-dessous) :**  
Coefficients de substitution issus d'ACV seulement (a), pour le carbone biogénique en forêt et dans les produits bois (b), et total (c). Les couleurs représentent les scénarios d'augmentation de la récolte dans la France métropolitaine comme défini dans VALADE *et al.*, 2018.

Vert : éclaircies dans les forêts en surdensité,  
Rouge : récolte dans les forêts abandonnées,  
Jaune : diminution de 10 cm du diamètre de récolte dans les forêts gérées de manière dynamique.

## Déterminants de la substitution

La prise en compte de la temporalité et du cycle du carbone biogénique dans les forêts



et les produits bois est essentielle pour une estimation cohérente du potentiel de substitution des produits bois comme démontré avec le cas d'étude de la filière française. Cependant, les deux scénarios — alternatifs et de référence — sont tous deux complexes et dynamiques et répondent à des déterminants liés à la filière bois elle-même mais aussi à des processus externes qu'ils soient biologiques, physiques ou socio-économiques. Cette section donne un bref aperçu des déterminants principaux pouvant affecter le potentiel de substitution des produits bois.

## Pratiques de gestion et chaîne de transformation

Comme montré dans la section précédente avec l'application à l'étude BiCaFF, les pratiques de gestion comme l'origine du bois dans des forêts contenant un plus ou moins grand stock de carbone, a un impact considérable avec un coefficient de substitution total variant de -0,9 à +0,4 en 2050 selon que le bois est récolté en forêt sous gestion dynamique ou en forêt abandonnée. Ces résultats sont confortés par de nombreuses études démontrant l'impact des pratiques de gestion forestière sur le bilan carbone des produits bois. Il a été montré que l'augmentation de la quantité de bois récolté conduisait à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre à moyen terme, aux Etats-Unis (HUDIBURG *et al.*, 2011) ou en Finlande (ZUBIZARRETA-GERENDIAIN *et al.*, 2016). En

Finlande également, les éclaircies par le haut engendrent moins d'émissions que les éclaircies par le bas (ZUBIZARRETA-GERENDIAIN *et al.*, 2016), ainsi que les épiceas par rapport aux pins (HEAD *et al.*, 2019; ZUBIZARRETA-GERENDIAIN *et al.*, 2016). Ces résultats sont expliqués à la fois par la dynamique du carbone biogénique en forêt mais aussi par les émissions fossiles qui diffèrent en fonction de la chaîne de transformation des produits bois. Il a par exemple été montré qu'une redirection du bois de trituration vers une utilisation énergétique était favorable au bilan carbone de la filière forêt-bois finlandaise en raison de l'utilisation d'énergie pour la production de papier (ZUBIZARRETA-GERENDIAIN *et al.*, 2016).

## Déterminants externes

Les processus biologiques de séquestration et émissions de carbone répondent aux pratiques de gestion mais également aux conditions atmosphériques comme la composition chimique de l'atmosphère, le climat ou les événements extrêmes. Les dépôts d'azote seraient ainsi responsables d'environ 12% du puits de carbone terrestre (SCHULTE-UEBBING & VRIES, 2018) mais leur interaction avec l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique, la durée de la saison de croissance végétale et les événements extrêmes rendent incertaine l'évolution de la dynamique du carbone biogénique en forêt (HYVÖNEN *et al.*, 2007).

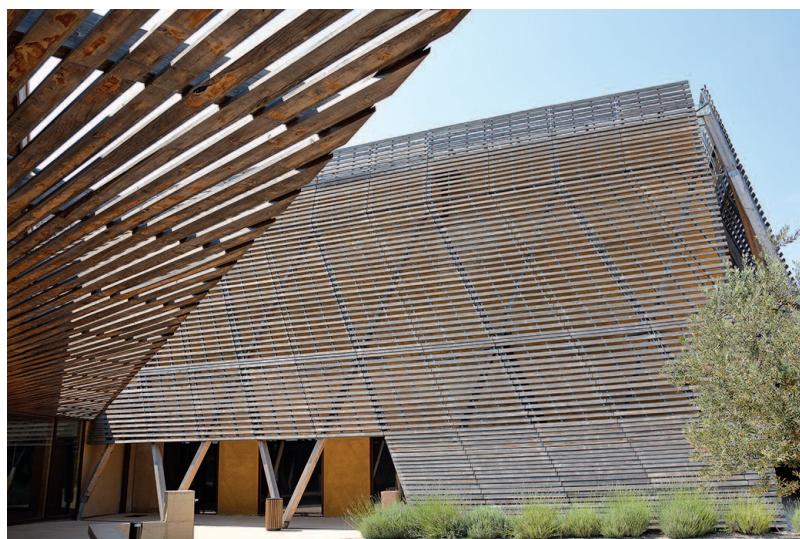
Le concept de substitution utilise les émissions de carbone comme outil de comparaison entre deux systèmes socio-économiques dynamiques. L'innovation par exemple peut rendre caduque l'un, l'autre ou les deux scénarios alors que tous les secteurs économiques poussés par les engagements internationaux des Etats cherchent à réduire leur impact environnemental. Alors que les panneaux de lamellé collé (CLT) ouvrent au à la filière bois la perspective de construction de bâtiments de plus de 10 étages jusque-là réservés au béton et à l'acier (SKULLESTAD *et al.*, 2016), la filière béton développe des technologies permettant de remplacer le ciment par des cendres volantes (MILLER *et al.*, 2015) ou compte sur la carbonatation (LIPPIATT *et al.*, 2020) pour compenser les émissions lors de la production par de la séquestration en fin de vie des bâtiments.

La dynamique du scénario de référence est également fortement liée à l'évolution de la

### Photo 2 :

La Boiserie à Mazan : le bois de la salle polyvalente provient des forêts du Ventoux.

Photo J. Degenève  
© CNPF



demande dictée par des facteurs démographiques (ex : besoins en logement), économiques (ex : crise économique) ou politiques (ex : réglementations bas carbone). Ainsi, comparer l'utilisation du bois énergie en 2050 à des centrales à charbon est probablement peu crédible au vu des politiques climatiques actuelles.

En plus des dynamiques intrinsèques de chaque scénario, des boucles de rétroaction existent par lesquelles les prises de décision motivées par la comparaison des scénarios peut en modifier l'issue. L'effet rebond est un exemple de mécanisme économique par lequel une réduction des émissions dans un secteur peut être limitée ou même convertie en une augmentation des émissions totales via des variations de prix des produits. Ces mécanismes devraient donc être pris en compte pour une définition efficace des politiques climatiques (FÖLSTER & NYSTRÖM, 2010) par l'utilisation d'ACV conséquentielles ou de modèles économiques.

## Conclusion

La substitution est un concept essentiel pour la prise de décision publique mise au défi de la transition écologique. L'analyse de cycle de vie est la méthode de référence pour quantifier les émissions évitées par une augmentation de l'utilisation de bois mais malgré sa rigueur, cette méthodologie comporte des angles morts quand elle est appliquée aux produits bois. En particulier, la prise en compte pour la filière forêt bois française de la dynamique du carbone biogénique, par sa séquestration en forêt et son stockage dans les produits bois, met en évidence l'augmentation des émissions de carbone à moyen terme causées par une augmentation des prélevements de bois. D'autres facteurs potentiellement déterminants pour l'évaluation de la substitution sont les paramètres définissant le scénario de référence, leur évolution en réponse aux innovations technologiques ou à la demande socio-économique, ou encore l'effet du changement climatique sur la séquestration biologique.

**A.V., S.C., B.B.**

## Bibliographie

- ADEME, 2015. Forêt et atténuation du changement climatique, Avis de l'ADEME. ADEME.
- EASAC, 2019. Forest bioenergy, carbon capture and storage, and carbon dioxide removal: An update.
- Fölster, S., Nyström, J., 2010. Climate Policy to Defeat the Green Paradox. *Ambio* 39, 223–235. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0030-7>
- Head, M., Bernier, P., Levasseur, A., Beauregard, R., Margni, M., 2019. Forestry carbon budget models to improve biogenic carbon accounting in life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 213, 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.122>
- Hudiburg, T.W., Law, B.E., Wirth, C., Luyssaert, S., 2011. Regional carbon dioxide implications of forest bioenergy production. *Nat. Clim. Change* 1, 419–423.
- Hyvönen, R., AAgren, G.I., Linder, S., Persson, T., Cotrufo, M.F., Ekblad, A., Freeman, M., Grelle, A., Janssens, I.A., Jarvis, P.G., others, 2007. The likely impact of elevated [CO<sub>2</sub>], nitrogen deposition, increased temperature and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems: a literature review. *New Phytol.* 173, 463–480.
- Lippiatt, N., Ling, T.-C., Pan, S.-Y., 2020. Towards carbon-neutral construction materials: Carbonation of cement-based materials and the future perspective. *J. Build. Eng.* 28, 101062. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101062>
- Miller, S.A., Horvath, A., Monteiro, P.J.M., Ostertag, C.P., 2015. Greenhouse gas emissions from concrete can be reduced by using mix proportions, geometric aspects, and age as design factors. *Environ. Res. Lett.* 10, 114017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/114017>
- Sathre, R., O'Connor, J., 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environ. Sci. Policy* 13, 104–114.
- Schulte-Uebbing, L., Vries, W. de, 2018. Global-scale impacts of nitrogen deposition on tree carbon sequestration in tropical, temperate, and boreal forests: A meta-analysis. *Glob. Change Biol.* 24, e416–e431. <https://doi.org/10.1111/gcb.13862>
- Skullestad, J.L., Bohne, R.A., Lohne, J., 2016. High-rise timber buildings as a climate change mitigation measure—A comparative LCA of structural system alternatives. *Energy Procedia* 96, 112–123.
- Valade, A., Bellassen, V., Luyssaert, S., Vallet, P., Djomo, S.N., 2017. Bilan carbone de la ressource forestière française-Projections du puits de carbone de la filière forêt-bois française et incertitude sur ses déterminants. ADEME.
- Valade, A., Luyssaert, S., Vallet, P., Njakou Djomo, S., Jesus Van Der Kellen, I., Bellassen, V., 2018. Carbon costs and benefits of France's biomass energy production targets. *Carbon Balance Manag.* 13, 26. <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0113-5>
- Zubizarreta-Gerendain, A., Pukkala, T., Peltola, H., 2016. Effects of wood harvesting and utilisation policies on the carbon balance of forestry under changing climate: a Finnish case study. *For. Policy Econ.* 62, 168–176.

**Aude VALADE**  
CIRAD, UMR Eco&Sols,  
34398 MONTPELLIER  
[aude.valade@cirad.fr](mailto:aude.valade@cirad.fr)

**Sylvain CAURLA**  
Université de Lorraine,  
Université de  
Strasbourg,  
AgroParisTech, CNRS,  
INRA, BETA  
54000 NANCY

**Valentin BELLASSEN**  
CESAER, AgroSup  
Dijon, INRAE,  
Univ. Bourgogne  
Franche-Comté  
21000 DIJON

## Résumé

---

Le concept de substitution carbone permet de faire le lien entre les aspects écologiques et socio-économiques de la gestion forestière et permet ainsi de comparer les bilans carbone pour différents modes de gestion, types de forêt, et utilisations du bois. Pour cela, l'évaluation de la substitution se base sur la comparaison entre un scénario d'utilisation accrue du bois et une référence, le plus souvent construite autour de l'utilisation de produits et énergies fossiles, les émissions « évitées ». Par définition, puisque ces émissions « évitées » n'ont pas eu lieu, leur quantification et vérification est impossible et les incertitudes sur le potentiel de substitution des produits bois sont importantes. Cet exposé présente les déterminants du potentiel de substitution et de ses incertitudes. En particulier, le poids de la prise en compte du carbone biogénique sera détaillé pour l'exemple de la forêt française à partir des résultats du projet BiCaFF (Bilan Carbone de la forêt française).

## Summary

---

**Quantifying emissions avoided by the use of wood: how to eliminate the most common « blind corners »**

The concept of carbon substitution facilitates establishing the link in forestry management between its ecological and economic aspects and, thus, a comparison becomes possible of the carbon footprint of different types of management, forests and the uses of wood. To this end, an assessment of any substitution is based on a comparison between a scenario featuring an increased use of wood and a reference case which will usually involve the use of fossil fuels and products, i.e. the « avoided » emissions. It goes without saying that, because such « avoided » emissions have not occurred, they cannot be either verified or quantified and so the potential for substitution of wood products remains unsure. The present article presents the factors determining the potential for substitution along with the concurrent incertitudes. In particular, the import of factoring in biogenic carbon is made explicit for the example of French forests using results obtained from the BiCaFF (French forests' carbon audit) project .