



COMMENT LA CONSTRUCTION EN BOIS PEUT-ELLE CONTRIBUER À RÉDUIRE LA DÉGRADATION DE L'ENVIRONNEMENT ?

Elias Hurmekoski

ISBN 978-952-5980-94-3 (version imprimée)

ISBN 978-952-5980-93-6 (pdf)

Avertissement : Les opinions exprimées dans cette publication sont celles de l'auteur et ne représentent pas nécessairement celles de l'Institut européen de la forêt.

Citation recommandée : Hurmekoski, E. 2017.

Comment la construction en bois peut-elle contribuer à réduire la dégradation de l'environnement ? Institut européen de la forêt.

L'auteur a reçu un support financier du projet FORBIO (no. 14970) subventionné par le Conseil stratégique de la recherche à l'Académie de Finlande.

© European Forest Institute 2020

LE SECTEUR EUROPÉEN DE LA CONSTRUCTION

- Selon des moyennes à long terme, le volume annuel global de la construction de bâtiments dans l'UE27 s'élève à 240 millions de m², soit plus de 2 millions de logements
- En tenant compte de l'ensemble du cycle de vie des bâtiments, le secteur représente 42 % de la consommation totale d'énergie, 35 % des émissions totales de gaz à effet de serre, 50 % des matériaux extraits et 30 % de la consommation d'eau.
- Il représente 10 % du PIB et emploie plus de 12 millions de personnes dans l'UE.
- Dans le secteur de la construction, les changements sont longs, en raison de l'évolution lente des normes, des perceptions, des programmes d'éducation et de la culture du secteur.

CONSTRUCTION EN BOIS : les bénéfices environnementaux

- La construction en bois désigne toute forme de construction dans laquelle l'ossature porteuse est partiellement constituée de produits à base de bois.
- La construction en bois peut contribuer à la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ issues de la fabrication de produits de construction, mais aussi à la réduction de l'utilisation globale de matériaux et ainsi de la quantité de déchets.
- Pour chaque tonne de produits du bois utilisée à la place du ciment Portland ordinaire, une moyenne de 2 tonnes d'émissions de CO₂ est évitée grâce à la substitution ; c'est-à-dire, en évitant les émissions plus importantes provenant de la production d'autres matériaux, et au stockage du carbone dans les produits du bois.
- Grâce au poids du bois qui est plusieurs fois inférieur à celui du béton, un cadre structurel en bois peut réduire de moitié la consommation totale de matériaux de construction.
- Une part de marché hypothétique de 100 % de construction en bois nécessiterait un maximum de 400 millions de m³ par an de bois d'œuvre dans l'UE, ce qui correspond à 50 % de la croissance annuelle des forêts. Avec des hypothèses réalistes, l'impact d'une utilisation accrue du bois dans le domaine de la construction sur la demande de ressources en bois serait relativement faible.

IMPLICATIONS EN MATIÈRE DE POLITIQUES

- La construction est reconnue comme un secteur clé dans la Stratégie en faveur de l'économie circulaire, la Stratégie sur l'efficacité de l'utilisation des ressources, et l'initiative Marchés porteurs pour l'Europe de l'UE. Pour parvenir à une réduction significative de la dégradation de l'environnement dans le secteur de la construction, il faudra adopter rapidement et largement des techniques modernes de construction en bois et des technologies avancées du béton et de l'acier.
- Le secteur public pourrait introduire des normes plus strictes pour la construction et faciliter de nouvelles possibilités commerciales.
- Il faudrait créer des conditions équitables en supprimant les charges réglementaires et les coûts inutiles de la construction en bois dans les réglementations nationales en matière de construction.
- Il faudrait également actualiser les programmes de formation et de R&D pour faciliter la transition vers une construction plus durable.

SECTEUR EUROPÉEN DE LA CONSTRUCTION

Le secteur européen de la construction de bâtiments a une grande importance économique et sociale et un impact environnemental majeur.

Si l'on considère les chiffres moyens des années 2000, le volume annuel global de construction dans l'UE s'élève à environ **0,24 milliard de mètres carrés**¹. Environ 75 % de l'ensemble des constructions en Europe sont des constructions résidentielles². Chaque année, environ **2 millions de logements**, soit environ 1 million d'appartements et 0,9 million de maisons individuelles, sont achevés dans les 19 plus grands pays européens.³ Le secteur de la construction représente environ 10 % du PIB et emploie plus de 12 millions de personnes dans l'UE^{3,4}.

Les effets des bâtiments sur la santé sont également importants, car les gens passent 90 % de leur temps à l'intérieur.

L'industrie de la construction est plus réticente aux prises de risque et plus fragmentée que la plupart des autres secteurs économiques⁵. Les pratiques de construction établies sont privilégiées par rapport aux autres solutions en raison des normes, des institutions, des infrastructures et des compétences existantes⁶. Ces caractéristiques peuvent rendre les entreprises peu enclines à accepter de nouvelles pratiques qui, de leur point de vue, sont susceptibles d'entraîner un surcroît de travail et des coûts connexes à court terme⁵. C'est en partie pour ces raisons que la commercialisation de nouveaux produits, processus ou modèles commerciaux dans ce secteur prend généralement plusieurs décennies. Toutefois, ce secteur présente un potentiel important de réduction de l'impact environnemental de l'économie⁷.

QUELS SONT LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA CONSTRUCTION ?

Actuellement le secteur mondial de la construction et du bâtiment représente :

- 42 % de la consommation totale d'énergie
- 35 % des émissions de gaz à effet de serre
- 50 % des matériaux extraits
- 30 % de la consommation d'eau²

Ces chiffres sont liés au **cycle de vie complet** des bâtiments, depuis la fabrication des produits de construction jusqu'à leur démantèlement. La plupart des émissions proviennent du chauffage et du refroidissement pendant la période d'utilisation d'un bâtiment. Comme le parc immobilier européen est relativement ancien et qu'il n'est renouvelé qu'à un taux de 1 % par an, la rénovation des bâtiments est importante, en particulier lorsqu'on tente de réduire la consommation d'énergie du secteur.⁸

La production d'acier, de ciment et d'aluminium est responsable de la plus grande partie de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ dans la fabrication des produits de construction.⁹

- La production d'acier rejette en moyenne 2 tonnes de CO₂ pour 1 tonne d'acier produite.¹⁰
- 1 tonne de ciment produite libère environ 1 tonne de CO₂.

A Pays de l'association Euroconstruct: AT, BE, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, GB, HU, IE, IT, NL, NO, PL, PT, SE, SK

Dans l'UE, la consommation annuelle de ciment était en moyenne de 200 millions de tonnes dans les années 2000 ¹¹. L'industrie du ciment représentait près de 5 % des émissions annuelles de CO₂ de l'UE en 2014 ¹².

Entre 2003 et 2011, l'UE a consommé entre 1 200 et 1 800 millions de tonnes de matériaux de construction par an pour les nouvelles constructions et les rénovations ⁹. La construction et la démolition sont responsables d'environ 850 millions de tonnes de déchets par an dans l'UE ⁹.

QU'EST-CE QUE LA CONSTRUCTION EN BOIS ?

La construction en bois désigne toute forme de construction dans laquelle **l'ossature porteuse est partiellement constituée de produits à base de bois**.

Il est important de souligner qu'un **bâtiment est toujours constitué d'un mélange de matériaux**, et que le plus gros de l'apport de matériaux provient des fondations et du terrassement. Dans l'UE, le béton, les granulats (sable, gravier et pierre concassée) et les briques représentent 90 % (en poids) de tous les matériaux utilisés, tandis que le bois, la plus grande fraction biotique, ne représente actuellement que 1,6 %.

Le bois a traditionnellement été utilisé pour la construction d'habitations unifamiliales : dans l'UE, environ 8 à 10 % des habitations unifamiliales ont une ossature en bois ¹³. Toutefois, cette proportion varie selon les régions, allant de plus de 80 % dans les pays nordiques à près de zéro dans un certain nombre de pays du sud de l'Europe ¹⁴. Avec l'émergence des produits en bois d'ingénierie (PBI), tels que le bois lamellé-collé (glulam) et le bois lamellé-croisé (BLC) au cours des dernières décennies, le bois est également de plus en plus utilisé dans la construction à grande échelle, comme les immeubles résidentiels à plusieurs étages, les immeubles de bureaux, les écoles, les hôpitaux et les centres industriels et sportifs.

Le bois est un matériau renouvelable avec des variations naturelles. L'utilisation des produits du bois d'ingénierie (PBI) permet de limiter cette variation naturelle de la matière première, car les faiblesses aléatoires créées par les nœuds sont éliminées en collant des morceaux de bois ensemble selon divers arrangements. Les PBI résistent à un certain niveau de contrainte et ils répondent à des réglementations exigeantes ¹⁵, entrant ainsi en concurrence directe avec l'acier et le béton.

Il existe des idées reçues liées à l'utilisation du bois comme matériau de construction, notamment les risques d'incendie et les problèmes de résistance et de durabilité. Cependant, comme pour tout type de construction, la construction en bois doit respecter les réglementations en matière de construction qui visent à prévenir ces risques ; le plus haut bâtiment en bois en cours de construction (lors de la rédaction du présent document) à Vienne, qui aura 24 étages, en sera un bon exemple. Il est possible que les perceptions négatives concernant les risques d'incendie soient fondées non seulement sur l'expérience vécue avec des techniques de construction en bois dépassées, mais aussi sur les incendies qui ont dévasté les villes dans le passé. Cependant, ces idées reçues ne correspondent pas aux normes modernes de construction en bois. Le comportement du bois massif exposé au feu est très prévisible : il brûle à une vitesse d'environ 1 mm par minute et produit une couche protectrice de charbon en surface. Certains États membres de l'UE exigent l'installation de l'arrosage automatique dans les grandes constructions en bois, ce qui permet de prévenir efficacement les pertes humaines.

Grâce à son rapport résistance/poids avantageux et sa facilité de manipulation, le bois est un matériau parfaitement adapté à la préfabrication industrielle. La construction industrielle en bois pourrait remédier un grand nombre des pressions subies par le secteur de la construction, et notamment :

- l'efficacité (productivité, temps de construction, coûts globaux de construction) ;
- l'impact sur l'environnement (moins de déchets de construction, moins de perturbations pour le voisinage du chantier, par exemple moins de besoin d'aménagements spéciaux pour la circulation et moins d'émissions de poussière et de bruit) ;
- la sécurité et le confort des travailleurs (conditions de travail aux normes).

L'utilisation du bois comme matériau a de nombreux autres avantages potentiels, notamment la facilité d'ajustement, la résistance aux séismes (pour les zones sujettes aux séismes) et une bonne isolation, ainsi que l'impact bénéfique possible des surfaces en bois nu sur la qualité de l'air intérieur et la santé humaine (tampon anti-humidité, acoustique douce, ambiance de détente). Cependant, pour certains de ces derniers avantages, il est difficile de présenter des preuves scientifiques concluantes, en raison du large éventail de facteurs objectifs et subjectifs affectant la santé humaine.

La compétitivité économique de la construction en bois varie selon les régions et les segments du marché ¹⁴ ; elle reste souvent plus coûteuse que les autres formes de construction classique.

Cela tient encore en partie au traitement inégal des matériaux dans les réglementations nationales en matière de construction. Toutefois, à l'avenir, l'on peut s'attendre à ce que la construction en bois devienne compétitive en termes de coûts, grâce à l'apprentissage par la pratique qui permet de capitaliser un certain nombre de projets pilotes et, finalement, à la normalisation des techniques modernes de construction en bois.

COMMENT LA CONSTRUCTION EN BOIS PEUT-ELLE CONTRIBUER À RÉDUIRE LA DÉGRADATION DE L'ENVIRONNEMENT ?

De nombreuses études reconnaissent les avantages environnementaux potentiels du remplacement des matériaux de construction les plus courants par des produits à base de bois. Les recherches sur l'impact environnemental de la construction en bois concluent invariablement que les pratiques de construction à base de bois entraînent une charge environnementale moindre par rapport aux pratiques établies ^{14,16,17,18}. En particulier, la construction en bois peut réduire la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ liées à la fabrication des produits de construction, ainsi que contribuer à réduire l'utilisation globale des matériaux et ainsi la quantité de déchets.

EN RÉDUISANT LES ÉMISSIONS DE CO₂

Les produits à base de bois contribuent à l'atténuation du changement climatique à travers deux mécanismes principaux : le stockage du carbone et la substitution. Premièrement, le fait de remplacer l'acier, le béton et d'autres produits plus consommateurs d'énergie dans leur fabrication par du bois permet d'éviter une plus grande consommation de combustibles fossiles et les émissions de CO₂ qui en découlent (**substitution**). L'utilisation des résidus de sciage pour la récupération de bioénergie améliore également le bilan énergétique des produits issus du bois. Deuxièmement, les arbres séquestrent le CO₂ dans les forêts sur pied grâce à la photosynthèse (voir Figure 1), et stockent le carbone dans les produits à base de bois pendant toute la durée du cycle de vie du produit (**stockage**).

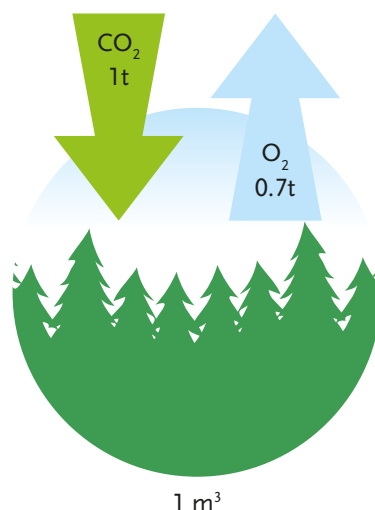


Figure 1 : les arbres séquestrent le CO₂ grâce à la photosynthèse. Lorsqu'un arbre est abattu et utilisé pour la construction, le carbone contenu dans le bois est retiré de l'atmosphère pendant des décennies, voire des siècles. Entre-temps, un autre arbre aura poussé à sa place, et aura séquestré la quantité de carbone qui sera finalement émise lorsque la construction sera déclassée. Modifié à partir de Puuinfo.

La plupart des émissions issues des bâtiments provient de leur utilisation, en particulier du chauffage et du refroidissement. Si le choix du matériau de construction n'a pas d'impact décisif sur l'efficacité énergétique des constructions, des options à base de bois existent, par exemple, pour la rénovation énergétique des façades. Toutefois, avec des exigences plus strictes en matière d'efficacité énergétique et un changement éventuel de la combinaison de combustibles pour la production d'énergie à l'avenir, il est fort possible que plus d'importance sera accordée aux émissions de CO₂ liées à la fabrication des produits de construction.

Les résultats des méta-analyses sur l'impact moyen de l'utilisation de bois au lieu du béton suggèrent une réduction moyenne de 2,1 tonnes d'émissions de CO₂ par tonne de produits du bois utilisés, bien que les estimations concernant cet impact varient considérablement (de 15 au maximum à 2,33 au minimum)^{14,16}. Ainsi, selon les meilleures estimations, **pour chaque tonne de produits de bois utilisés à la place de produits non ligneux, il y a une réduction moyenne des émissions d'environ 2 tonnes de CO₂**. Si toutes les nouvelles constructions étaient réalisées avec environ 50 % de bois en masse, cela compenserait les émissions de CO₂ provenant de la production du ciment utilisé dans le secteur du bâtiment (3,5 % des émissions totales de l'UE).

Selon les chiffres ci-dessus, il est peu probable que l'utilisation accrue du bois dans la construction ait un impact concluant sur les émissions totales de CO₂ dans l'UE. Cependant, elle pourrait être notable par rapport aux émissions actuelles issues de la production de ciment, et ne doit donc pas être négligée.

Il est toutefois difficile de garantir la fiabilité des estimations à l'échelle de l'UE, en raison des différences régionales tant au niveau des réglementations et des pratiques associées à la construction, que des conditions climatiques. Il existe d'importantes incertitudes liées, par exemple, à la part supposée du bois dans l'ensemble des matériaux utilisés dans la construction (dans la pratique, elle peut être aussi faible que 10 à 30 % en termes de poids, même si la charpente est faite de produits issus du bois)¹⁹, ainsi que sur les éléments de comparaison (si le bois est comparé au ciment Portland ordinaire ou aux matériaux de construction avancés dont les émissions sont nettement plus faibles). Pour parvenir à une réduction significative des émissions dans la construction de bâtiments, il faudra adopter rapidement et largement des techniques modernes de construction en bois et des technologies de pointe du béton et de l'acier.

EN RÉDUISANT L'UTILISATION DE MATÉRIAUX ET LES DÉCHETS

La construction est l'un des principaux secteurs responsables de l'épuisement des ressources naturelles. L'intensité d'utilisation des ressources dans la construction implique le besoin de changer la mentalité dans le secteur vers une reconnaissance du modèle circulaire. Une « économie circulaire » vise un système fermé en :

- maximisant la circulation des flux de produits, de composants et de matières en réduisant l'apport de matières et les déchets, en recyclant, en réutilisant et en partageant ;
- maximisant la valeur des matériaux (€/kg) ²¹.

Ces aspects sont en partie liés, car plus la valeur des déchets est élevée, plus on est incité à les valoriser. Les coûts élevés du recyclage, associés à la faible valeur des déchets, peuvent expliquer en partie du pourquoi les systèmes de recyclage efficaces ne visent que les métaux de grande valeur.

Les indicateurs de circularité actuellement disponibles sont généralement appliqués aux biens de consommation de courte durée, plutôt qu'aux bâtiments et infrastructures ²¹. Cela signifie qu'il n'est pas possible d'affirmer qu'un matériau ou une pratique de construction est plus circulaire qu'un autre, car cela dépend toujours de la perspective et de la définition des limites du système. Toutefois, le caractère renouvelable (biodégradabilité) du bois signifie que le bois de démolition peut éventuellement être brûlé et que les émissions sont réabsorbées par les forêts en croissance ²², ce qui pourrait justifier que l'utilisation du bois soit caractérisée comme un processus circulaire.

La construction en bois présente des avantages en termes de réduction de l'apport de matériaux et donc des déchets. Du point de vue de la « hiérarchie des déchets » (voir Figure 2), la prévention de la production de déchets est la meilleure option. Le fait de remplacer un cadre en béton par un cadre en bois réduit considérablement la quantité totale de matériaux utilisés dans une construction, c'est-à-dire qu'il évite une utilisation accrue de matériaux et des déchets en raison du poids quatre à cinq fois inférieur du bois par rapport au béton. Un cadre structural en bois peut réduire de moitié la consommation totale de matériaux de construction et de 70 % le poids du cadre structural ¹⁹. Un cadre structural plus léger permet également de réduire l'apport de matériaux dans les fondations. La préfabrication industrielle est un moyen efficace pour réduire les déchets sur le chantier. Les résidus de fabrication des produits en bois (par exemple, pour la construction), tels que les copeaux, la sciure et l'écorce, sont utilisés pour la production de panneaux à base de bois, de bioénergie et de produits biochimiques qui peuvent remplacer les matières premières d'origine fossile.

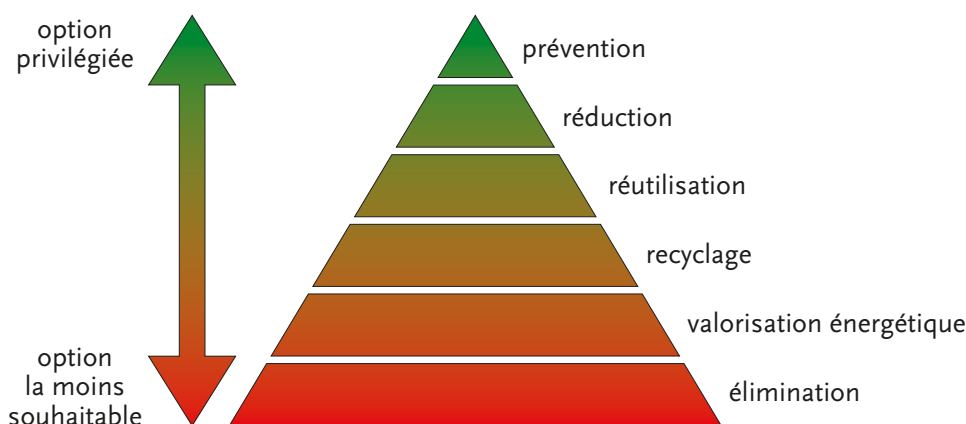


Figure 2: Hiérarchie des déchets basée sur la directive 2008/98/CE relative aux déchets.

Les flux de déchets les plus importants sont créés lors de la rénovation et du déclassement de la construction. La directive-cadre de l'UE relative aux déchets (2008/98/CE) stipule que 70 % des déchets de construction et de démolition non dangereux doivent être préparés en vue de leur réutilisation, recyclés ou faire l'objet d'une autre valorisation matérielle d'ici 2020. Au moment de l'introduction de la directive, le taux de recyclage des déchets de construction dans l'UE était en moyenne de 63 %, et pour le bois de 30 %²³, avec des différences significatives entre les pays.

Un tiers du bois de démolition est utilisé directement pour la production d'énergie, ce qui, du point de vue de la hiérarchie des déchets, est considéré comme l'option la moins favorable. Trouver des options de recyclage plus efficaces pour le bois de démolition constituera un défi, en raison de l'imprégnation chimique du bois ou de l'utilisation de colles, peintures et autres mélanges de matériaux à base d'huile. Un aspect important sera l'utilisation en cascade du bois²⁴, c'est-à-dire l'allongement de la durée de vie du matériau bois dans le circuit de production avant sa combustion, par exemple, dans la séquence d'applications suivante : Poutre > panneau de plancher > cadre de fenêtre > panneau à copeaux orientés > panneau de fibres > combustion.

Une meilleure conception des bâtiments et des produits de constructions sera nécessaire, autant pour assurer la flexibilité et la modularité des bâtiments pour une durée de vie prolongée, que pour améliorer la rentabilité des produits de constructions et la facilité de leur entretien, réutilisation, remise en état ou refabrication²⁷.

IMPACT SUR LES FORÊTS

L'approvisionnement en bois de l'UE repose sur les principes de **gestion durable des forêts**²⁸.

La construction en bois n'est aucunement liée à la déforestation mondiale, qui est principalement causée par les utilisations concurrentes des terres dans les pays en développement.

Étant donné que la majorité des revenus des propriétaires forestiers issus de la vente de bois provient de grumes de grand diamètre, l'augmentation de la construction en bois peut inciter à une gestion et un entretien actifs des forêts comme puits de carbone à long terme. L'impact sur les matières premières de l'éventuelle augmentation de la construction en bois peut rester modéré. Une part de marché de 100 % de la construction en bois de tous les bâtiments en Europe se traduirait par une demande annuelle directe maximale de 400 millions de m³ de bois. Cela équivaut à environ 50 % de la croissance annuelle des forêts de l'UE, soit 50 millions de m³ de plus que le bois rond industriel produit dans l'UE en 2015.^B

Avec des hypothèses réalistes, l'impact de l'augmentation de la construction en bois sur la demande de ressources en bois reste relativement faible. Par exemple, avec une part de marché de 20 % et une utilisation égale de charpentes massives et légères, la demande annuelle de bois rond serait d'environ 50 millions de m³ dans l'UE.

B Le parc immobilier de l'UE est renouvelé à un taux annuel de 1 %. Une surface de 240 millions de m² est construite chaque année¹. On peut supposer que l'intensité d'utilisation du bois dans la construction en bois varie de 0,2 m³/m² (charpente légère) à 0,6 m³/m² (charpente massive). Ainsi, un calcul simple suggère que 100 % des marchés européens de la construction pourraient être couverts avec 45-145 millions de m³ de produits du bois, ce qui se traduit par environ 100-400 millions de m³ de bois brut (le facteur de conversion en équivalent bois rond (EBR) allant de 2,0 pour le bois scié à 2,8 pour le bois lamellé croisé (BLC). Étant donné que l'augmentation des forêts disponibles pour l'approvisionnement en bois était de 769 millions de m³ en 2010 dans l'UE (Eurostat), une part de marché de 100 % de la construction en bois en Europe nécessiterait un maximum de 53 % de la croissance annuelle des forêts européennes.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'utilisation du bois peut réduire l'impact environnemental de la construction, notamment en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de l'utilisation globale des matériaux de construction. Cependant, pour réduire de manière significative l'impact environnemental de la construction, il faudra également réduire l'impact des matériaux de construction les plus courants (béton et acier).

Il existe toute une série de politiques au niveau de l'UE et des États membres visant à renforcer les aspects de durabilité et d'efficacité des ressources du secteur du bâtiment. Ces politiques pourraient soutenir directement ou indirectement l'utilisation de matériaux moins polluants, tels que le bois, dans la construction. Toutefois, la première étape doit être la création de conditions de concurrence équitables pour les marchés de la construction, en supprimant les charges réglementaires et financières inutiles de la construction en bois dans les réglementations nationales.

Le secteur public pourrait faciliter la réduction de l'impact environnemental de la construction en créant de nouvelles opportunités commerciales et en instaurant l'utilisation de matériaux et de pratiques ayant un impact environnemental moindre. Un cadre d'évaluation unifié, qui limite l'actuelle fragmentation des régimes relatifs à l'impact environnemental de la construction, est également une priorité. Des informations objectives provenant d'un tel cadre pourraient être utilisées pour les marchés publics écologiques afin de faciliter l'adoption par le marché de nouvelles pratiques de construction plus durables et plus efficaces. Des programmes d'éducation et de nouveaux R&D et actualisés seraient également nécessaires pour faciliter la transition vers une construction plus durable.

Pour des raisons historiques et culturelles, la construction en bois a surtout eu une importance régionale. Il reste à voir si elle pourrait susciter une plus grande concurrence dans le secteur de la construction, y compris en dehors des pays nordiques, de l'Europe centrale et du Royaume-Uni. Une concurrence accrue pourrait offrir davantage d'options, réduire les coûts, améliorer la qualité et, en fin de compte, réduire l'impact environnemental de la construction.

GLOSSAIRE

Bois lamellé croisé (BLC) : un produit en bois massif, composé de plusieurs couches de bois de sciage, qui sont collées transversalement une couche sur deux. Concept semblable à celui du contreplaqué, mais suffisamment épais pour être utilisé comme structure porteuse dans les bâtiments à plusieurs étages et, par exemple, les ponts.

Produits de bois d'ingénierie (PBI) : dans les PBI, des couches de bois, sciées ou pelées, sont collées ensemble pour améliorer la stabilité dimensionnelle et les performances mécaniques du produit par rapport au bois massif. Le terme « d'ingénierie » fait référence à la fabrication de produits à base de bois pour résister à un certain niveau de contrainte et pour satisfaire à des réglementations de construction exigeantes. Parmi les produits d'ingénierie les plus courants, on trouve le bois lamellé-collé, le bois de placage lamellé (BPL), les solives en I et le bois lamellé croisé (BLC).

RÉFÉRENCES

- ¹ Economidou, M. (ed.). 2011. Europe's buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings, Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- ² EC 2011. Roadmap to a Resource Efficient Europe, European Commission, COM/2011/571.
- ³ Eurostat 2016. Structural business statistics database. Accessed 22/11/2016. Available at: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/structural-business-statistics/data/database>
- ⁴ World Bank 2016. World development indicators. Accessed 22/11/2016. Available at: <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators>
- ⁵ Arora, S.K., Foley, R.W., Youtie, J., Shapira, P. and Wiek, A. 2014. Drivers of technology adoption – the case of nanomaterials in building construction. *Technological Forecasting and Social Change* 87: 232–244.
- ⁶ Mahapatra K. and Gustavsson L. 2008. Multi-storey timber buildings: Breaking industry path dependency. *Building Research & Information* 36 (6): 638–648.
- ⁷ Ruuska, A. and Häkkinen, T. 2014. Material efficiency on building construction. *Buildings* 4:266–294.
- ⁸ Artola, I., Rademaekers, K., Williams, R. and Yearwood, J. 2016. Boosting building renovation: What potential and value for Europe? Policy Department A: Economic and Scientific Policy, European Parliament, Brussels.
- ⁹ Herczeg, M., McKinnon, D., Milios, L., Bakas, I., Klaassens, E., Svatikova, K. and Widerberg, O. 2014. Resource efficiency in the building sector. Final report, Prepared for European Commission by ECORYS and Copenhagen Resource Institute, Rotterdam, the Netherlands.
- ¹⁰ IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007.
- ¹¹ CEMBUREAU 2016. Activity Report 2015. The European Cement Association, Brussels, Belgium.
- ¹² Hasanbeigi, A., Price, L. and Lin, E. 2012. Emerging energy-efficiency and CO₂ emission reduction technologies for cement and concrete production: A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 6220–6238.
- ¹³ Alderman, D. 2013. Housing and construction markets. In: UNECE/FAO (ed.). *Forest Products Annual Market Review 2012–2013*. Geneva Timber and Forest Study Paper 33. Forestry and Timber Section, Geneva, Switzerland. Pp. 115–122.
- ¹⁴ Sathre, R. and Gustavsson, L. 2009. A state-of-the-art review of energy and climate effects of wood product substitution, Växjö University, Report No. 57.
- ¹⁵ Karacabeyli, E. and Douglas, B. 2013. CLT Handbook, US Edition, FPInnovations and Binational Softwood Lumber Council, Point-Claire, Quebec.
- ¹⁶ Sathre, R. and O'Connor, J. 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environ. Sci. & Policy* 13: 104–114.
- ¹⁷ Ritter, M., Skog, K. and Bergman, R. 2011. Science supporting the economic and environmental benefits of using wood and wood products in green building construction, Unites States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technic Report FPL-GTR-206.
- ¹⁸ Oliver, C.D., Nassar, N.T., Lippke, B.R. and McCarter, J.B. 2014. Carbon, fossil fuel, and biodiversity mitigation with wood and forests. *J. Sustainable For.* 33: 248–275.
- ¹⁹ Kuittinen, M., Ludvig, L., Weiss, G., 2013. Wood in carbon efficient construction: tools, methods and applications. CEI-Bois, eCO₂ project.
- ²⁰ Rüter, S., Werner, F., Forsell, N., Prins, C., Vial, E., Levet, A., 2016. *ClimWood2030-Climate benefits of material substitution by forest biomass and harvested wood products: Perspective 2030*. Final report. Thünen Report.
- ²¹ Sitra 2016. Leading the cycle. Finnish road map to a circular economy 2016–2025, Sitra studies 121.
- ²² Thornback, J. and Adams, K. 2016. Knowledge resource for circular economy thinking in construction. The Green Construction Board.
- ²³ Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D. and Heinz, M. 2015. How circular is the global economy?: An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. *J. Ind. Ecol.* 19: 765–777.
- ²⁴ Pasanen, P., Kortenien, J. and Sipari, A. 2011. Passiivitalon asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälki. Tapaustutkimus kerrostalon ilmastovaikutuksista. Bionova Consulting, Sitran selvityksiä 63.
- ²⁵ Pirhonen, I., Heräjärvi, H., Saukkola, P., Rätty, T. and Verkasalo, E. 2011. Puutuotteiden kierrätys Finnish Wood Research Oy: n osarahoittaman esiselvityshankkeen loppuraportti.
- ²⁶ EC 2015. Closing the Loop – an EU Action Plan for the Circular Economy, European Commission, Communication COM (2015) 614/2.
- ²⁷ Judl, J., Hildén, M., Antikainen, R., Temmes, A., Kuisma, M. and Peck, P. 2016. The renewal of forest-based industries needs to focus on environmental opportunities and challenges, *Renewal of manufacturing* 10/2016.
- ²⁸ Barbati, A., Bastrup-Birk, A., Baycheva, T., Bonhomme, C., Bozzano, M., Bücking, W., Camia, A., Caudullo, G., Cienciala, E., and Cimini, D. 2011. State of Europe's forests 2011: Status & trends in sustainable forest management in Europe. UNECE, FAO.



EUROPEAN FOREST
INSTITUTE

www.efi.int