

# CONSTRUIRE EN BOIS

Le journal de la construction  
commerciale en bois

du **labo**  
AU **CHANTIER**

## L'énergie intrinsèque de l'enveloppe du bâtiment dans un contexte de mix énergétique à faible impact environnemental

La prise de conscience environnementale des dernières décennies a amené le secteur de la construction à mettre en œuvre des solutions afin d'améliorer la performance énergétique des bâtiments. Bien que ces améliorations permettent de diminuer leurs impacts environnementaux pendant la phase d'utilisation, elles ont eu l'effet d'augmenter l'importance relative des impacts intrinsèques, ceux-ci incluant l'énergie intrinsèque ainsi que toutes les ressources utilisées et les émissions libérées dans l'air, l'eau et le sol pour les phases de production et de construction des matériaux, pour leur remise à neuf et leur maintenance lors de la phase d'utilisation et pour leur traitement en fin de vie. Dans un contexte de mix énergétique à faible impact environnemental, comme c'est le cas au Québec avec l'hydroélectricité, l'énergie intrinsèque prend encore plus d'importance. Dans cette situation, l'énergie intrinsèque des matériaux de construction peut



### Le CIRCERB

La chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB) de l'Université Laval est une plateforme académique multidisciplinaire et intégrée jumelée à un consortium industriel. Évoluant au sein de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique de l'Université Laval, la chaire oeuvre sur tout le réseau de création de valeur du secteur de la construction, dans le but de développer des solutions écoresponsables, qui utilisent le bois pour réduire l'empreinte écologique des bâtiments. Trois axes de recherche orientent son programme de recherche du CIRCERB: Concevoir, Construire et Exploiter.

### La publication

*Du Labo au chantier* est une nouvelle publication de Cecobois qui a pour objectif la diffusion des travaux de recherche du CIRCERB. Elle vise la vulgarisation de projets réalisés par des étudiants à la maîtrise, au doctorat.

représenter jusqu'à 46 % de l'énergie du cycle de vie d'un bâtiment sur une durée de vie de 50 ans. La structure et de l'enveloppe du bâtiment combinés, sont responsables de 50 % de cette énergie.

Afin de faire la lumière sur les impacts environnementaux des matériaux d'enveloppe du bâtiment, Rosaline Larivière-Lajoie a réalisé un projet de maîtrise à la Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois de l'Université Laval, sous la supervision du professeur Pierre Blanchet. L'objectif principal du projet était de quantifier la contribution des impacts intrinsèques initiaux aux impacts environnementaux du cycle de vie d'assemblages de mur extérieur pour un bâtiment à bureaux dans un contexte de mix énergétique à faible impact environnemental. Le projet visait plus spécifiquement à :

1. Évaluer les impacts environnementaux d'assemblages de mur identifiés et proposer des pistes de solution pour réduire ces impacts;
2. Identifier les différents facteurs influençant la contribution des impacts intrinsèques initiaux aux impacts environnementaux du cycle de vie des assemblages de mur;
3. Explorer l'effet de la variation de certains paramètres spécifiques sur la contribution des phases du cycle de vie des assemblages de mur.

## Méthode

Le bâtiment de référence est un immeuble à bureaux de taille moyenne modélisé par des chercheurs dans le cadre d'une initiative du Département Américain de l'Énergie afin de soutenir la norme ANSI/ASHRAE/IES 90.1. Le bâtiment théorique a été choisi puisqu'il était déjà modélisé dans Energy Plus.

L'analyse du cycle de vie du berceau à la tombe a été réalisée sur huit assemblages de murs utilisant différents systèmes constructifs. Plus précisément, les assemblages suivants ont été considérés :

- 3 en ossature légère en bois (**LFC** = *light frame construction*);
- 1 en ossature légère en acier (**LSF** = *Light Steel Framing*);
- 2 en bois lamellé-croisé (**CLT** = *Cross-laminated timber*);
- 2 en bois lamellé-collé dans une approche poteau-poutre (**PB** = *Glued-laminated timber*).

Les huit assemblages de mur étudiés dans ce projet sont présentés dans le tableau 1 et sont détaillés dans le tableau 2.

**Tableau 1** Les différents assemblages de mur étudiés

	SYSTÈME STRUCTURAL	CONVENTIONNEL	HAUTE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE	FORT CONTENU BIOSOURCÉ
LFC				
LSF				
CLT				
PB				

**Tableau 2** Assemblages de mur détaillés utilisés pour l'étude de cas, par m<sup>2</sup>

Assemblages	Revêtement extérieur et membrane résistante à l'eau	Revêtement intermédiaire	Système structural	Isolation	Pare-vapeur et revêtement intérieur
LFC-1	Fibrociment + fourrures + feuille de polypropylène	25 mm <b>polystyrène expansé</b>	Montants en bois 38 mm x 140 mm @ 400 o.c.	<b>Laine de verre</b> (140 mm)	Feuille de polyéthylène + fourrures + gypse
LFC-2	Fibrociment + fourrures + Tyvek	25,4 mm <b>polystyrène expansé + OSB</b>	Montants en bois 38 mm x 140 mm @ 400 o.c.	<b>Laine de verre</b> (140 mm)	Feuille de polyéthylène + fourrures + gypse
LFC-3	Fibrociment + fourrures + Tyvek	40 mm panneau de fibres <b>STEICO</b>	Montants en bois 38 mm x 140 mm @ 400 o.c.	<b>Laine de chanvre</b> (140 mm)	Feuille de polyamide + fourrures + gypse
LSF	Fibrociment + fourrures	50,8 mm <b>polystyrène extrudé</b>	Montants en acier 43 mm x 152 mm @ 400 o.c.	<b>Laine de verre</b> (152 mm)	Feuille de polyéthylène + fourrures + gypse
CLT-1	Fibrociment + fourrures + membrane autocollante	---	CLT (105 mm)	<b>Laine de roche</b> (114,2 mm)	Fourrures + gypse
CLT-2	Fibrociment + fourrures	25,4 mm <b>laine de roche semi-rigide</b>	CLT (105 mm) + Montants en bois 45 mm x 89 mm @ 400 o.c.	<b>Laine de roche</b> (88,9 mm)	Feuille de polyéthylène + fourrures + gypse
PB-1	Fibrociment + fourrures + membrane autocollante	12,7 mm <b>panneau de gypse avec mats de fibres de verre</b>	Lamellé-collé + montants en acier 43 mm x 152 mm @ 400 o.c.	<b>Laine de roche</b> (114,2 mm)	Fourrures + gypse
PB-2	Fibrociment + fourrures	25,4 mm laine de roche semi-rigide	Lamellé-collé + montants en bois 45 mm x 140 mm @ 400 o.c.	Laine de roche (140 mm)	Feuille de polyéthylène + fourrures + gypse

**Tableau 3** Quantité de chaque composante utilisée (kg) et résistance thermique effective (m<sup>2</sup>K/W) par assemblage de mur, par m<sup>2</sup>

Composante	LFC-1	LFC-2	LFC-3	LSF	CLT-1	CLT-2	PB-1	PB-2
Revêtement extérieur et membrane résistante à l'eau	12,6	12,4	12,4	12,4	12,9	12,4	12,9	12,4
Revêtement intermédiaire	1,0	7,9	8,4	1,8	0,0	2,0	9,0	2,0
Système structural	5,5	5,5	5,5	5,2	54,1	58,2	70,6	71,9
Isolation	5,6	1,1	3,5	6,1	9,2	2,8	9,2	4,5
Membrane pare-vapeur et revêtement intérieur	16,9	16,9	17,0	16,9	16,9	16,9	15,6	17,1
<b>Total</b>	<b>41,7</b>	<b>43,8</b>	<b>46,8</b>	<b>42,4</b>	<b>93,1</b>	<b>92,4</b>	<b>117,3</b>	<b>108,0</b>
Résistance thermique effective (m <sup>2</sup> K/W)	3,78	3,78	3,81	3,71	3,78	3,81	3,70	3,69

La quantité de chaque composante utilisée et la résistance thermique effective (m<sup>2</sup>K/W) par assemblage de mur, par m<sup>2</sup> (kg) ont également été définies (tableau 3).

Afin d'assurer la comparabilité entre les différents systèmes évalués, il importe d'établir certains paramètres. Ces paramètres seront communs entre les systèmes. En effet, il faut définir l'unité fonctionnelle, la fonction et les frontières du système à l'étude. Dans le cadre de cette étude, ces informations sont les suivantes :

- **Unité fonctionnelle** : 1 m<sup>2</sup> d'assemblage de mur porteur avec une résistance thermique effective cible de 3,80 m<sup>2</sup>K/W pour le mur extérieur d'un bâtiment à bureaux de trois étages dans la ville de Québec (Canada) pour une durée de vie de 50 ans;
- **Fonction du système** : contrôler les échanges entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment conformément aux codes du bâtiment applicables;
- **Frontières du système** : du berceau au tombeau (*Cradle-to-grave*), c'est-à-dire de l'extraction des matières premières jusqu'à la disposition des déchets en fin de vie.

Les impacts environnementaux sur le cycle de vie de ces différents assemblages ont été évalués en utilisant le logiciel *openLCA*, la base de données *ecoinvent* et la méthode d'évaluation des impacts TRACI. La consommation énergétique lors de la phase d'utilisation a été simulée à l'aide du logiciel *EnergyPlus*.

Afin de réaliser l'analyse du cycle de vie des différents assemblages de mur, des hypothèses ont été posées dans chacune des phases du cycle de vie. Celles-ci sont présentées ci-dessous.

**Phase de production:** Tous les matériaux de construction ont été fabriqués à partir de matières premières vierges, aucun matériau recyclé n'a été pris en compte.

**Phase de construction:** Deux modes de construction ont été considérés: la construction hors site pour les assemblages LFC et LSF et la construction sur site pour les assemblages en bois massif (CLT et PB). Ces deux méthodes de construction diffèrent notamment par la quantité de déchets générés durant le processus (1 % pour la construction hors site et 10 % pour la construction sur site). Les impacts environnementaux liés à l'énergie de construction et aux déplacements des travailleurs ont dû être extrapolés, car peu d'informations étaient disponibles. Les distances de transport ont été estimées à partir de la distance moyenne entre les fabricants et le site de construction. Les impacts liés à la fabrication des différents systèmes d'attache ont été inclus.

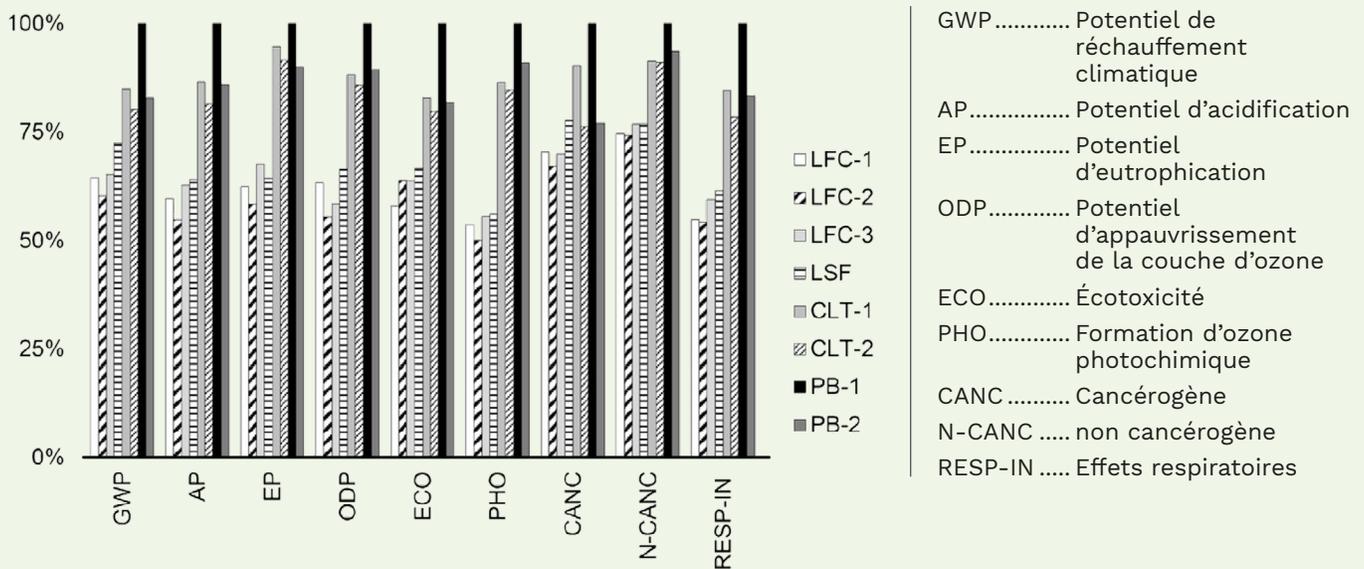
**Phase d'opération:** Seuls les impacts environnementaux associés au chauffage et à la climatisation du bâtiment et à la maintenance des matériaux de construction ont été considérés lors de cette phase. L'énergie pour le chauffage et la climatisation du bâtiment a été modélisée avec *EnergyPlus*. La source d'énergie considérée est l'électricité fournie par le réseau local d'Hydro-Québec. Plusieurs simulations ont été effectuées avec différents assemblages de murs afin de voir si la masse thermique et la variation de la résistance thermique effective avaient un effet sur la consommation énergétique. Les résultats de ces simulations suggèrent que l'effet de ces variations était négligeable. Une durée de vie de 50 ans a été choisie. En ce qui concerne la maintenance des matériaux de construction, seuls les impacts



associés à l'entretien (nettoyage à l'eau et peinture) du revêtement extérieur et du gypse intérieur ont été considérés.

**Phase de fin de vie:** Le bâtiment a été considéré démolé en fin de vie. L'énergie de démolition a été considérée égale à l'énergie de construction. Après démolition, tous les matériaux sont acheminés vers une usine de tri avant d'être envoyés vers leurs sites de traitement respectifs. La plupart des matériaux ont été considérés envoyés aux sites d'enfouissement. Cependant, un certain pourcentage des membranes plastiques, de l'acier et du gypse a été considéré envoyé à des usines de recyclage. Les produits du bois ont été considérés transformés en matières premières pour la fabrication de panneaux de particules

**Carbone biogénique:** Le carbone biogénique est le carbone séquestré dans les matériaux biosourcés lors de la photosynthèse. Il n'y a pas encore de consensus dans la communauté scientifique ou d'assistance quant à la façon d'évaluer les impacts du carbone biogénique sur le cycle de vie. La littérature présente plusieurs méthodes. Dans ce projet, le carbone biogénique a été considéré conformément aux règles de catégorie de produits (RCP) pour les produits de bois structuraux et architecturaux nord-américains. Cette méthode a été choisie puisqu'elle est facilement réalisable et qu'elle donne un bon indicateur de l'impact sur les conclusions lié à l'inclusion du carbone biogénique dans les résultats.



**Figure 1** Impacts relatifs des assemblages de mur pour les différentes catégories d’impacts provenant de TRACI 2.1, excluant le carbone biogénique

## Résultats

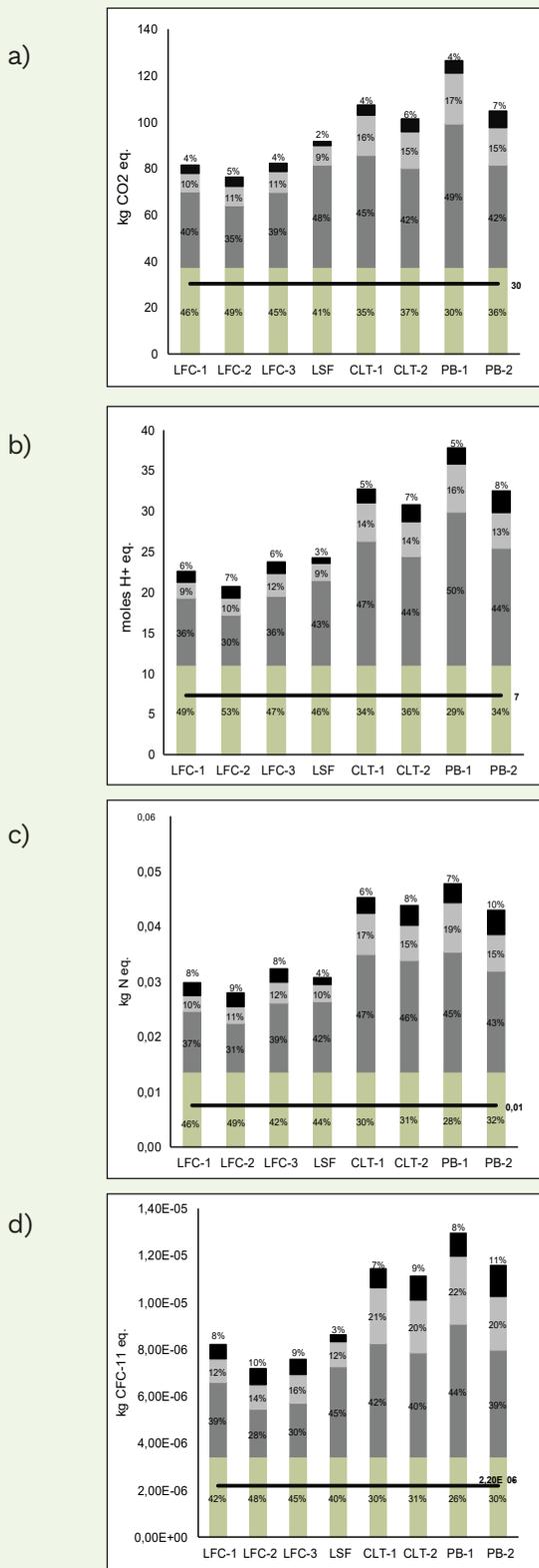
Les impacts relatifs des différents assemblages de murs pour les neuf catégories d’impacts intermédiaires provenant de TRACI 2.1 sont présentés à la Figure 1. Les indicateurs ayant différentes échelles, l’impact relatif des assemblages de mur a été comparé au maximum pour chaque indicateur (fixé à 100 %). Il est possible de remarquer que pour la majorité des catégories d’impacts, les assemblages en ossature légère en bois (LFC) présentent les impacts les plus bas, suivis par LSF et les assemblages en bois massif.

L’objectif de cette étude étant de quantifier la contribution des impacts intrinsèques initiaux aux impacts environnementaux du cycle de vie des assemblages de murs, la contribution des différentes phases du cycle de vie à l’étude a donc été évaluée pour quatre catégories d’impact: le potentiel de réchauffement climatique, le potentiel d’acidification, le potentiel d’eutrophication et le potentiel d’appauvrissement de la couche d’ozone (Figure 2).

Les résultats suggèrent que ces impacts peuvent être la source dominante d’impacts environnementaux dans un contexte d’un mix énergétique à faible impact environnemental. Dans la présente étude, cette affirmation est vraie pour LSF et les assemblages en bois

**« (...) pour la majorité des catégories d’impacts, les assemblages en ossature légère en bois (LFC) présentent les impacts les plus bas, suivis par LSF et les assemblages en bois massif. »**

massif, pour lesquels la contribution des impacts intrinsèques initiaux était plus importante que celle de la phase d’utilisation. La contribution de ces impacts variait de 52 % à 57 % et de 57 % à 66 % pour LSF et les assemblages de bois massifs, respectivement. Cette affirmation était partiellement vraie dans le cas des assemblages LFC pour lesquels la contribution des impacts intrinsèques variait de 40 % à 51 %.



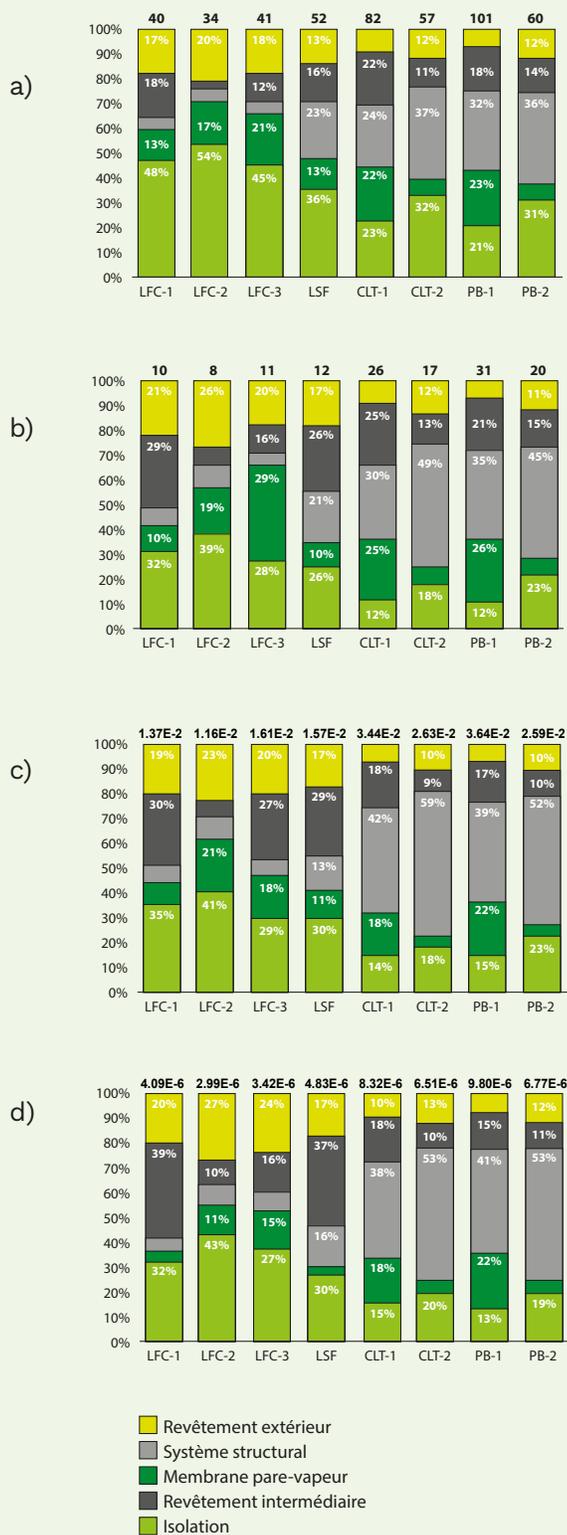
**Figure 2** Impacts environnementaux des phases du cycle de vie et leur contribution aux impacts totaux du cycle de vie des assemblages de mur pour (a) potentiel de réchauffement climatique, (b) potentiel d'acidification, (c) potentiel d'eutrophication et (d) potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone

Non seulement les assemblages en bois massif avaient des impacts relatifs plus élevés que les autres assemblages dans la plupart des neuf catégories d'impact, mais leur contribution aux impacts intrinsèques initiaux était également plus grande dans les quatre catégories d'impacts considérées. Puisque les impacts de la phase d'utilisation sont égaux pour chaque assemblage (même résistance thermique effective), la différence entre les contributions des différentes phases du cycle de vie s'explique par la différence entre les impacts intrinsèques initiaux des assemblages de murs évalués. Deux facteurs peuvent affecter ces impacts : le choix des matériaux et leur quantité.

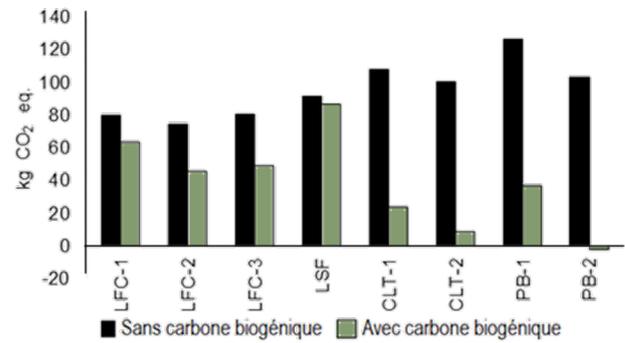
Afin de comprendre l'effet de ces deux facteurs sur les impacts intrinsèques initiaux, des analyses de contribution ont été réalisées. La contribution des matériaux aux impacts intrinsèques initiaux des assemblages muraux est présentée à la Figure 3.

Bien qu'il ait déjà été prouvé que le choix des matériaux était important (bois vs acier, par exemple), la moins bonne performance environnementale des assemblages de bois massif s'explique plutôt par la plus grande quantité de matériaux utilisés pour le système structural de ces assemblages comparativement à celle utilisée pour les assemblages en ossature légère (LFC et LSF). Puisque l'analyse de cycle de vie des assemblages a été réalisée sur la base d'une même résistance thermique effective et non sur la base d'une même capacité portante, les résultats ont désavantagé les assemblages en bois massifs. Les résultats auraient été différents si les assemblages à l'étude avaient été comparables en matière de capacité portante.

La considération du carbone biogénique est une autre variable qui peut grandement influencer les résultats de ce projet. Le carbone biogénique étant séquestré dans les matériaux biosourcés lors de la photosynthèse, son inclusion dans les résultats devrait affecter davantage les assemblages avec un fort contenu biosourcé. La Figure 4 montre l'effet d'inclure le carbone biogénique lors de la phase de production des matériaux sur les impacts environnementaux totaux sur le cycle de vie pour le potentiel de réchauffement climatique. Comme les assemblages en bois massifs contiennent la plus grande quantité de matériaux biosourcés, les résultats suggèrent désormais qu'ils ont un impact environnemental (potentiel de réchauffement climatique) plus



**Figure 3** Contribution des matériaux aux impacts intrinsèques initiaux des assemblages muraux pour (a) potentiel de réchauffement climatique, (b) potentiel d'acidification, (c) potentiel d'eutrophication et (d) potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone



**Figure 4** Effet d'inclure le carbone biogénique lors de la phase de production des matériaux sur les impacts environnementaux totaux sur le cycle de vie pour le potentiel de réchauffement climatique

**« Les résultats suggèrent que l'inclusion des impacts des systèmes d'attaches dans la phase de construction peut augmenter leur contribution aux impacts totaux du cycle de vie qui ont été évalués sur une durée de vie de 50 ans jusqu'à 3,6 % selon la catégorie d'impact évaluée. »**

faible que les autres assemblages lorsque le carbone biogénique est pris en compte.

Des analyses de sensibilité ont été réalisées pour en savoir plus sur l'influence de la variabilité et de l'incertitude de différents paramètres d'entrée sur la contribution des impacts intrinsèques initiaux. Un paramètre est considéré comme sensible si sa variation affecte considérablement le résultat final.

La première analyse de sensibilité effectuée a démontré l'effet d'inclure les impacts environnementaux associés à la fabrication des systèmes d'attache sur la contribution de la phase de construction au cycle de vie. Le Tableau 5 présente cet effet pour les différents assemblages muraux pour quatre catégories

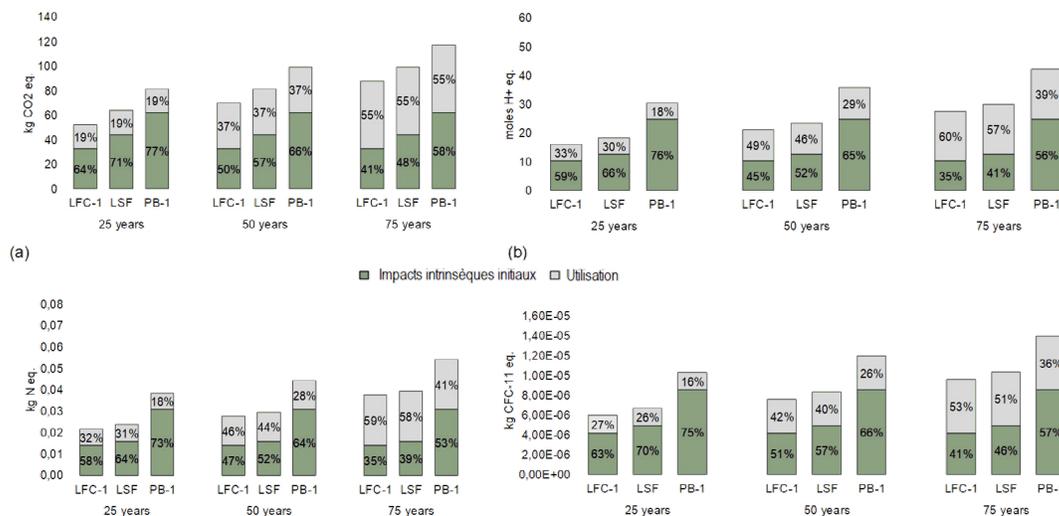
## « (...) plus la durée de vie est longue et plus les impacts liés à la phase d'utilisation augmentent (...) »

**Tableau 5** influence des systèmes d'attaches sur la contribution de la phase de construction au cycle de vie pour quatre catégories d'impacts

Assemblages de mur	Potentiel de réchauffement climatique	Potentiel d'acidification	Potentiel d'eutrophication	Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone
LFC-1	2,1 %	2,0 %	1,0 %	0,8 %
LFC-2	2,7 %	2,6 %	1,2 %	1,1 %
LFC-3	1,9 %	1,7 %	0,8 %	0,8 %
LSF	1,9 %	1,9 %	0,9 %	0,8 %
CLT-1	3,5 %	3,1 %	3,2 %	2,0 %
CLT-2	2,3 %	2,0 %	0,9 %	0,8 %
PB-1	<b>3,6 %</b>	3,2 %	3,3 %	1,9 %
PB-2	2,2 %	1,9 %	0,9 %	0,8 %

d'impacts. Les résultats suggèrent que l'inclusion des impacts des systèmes d'attaches dans la phase de construction peut augmenter leur contribution aux impacts totaux du cycle de vie, qui ont été évalués sur une durée de vie de 50 ans, jusqu'à 3,6 % selon la catégorie d'impact évaluée. Ces résultats sont en accord avec la littérature qui suggère que les impacts environnementaux des fixations ne doivent pas être négligés dans les analyses de cycle de vie.

L'influence de la durée de vie du bâtiment sur la contribution des impacts intrinsèques initiaux au cycle de vie a aussi été évaluée. Les résultats présentés à la Figure 5 suggèrent que plus la durée de vie est longue et plus les impacts liés à la phase d'utilisation augmentent alors que les impacts intrinsèques initiaux diminuent. En effet, la contribution des impacts intrinsèques initiaux était plus importante lorsque la durée de vie était de 25 ans comparativement à une durée de vie de 50 ou 75 ans. Cette analyse de sensibilité montre que la durée de vie choisie peut affecter de manière significative les résultats et leur interprétation.



**Figure 5** Influence de la durée de vie sur la contribution des impacts intrinsèques initiaux au cycle de vie pour (a) le potentiel de réchauffement climatique, (b) le potentiel d'acidification, (c) le potentiel d'eutrophication et (d) le potentiel de destruction de l'ozone.

## Conclusion

Cette étude visait à quantifier la contribution des impacts intrinsèques initiaux aux impacts environnementaux du cycle de vie d'assemblages de mur extérieur pour un bâtiment à bureaux dans un contexte de mix énergétique à faible impact environnemental. Dans un tel contexte, les impacts intrinsèques initiaux peuvent devenir la principale source d'impacts environnementaux dans le cycle de vie des assemblages de murs. Ce fut le cas pour cinq des huit assemblages considérés, soit principalement pour LSF et pour les assemblages en bois massif. Leur quantité sont d'ailleurs deux facteurs à considérer lors de l'évaluation des impacts environnementaux des assemblages de mur. L'inclusion ou non du carbone biogénique peut aussi affecter significativement les résultats de l'étude. De plus, la considération des systèmes d'attaches et de la durée de vie du bâtiment sont d'autres facteurs qui peuvent influencer les résultats obtenus.

**« (...) l'inclusion ou non du carbone biogénique peut significativement affecter les résultats de l'étude. »**



### Partenaires du CIRCERB



### Partenaires majeurs Cecobois

