

LA SYLVICULTURE PEUT-ELLE CONTRIBUER À COMBATTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

par Guillaume Charles¹, Gauthier Ligoit¹, Hugues Claessens¹, Mathieu Fortin², Tom De Mil¹

1. Gestion des ressources forestières, Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège). Passage des Déportés 2 | B-5030 Gembloux.
guillaume.charles@uliege.be

2. Ressources naturelles Canada, Service Canadien des Forêts, Centre Canadien sur la Fibre de Bois. 580 rue Booth, Ottawa, Ontario Canada.

Les forêts sont une composante importante du cycle du carbone, à tel point que la gestion forestière est considérée dans l'accord de Paris comme un levier important pour diminuer la concentration en dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère et limiter le réchauffement climatique (UNFCCC, 2015). Par la photosynthèse, les forêts absorbent le CO₂ de l'atmosphère et stockent le carbone dans la biomasse vivante, la matière organique morte et le sol. Dans les forêts gérées pour la production de bois, couper du bois revient à exporter

une partie du carbone stocké dans la biomasse pour le stocker ensuite temporairement dans les produits issus de la transformation de ce bois (appelés par la suite produits bois). En fin de vie, les produits bois sont généralement brûlés et le carbone qu'ils contiennent est alors réémis dans l'atmosphère (Geng et al., 2017).

En plus de pouvoir stocker momentanément du carbone, les produits bois permettent également d'éviter des émissions de CO₂ par effet de substitution matérielle ou énergétique. L'effet de substitution maté-

rielle a théoriquement¹ lieu lorsque les émissions de CO₂ liées au cycle de vie des matériaux alternatifs, comme le béton ou l'acier, sont plus élevées que celles du produit bois. L'effet de substitution énergétique, obtenu en valorisant du bois en énergie à la place de combustibles fossiles, vient du fait que, contrairement aux combustibles fossiles dont l'utilisation comme énergie injecte du carbone de la croûte

¹ En pratique, les émissions de CO₂ ne sont réellement évitées que si l'utilisation du bois permet effectivement de réduire la consommation globale du produit alternatif.

L'augmentation de la concentration en dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère terrestre attire l'attention vers les forêts et les produits bois pour le rôle qu'ils peuvent jouer dans l'atténuation du changement climatique. Il subsiste cependant de grandes incertitudes quant à la stratégie à favoriser pour optimiser le bilan carbone du secteur forestier. C'est notamment le cas pour la sylviculture, dont l'influence sur le bilan carbone est étroitement liée au contexte environnemental et climatique local.

De stijging van de concentratie aan koolstofdioxide (CO₂) in de dampkring van de aarde vestigt de aandacht op de bossen en de houtproducten, omwille van de rol die ze kunnen spelen bij het temperen van de klimaatverandering. Er bestaan echter nog steeds veel onzekerheden wat betreft de te volgen strategie om de koolstofbalans van de bosbouwsector te optimaliseren. Dit is met name het geval voor het bosbeheer, waarvan de invloed op de koolstofbalans nauw samenhangt met de lokale milieu- en klimaatcontext.



© Vermeulen-Perdaen

terrestre dans l'atmosphère, le carbone libéré lors de la combustion du bois faisait déjà partie du cycle biosphère-atmosphère (Fortin et al., 2012; Geng et al., 2017; Sathre & O'Connor, 2010).

En modifiant les pratiques de gestion forestière, il est possible de moduler la quantité de carbone stockée dans les différents réservoirs (en forêt et dans les produits) et l'effet de substitution (matérielle ou énergétique). Le sylviculteur peut notamment modifier la composition d'un peuplement, l'intensité des coupes ou la longueur de la révolution et ainsi chercher à augmenter les stocks de carbone en forêt, ou plutôt à augmenter l'effet de substitution et le stock de carbone dans les produits bois (Hiltunen et al., 2021; Martes & Köhl, 2022).

Dès lors, il nous est apparu important de quantifier l'influence de tels choix stratégiques dans le contexte de la forêt et de la filière bois wallonnes. Après avoir caractérisé cette filière et le cycle de vie des principales catégories de produits bois, nous avons simulé différents scénarios et comparé, d'une part, les bilans carbone d'une pessière et d'une

hêtraie et, d'autre part, les bilans carbone d'une pessière gérée selon différents scénarios sylvicoles.

CARACTÉRISATION DE LA FILIÈRE BOIS WALLONNE¹

Pour caractériser les principales catégories de produits bois en Wallonie, nous avons déterminé leur durée de vie, leur facteur de substitution² et les émissions de CO₂ qui sont liées à leur production. Nous avons ensuite catégorisé les différentes unités de transformation de la filière bois wallonne et les flux entre ces différentes unités (Figure 1, page 35).

¹ La caractérisation de la filière bois wallonne a été réalisée sur base d'une trentaine de sources différentes, dont des estimations d'experts. Pour plus de détails, le lecteur est invité à consulter le travail de fin d'études accessible avec l'URL mentionné à la fin de cet article.

² Le facteur de substitution renseigne sur les émissions de gaz à effet de serre qui sont évitées en utilisant du bois à la place d'un produit alternatif (lorsqu'un tel produit existe). Il est exprimé en kg équivalent CO₂ par unité fonctionnelle du produit bois (généralement une tonne ou un mètre cube).

En Wallonie, la valorisation des essences résineuses diffère considérablement de celle des essences feuillues (Figure 1). Les grumes de feuillus sont valorisées en énergie (54%), envoyées vers les scieries (29%) ou transformées en papier (17%). En outre, une part importante (62%) des branches est également récoltée. Les grumes résineuses sont quant à elles essentiellement dirigées vers les scieries (78%) ou vers les chantiers de découpe (11%), le reste étant valorisé en énergie ou transformé en panneaux de type « medium-density fiberboard » (MDF).

Parmi les usages des produits bois, l'usage en construction est celui avec la durée de vie la plus longue (60 ans) et avec le plus grand facteur de substitution (980 kg équivalent CO₂/m³). Le bois énergie et le papier sont les usages avec les durées de vie les plus courtes (1,7 et 2,8 ans respectivement) et avec les plus petits facteurs de substitution (respectivement 680 et 0 kg équivalent CO₂/t). Le papier, les panneaux MDF et les panneaux de particules sont les produits dont la production émet le plus de CO₂. De manière générale, les produits issus de la

transformation du bois d'essences feuillues ont une durée de vie plus courte et un facteur de substitution inférieur à celui des produits issus de la transformation du bois d'essences résineuses.

À partir de ces informations, notre étude de la filière bois montre que pour un même volume de bois exploité en résineux et en feuillus, la quantité de carbone stockée dans les produits bois est en moyenne¹ deux fois plus importante pour les résineux. En outre, les émissions de CO₂ liées à la valorisation de ce bois sont en moyenne 1,5 fois plus importantes pour les feuillus. Enfin, l'exploitation des résineux pourrait permettre d'éviter, par effet de substitution, en moyenne 20 % d'émissions de CO₂ en plus que l'exploitation des feuillus.

¹ Moyenne réalisée sur les 80 années qui suivent une coupe unique.

OUTILS DE SIMULATION ET DE COMPTABILITÉ CARBONE

Afin de dresser le bilan carbone complet d'une stratégie sylvicole, il convient de connaître les quantités de bois produites par classe de circonférence et par essence pour l'ensemble d'un cycle de production (i.e. pour une révolution complète dans le cas d'une plantation de résineux). De telles estimations ont été obtenues à l'aide de logiciels de simulation et en particulier des modèles GYMNOS (Ligot et al., 2023) pour les résineux et WALSI (Perin et al., 2021) pour les feuillus. Une fois les caractéristiques initiales de ces peuplements définies (indice de fertilité, distribution des diamètres...), les modèles permettent de simuler l'évolution de la taille de chaque arbre et le prélèvement de certains d'entre eux. Les informations issues

de ces simulations ont été traitées dans le logiciel de comptabilité carbone CAT (Pichancourt et al., 2018). Ce logiciel permet notamment de calculer l'évolution au cours du temps de la quantité de carbone stockée dans la forêt et dans les produits bois en tenant compte des caractéristiques de la filière bois d'intérêt (Figure 2).

BILAN CARBONE D'UNE PESSIÈRE ET D'UNE HÊTRAIE

La pessière simulée correspond à une plantation de 2000 tiges/ha, de productivité moyenne (hauteur dominante de 27 m à 50 ans) et dans laquelle les éclaircies sont réalisées en appliquant les normes sylvicoles décrites dans la table de production correspondante (Perin et al., 2016). La révolution choisie est de 82 ans.

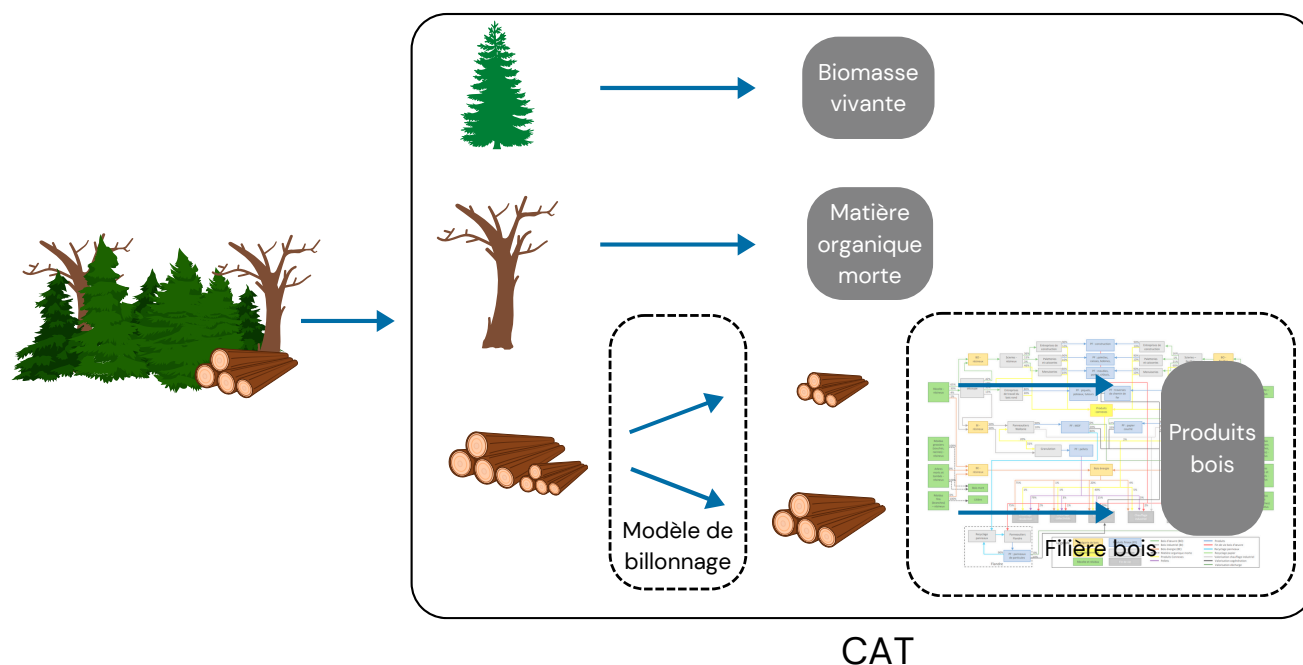


Figure 2 : Représentation schématique du fonctionnement du logiciel CAT. À chaque instant t, le logiciel peut analyser tous les arbres du peuplement simulé et les traiter en fonction de leur statut. Les arbres vivants et les arbres morts sont convertis en carbone et forment respectivement la biomasse vivante et la matière organique morte. Les arbres récoltés sont séparés en différentes catégories grâce à un modèle de billonnage et transformés en produits finaux selon les flux de la filière bois d'intérêt. Les boîtes grises représentent les réservoirs de carbone dont le logiciel tient compte.

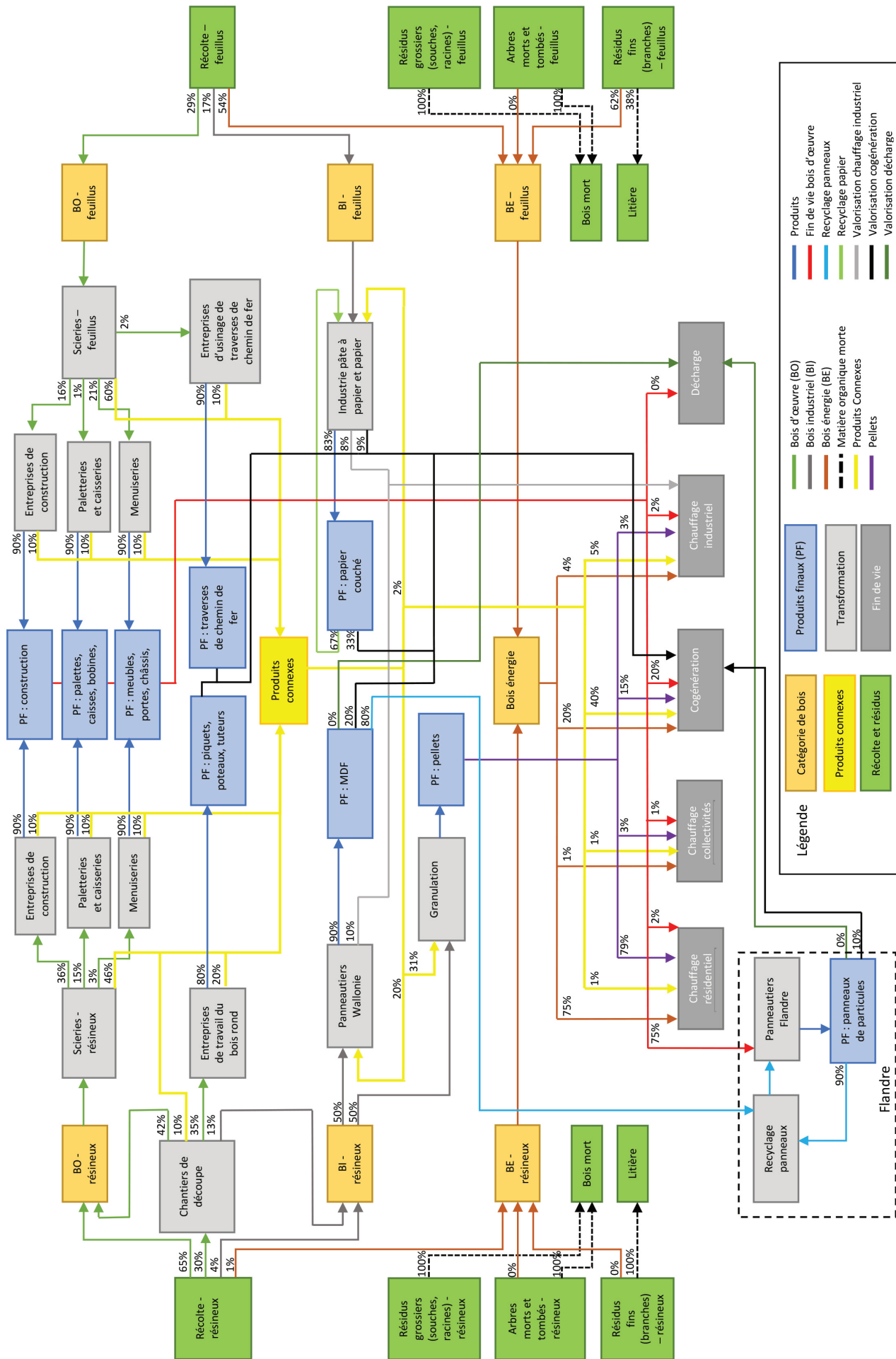


Schéma de la filière bois wallonne, en flux relatifs, construit en vue d'une utilisation avec le logiciel CAT (adapté à partir de Wohlfrom (2022)).

Figure 1 : Caractérisation de la filière bois en Wallonie. Le schéma illustre le trajet des matériaux bois depuis la récolte (à gauche pour les résineux et à droite pour les feuillus) vers les différentes unités de transformation et jusqu'aux produits finaux. Compte tenu des objectifs et des contraintes de l'étude, cette caractérisation retrace uniquement le devenir des arbres produits en Wallonie (les importations sont donc exclues) et il a été considéré que le devenir des bois wallons exportés est le même que celui des bois transformés en Wallonie. La seule exception concerne les panneaux de particules, fabriqués en Flandre en partie par recyclage du bois d'œuvre wallon, car ces données sont aisément accessibles.

INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE RÉVOLUTION ET DES ÉCLAIRCIES SUR LE BILAN CARBONE

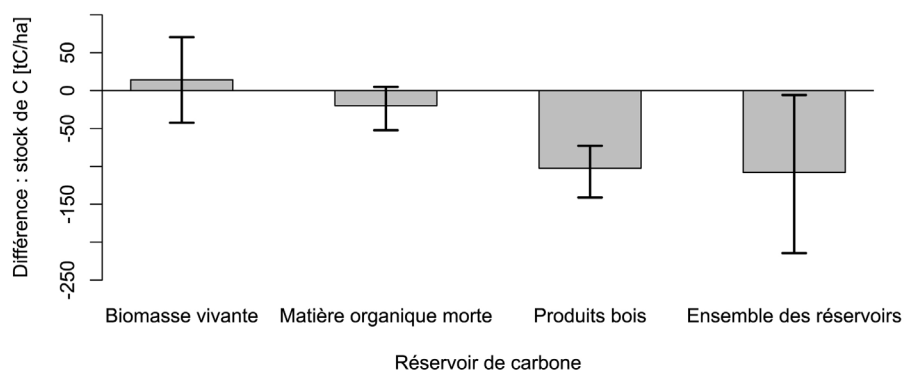
Dix variantes du scénario sylvicole décrit précédemment pour la pessière ont été testées. Elles correspondent à la combinaison de cinq longueurs de révolution (58, 70, 82, 88 et 100 ans) et de deux régimes d'éclaircies : avec des éclaircies telles que définies dans la table de production (Perin et al., 2016) (scénarios notés E) et sans aucune éclaircie jusqu'à la mise à blanc (SE).

La simulation de la hêtraie a été initialisée en utilisant les données d'un inventaire par échantillonnage réalisé en 2022 dans la forêt de Sainte-Ode, dans la province du Luxembourg. La futaie est composée à 90% de hêtre commun (*Fagus sylvatica* L.). Après l'initialisation, des éclaircies ont été simulées tous les 12 ans afin de maintenir la surface terrière entre 20 et 25 m²/ha, en accord avec la norme de Fagneray (Fagneray, 1995). Tout comme pour la pessière, les motivations dans le choix de ce peuplement étaient de refléter au mieux la situation moyenne des hêtraies en Wallonie.

Sous ces hypothèses, la pessière permet de stocker 108 tC/ha en plus que la hêtraie et ceci s'explique principalement par la différence de stock dans les produits bois (Figure 3a). Pour la pessière, la quantité de carbone stockée dans les produits bois (114 tC/ha) est du même ordre de grandeur que celle stockée dans la biomasse vivante (123 tC/ha). Par contre, pour la hêtraie, la quantité de carbone stockée dans les produits bois (11 tC/ha) est considérablement plus faible que celle stockée de la biomasse vivante (137 tC/ha) et, en comparant avec la valeur pour la pessière, dix fois plus faible. Cette différence peut être expliquée d'une part par la différence de valorisation des bois résineux et feuillus (Figure 1) et, d'autre part, par la différence dans les volumes bois fort tige moyens annuels de récolte (15,6 m³/ha/an pour la pessière et 5,5 m³/ha/an pour la hêtraie). Ces deux éléments permettent également d'expliquer pourquoi l'effet de substitution est plus élevé de 3,5 tC/ha/an pour la pessière (Figure 3b).

En Wallonie, la production de bois de résineux, essentiellement réalisée avec des plantations, semble donc permettre de stocker plus de carbone que la production de bois de feuillus, issue essentiellement des hêtraies-chênaies irrégulières (Alderweireld et al., 2015), tout en évitant davantage d'émissions de CO₂ par substitution. Bien que ces résultats soient spécifiques au contexte wallon et issus de simulations reposant sur de nombreuses hypothèses, d'autres chercheurs sont arrivés à des conclusions similaires en Allemagne (Klein et al., 2013).

a) Différences dans les stocks de carbone entre la hêtraie et la pessière



b) Différence dans l'effet de substitution entre la hêtraie et la pessière

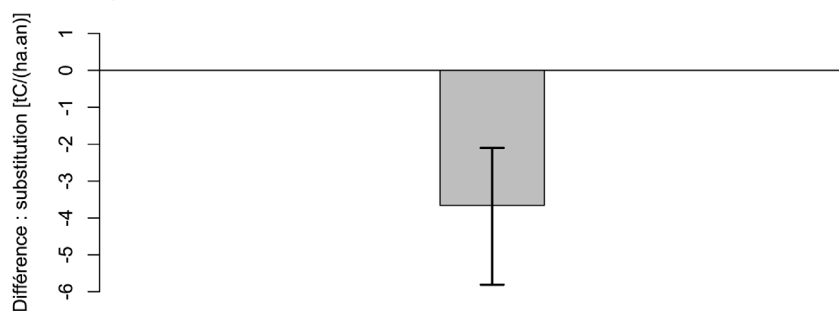


Figure 3 : Différences entre les quantités de carbone stockées dans les différents réservoirs (a) et entre les émissions de CO₂ évitées par effet de substitution (b) pour une hêtraie et une pessière. Les bâtonnets indiquent les différences moyennes et celles-ci sont entourées d'un intervalle de confiance permettant d'illustrer la précision de ces estimations (Pichancourt et al., 2018). Une différence positive indique que le stock ou l'effet de substitution est plus élevé pour la hêtraie que pour la pessière.

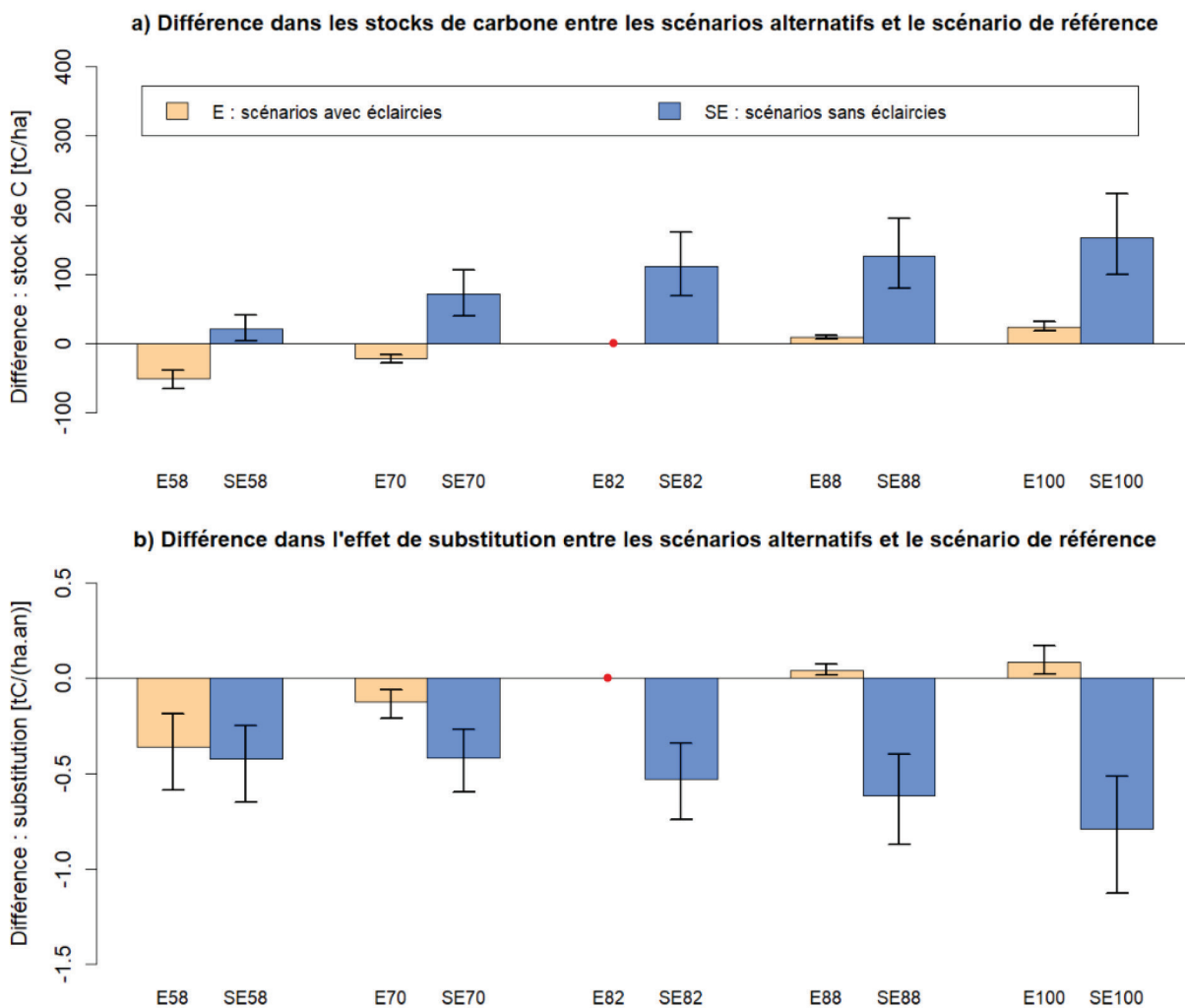


Figure 4 : Différences entre les quantités de carbone stockées (tC/ha) dans l'ensemble des réservoirs (a) et entre les émissions de CO₂ évitées par effet de substitution (b) pour les neuf scénarios sylvicoles alternatifs et le scénario sylvicole de référence (E82) pour les pessières régulières. Les étiquettes sur l'axe des abscisses indiquent le régime d'éclaircies (E : scénarios avec des éclaircies – SE : scénarios sans éclaircies) et la durée de la révolution (58, 70, 82, 88 ou 100 ans) du scénario alternatif qui est comparé au scénario de référence. Les bâtonnets indiquent les différences moyennes et celles-ci sont entourées d'un intervalle de confiance permettant d'illustrer la précision de ces estimations (Pichancourt et al., 2018). Une valeur positive indique que le stock de carbone ou que l'effet de substitution est plus élevé pour le scénario alternatif que pour le scénario de référence. Pour faciliter l'interprétation, les bâtonnets sont classés par ordre croissant de longueur de révolution et un point rouge indique la position du scénario de référence.

Les scénarios sans éclaircies permettent de stocker davantage de carbone que les scénarios avec des éclaircies (figure 4a). En effet, bien que le volume de bois récolté soit légèrement plus élevé lorsque des éclaircies sont pratiquées (entre 1 et 3 m³/ha/an, en fonction de la longueur de révolution), l'augmentation du stock de carbone dans les produits bois qui en résulte (11 tC/ha, si la révolution est de 82 ans) n'est pas

suffisante pour compenser la réduction du stock de carbone en forêt (123 tC/ha, si la révolution est de 82 ans). Par contre, l'effet de substitution, qui dépend ici essentiellement de la quantité de bois récoltée, est plus important pour les scénarios avec des éclaircies (Figure 4b).

La réduction des stocks de carbone engendrée par les éclaircies (112 tC/ha) semble être du même ordre de

grandeur que la différence observée entre la pessière et la hêtraie (108 tC/ha, en faveur de la pessière - voir section précédente) ».



COMMENT OPTIMISER LE BILAN CARBONE DE LA FILIÈRE BOIS WALLONNE ?

Ces différents résultats suggèrent plusieurs pistes d'optimisation du bilan carbone de la filière forêt-bois en Wallonie.

COMPOSITION DES PEUPELEMENTS

Une analyse trop rapide des résultats pourrait suggérer que favoriser les plantations de résineux au détriment des peuplements de feuillus serait une mesure favorable pour atténuer les changements climatiques. Il convient toutefois de mentionner que ces résultats ne tiennent compte ni des perturbations, ni de l'influence des changements climatiques, ni même des émissions de CO₂ liées aux opérations sylvicoles avant récolte, plus importantes dans les plantations de résineux. Sans tenir compte de ces éléments, Klein et al. (2013) ont également mis en évidence que les pessières sont plus intéressantes que les hêtraies, au niveau du bilan carbone. Toutefois, les auteurs mentionnent que la prise en compte des changements climatiques et des perturbations pourrait faire pencher la balance en faveur des hêtraies. Ainsi, plutôt que d'augmenter la proportion de peuplements résineux, il paraît plus judicieux de tenter d'améliorer la valorisation du bois des essences feuillues, notamment en allongeant la durée de vie des produits et en favorisant les produits à longue durée de vie. Ceci est d'autant plus pertinent que la différence entre les stocks de carbone des feuillus et des résineux est presque exclusivement liée aux différences dans la valorisation du bois.



© david

ÉCLAIRCIES ET RÉVOLUTION

De la même manière, les résultats suggèrent que la suppression des éclaircies et, dans une moindre mesure, l'allongement des révolutions pourraient augmenter le stockage de carbone dans les pessières. Néanmoins, ce constat repose, ici aussi, sur l'absence de perturbations, alors que le risque de dégâts biotiques et abiotiques peut être accru dans les peuplements non-éclaircis et/ou dans les peuplements plus âgés (Fortin et al., 2014). Dans les situations les moins risquées, le gestionnaire forestier pourrait envisager de réduire l'intensité des éclaircies et d'allonger la révolution (ou d'augmenter le diamètre d'exploitation dans les peuplements mélangés et irréguliers) afin d'augmenter la séquestration du carbone. Il faut cependant garder à l'esprit que réduire l'intensité des éclaircies pourrait s'accompagner d'une diminution de l'effet de substitution. Auquel cas, cette stratégie ne serait pas favorable à long terme.

QUELLE IMPORTANCE ACCORDER À LA SYLVICULTURE POUR ATTEINDRE LES OBJECTIFS CLIMATIQUES FIXÉS ?

Nous avons vu qu'en faisant abstraction des perturbations et des changements climatiques, il serait possible d'augmenter le stock de carbone d'environ 100 t/ha en augmentant la proportion de peuplements résineux, en cessant d'éclaircir les peuplements résineux et/ou en améliorant la valorisation du bois de feuillus. Imaginons que ce changement soit appliqué sur toute la surface forestière wallonne, soit 550.000 ha (cette situation est irréaliste mais permet de quantifier le potentiel maximum de la sylviculture dans le stockage du carbone). Dans ce cas, 55 Mt de carbone (100 t/ha x 550.000 ha) pourraient être stockées en plus dans la forêt et les produits bois. Pour se rendre compte de l'importance de cette valeur, il est intéressant de la comparer avec les émis-

sions de CO₂ annuelles en Wallonie. Selon l'Agence wallonne de l'air et du climat (<https://awac.be>), la Wallonie a émis, en 2021, 34 Mt équivalent CO₂, soit 9,3 Mt de carbone. Ainsi, l'augmentation du stock de carbone grâce à la sylviculture serait environ équivalente à 6 années d'émissions wallonnes. Ce bilan pourrait encore être amélioré en tenant compte des émissions de CO₂ évitées par substitution. Toutefois, cette situation hypothétique correspond au cas idéal, sans tenir compte des perturbations, des changements climatiques et des émissions de CO₂ liées à la préparation du terrain dans les peuplements résineux. Ainsi, au-delà du fait que les changements radicaux dans la forêt wallonne qui seraient à la base d'une telle augmentation dans le stock du carbone ne soient pas souhaitables à bien des égards, il serait même impossible de s'approcher d'une telle compensation. Par ailleurs, il convient de garder à l'esprit que cette augmentation du stock de carbone ne pourrait avoir lieu qu'une seule fois.

Cette illustration montre que la gestion forestière est effectivement un levier permettant d'influencer la concentration en CO₂ dans l'atmosphère qu'il convient de considérer avec attention, mais que son potentiel est limité, en tout cas sans modification de la surface forestière. Pour que le Gouvernement wallon puisse atteindre les objectifs fixés (neutralité carbone au plus tard en 2050), ce dernier ne devrait donc compter que très partiellement sur l'effet d'une modification de la gestion forestière et de la filière bois.

Cet article fait suite au travail de fin d'études présenté par Guillaume Charles en vue de l'obtention du diplôme de master bioingénieur en gestion des forêts et des espaces naturels (Gembloux Agro-Bio Tech, Uliège), août 2023. Promoteurs : Tom De Mil et Gauthier Ligot.

Le travail de fin d'études et le matériel supplémentaire, comprenant notamment les fichiers créés pour caractériser la filière bois wallonne dans le logiciel CAT, sont téléchargeables à l'adresse suivante : <http://hdl.handle.net/2268.2/18242>

Ce travail de fin d'études s'est inscrit dans la continuité de celui de Perrine Wohlfrom (Wohlfrom, 2022), présenté en vue de l'obtention du diplôme de master en Sciences et Gestion de l'Environnement (Université Libre de Bruxelles) en 2022. La caractérisation de la filière bois wallonne, présentée dans cet article, a été largement basée sur son travail.

Bibliographie

- Alderweireld, M., Burnay, F., Pitchugin, M., & Lecomte, H. (2015). Inventaire Forestier Wallon. Résultats 1994 – 2012. SPW, DGO3, DNF, Direction des Ressources forestières.
- Fagneray A. (1995). La gestion forestière du cantonnement de Florenville. Note interne, DNF, Cantonnement de Florenville.
- Fortin, M., Albrecht, A., Kohnle, U., & Ningre, F. (2014). The Impact of Windstorm Damage in the Assessment of the Carbon Balance in Even-Aged *Fagus sylvatica* L. Stands. Forests, 5(4), 784-801. <https://doi.org/10.3390/f5040784>
- Fortin, M., Ningre, F., Robert, N., & Mothe, F. (2012). Quantifying the impact of forest management on the carbon balance of the forest-wood product chain: A case study applied to even-aged oak stands in France. Forest Ecology and Management, 279, 176-188. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.05.031>
- Geng, A., Yang, H., Chen, J., & Hong, Y. (2017). Review of carbon storage function of harvested wood products and the potential of wood substitution in greenhouse gas mitigation. Forest Policy and Economics, 85, 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.08.007>
- Hiltunen, M., Strandman, H., & Kilpeläinen, A. (2021). Optimizing forest management for climate impact and economic profitability under alternative initial stand age structures. Biomass and Bioenergy, 147, 106027.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106027>

- Klein, D., Höllerl, S., Blaschke, M., & Schulz, C. (2013). The Contribution of Managed and Unmanaged Forests to Climate Change Mitigation—A Model Approach at Stand Level for the Main Tree Species in Bavaria. Forests, 4(1), 43-69. <https://doi.org/10.3390/f4010043>
- Ligot, G., Gheysen, T., Perin, J., Candaele, R., Licoppe, A., Claessens, H., & Lejeune, P. (2023). Quel est le coût des dégâts d'écorcement dans les plantations d'épicéa ? Forêt.Nature (167), 39-48.
- Martes, L., & Köhl, M. (2022). Improving the Contribution of Forests to Carbon Neutrality under Different Policies—A Case Study from the Hamburg Metropolitan Area. Sustainability, 14(4), 2088. <https://doi.org/10.3390/su14042088>
- Perin, J., Pitchugin, M., Hébert, J., Brostaux, Y., Lejeune, P., & Ligot, G. (2021). SIMREG, a tree-level distance-independent model to simulate forest dynamics and management from national forest inventory (NFI) data. Ecological Modelling, 440, 109382. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109382>
- Perin, J., Hébert, J., & Lejeune, P. (2016). Nouvelles normes sylvicoles pour les peuplements purs équiennes d'épicéa et de douglas. Gembloux Agro-Bio Tech.
- Pichancourt, J.-B., Manso, R., Ningre, F., & Fortin, M. (2018). A carbon accounting tool for complex and uncertain greenhouse gas emission life cycles. Environmental Modelling & Software, 107, 158-174. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.06.005>
- Sathre, R., & O'Connor, J. (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. Environmental Science & Policy, 13(2), 104-114. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.12.005>
- UNFCCC. (2015). Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>
- Wohlfrom, P. (2022). Les produits bois et leur potentiel de stockage de carbone : Une solution dans l'atténuation du changement climatique ? Étude des résineux issus de la filière bois wallonne. Université Libre de Bruxelles.