



CHAIRE INDUSTRIELLE  
DE RECHERCHE SUR LA  
**CONSTRUCTION**  
ÉCORESPONSABLE EN BOIS

# Considérations environnementales de l'enveloppe du bâtiment dans des projets en bois – Approche ACV

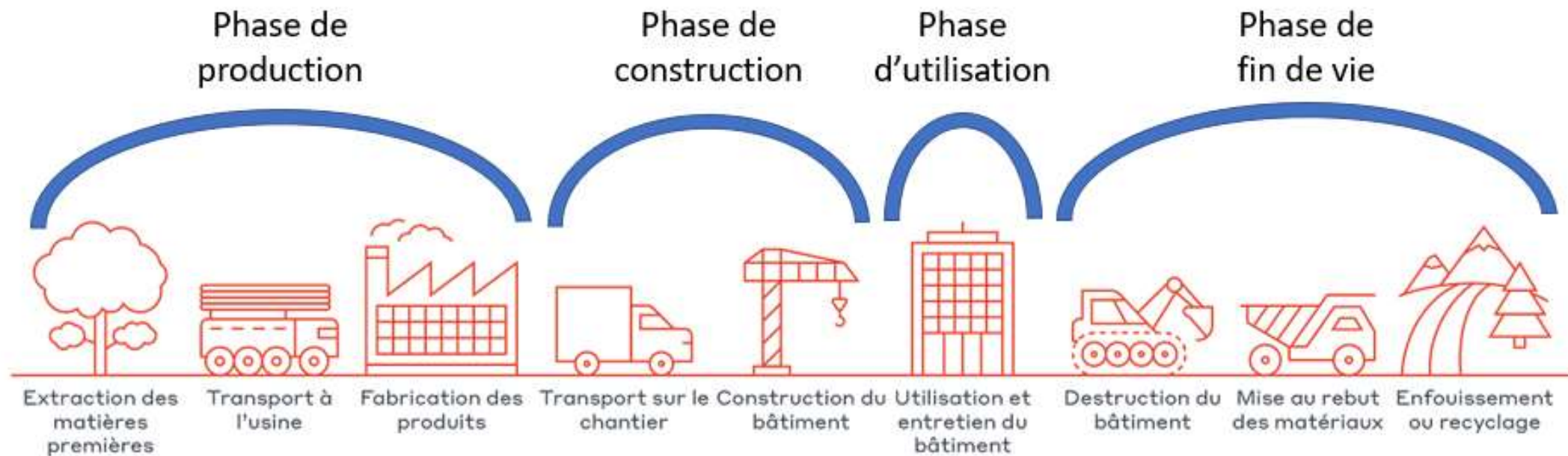
Rosaline Larivière-Lajoie, CPI

23 novembre 2021

# Plan de la présentation

- Mise en contexte
- Objectifs
- Méthodologie
- Résultats
- Analyses de sensibilité
- Conclusion

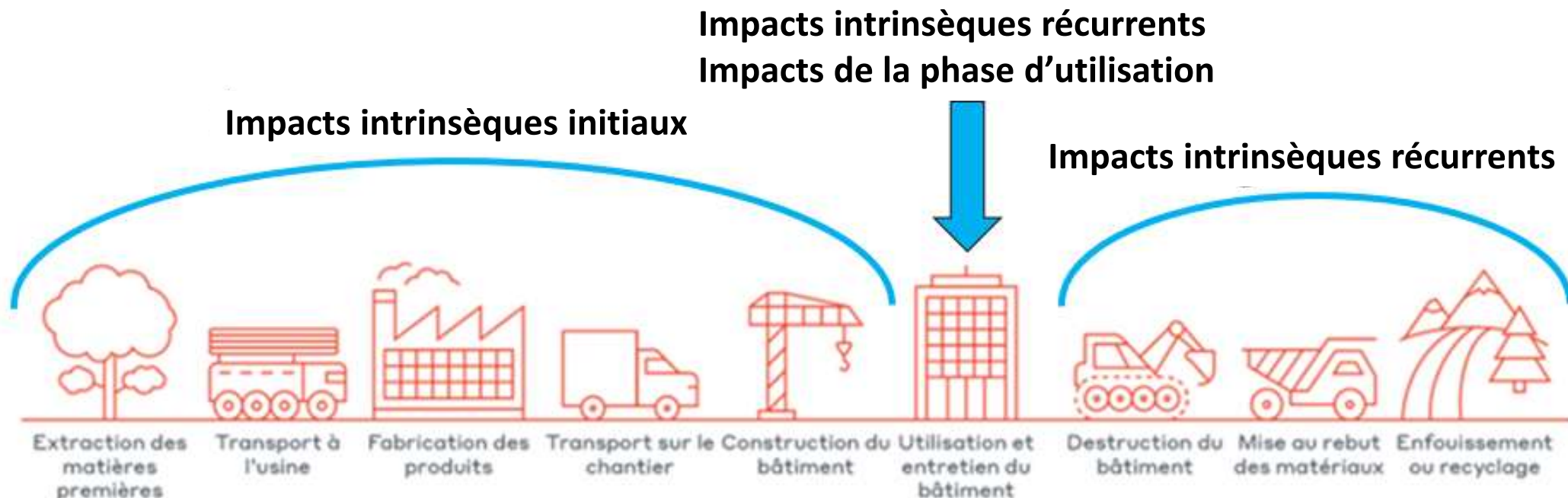
# Phases du cycle de vie (Rappel)



Source: adapté de (Paleshi & Summers, 2019)

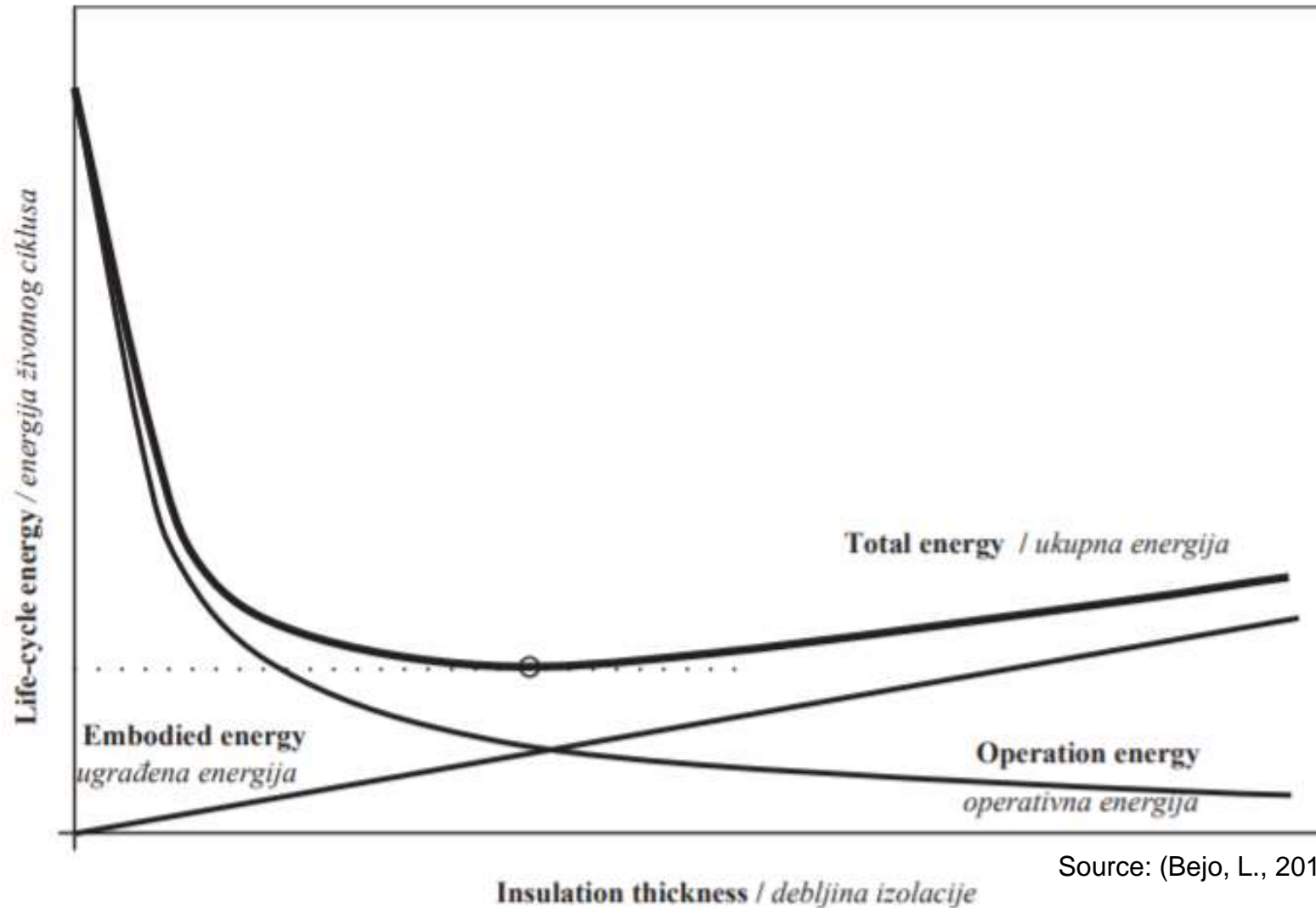
# Phases du cycle de vie (Rappel)

**Les impacts intrinsèques** incluent 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 (Ibn-Mohammed *et al.*, 2013).



Source: adapté de (Paleshi & Summers, 2019)

# Relation entre énergie intrinsèque, énergie d'utilisation et énergie totale sur le cycle de vie selon l'isolation thermique du bâtiment

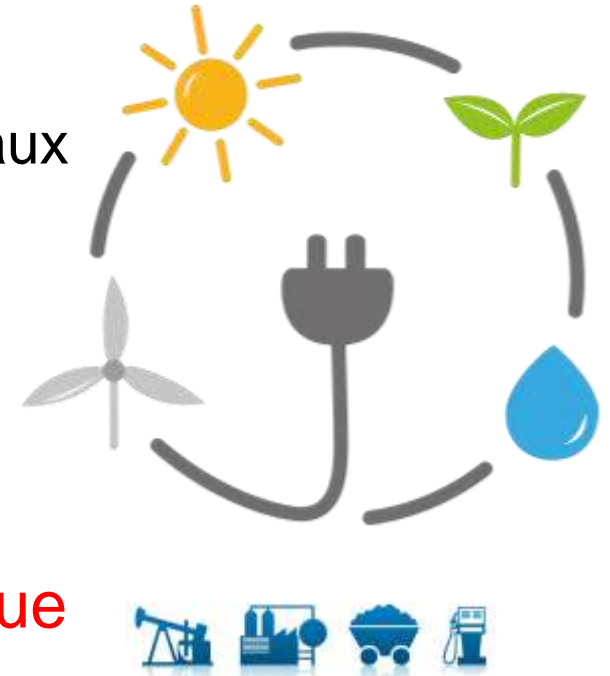


Source: (Bejo, L., 2017)

# Contexte énergétique québécois

Contexte de mix énergétique à faibles impacts environnementaux

- 99 % énergie renouvelable (96% hydroélectricité)
- 1% énergies fossiles et nucléaires (importations)



↑ Efficacité énergétique + contexte énergétique québécois

=

↑ contribution des impacts intrinsèques

# Rappel des objectifs du projet

## **Objectif général**

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.

## **Objectifs spécifiques**

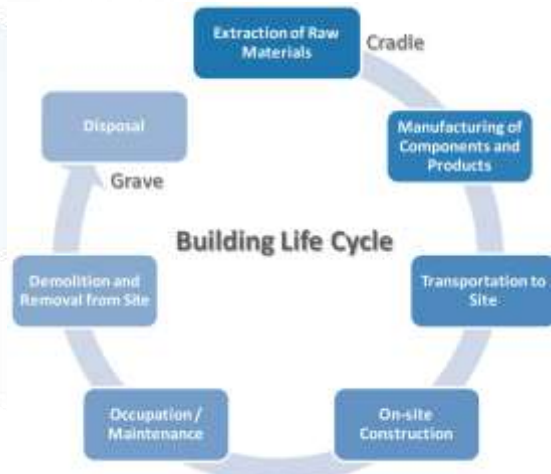
1. Évaluer les impacts environnementaux des assemblages de mur identifiés (identifier les points chauds) et proposer des pistes de solution pour réduire cet impact.
2. Identifier les différents facteurs influençant la contribution des impacts intrinsèques initiaux aux impacts environnementaux du cycle 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.

# Méthodologie – Fonction du système et unité fonctionnelle

**Fonction du système** : contrôler les échanges entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment conformément aux codes du bâtiment applicables.

**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.

## Frontières du système: *Cradle-to-grave*



Source: (Yim *et al.*, 2018)

Building life cycle																Additional information
Manufacturing stage			Construction stage		Use stage							End-of-life stage				Potential benefits & loads
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
<b>Cradle-to-grave</b>																
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction-installation process	Use, installed products	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Recovery - Reuse - Recycling potential
Initial embodied impacts	x	x	x	x	x											
Use stage impacts						x	x			x						
End-of-life impacts												x	x	x	x	

Source: adapté de (Lützkendorf & Balouktsi, 2016)



# Méthodologie – Bâtiment de référence

- Immeuble à bureau de taille moyenne: un des nombreux bâtiments prototypes ayant été 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
- Bâtiment théorique déjà modélisé dans EnergyPlus



ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019  
(Supersedes ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2014)  
Includes ANSI/ASHRAE/IES addenda listed in Appendix I

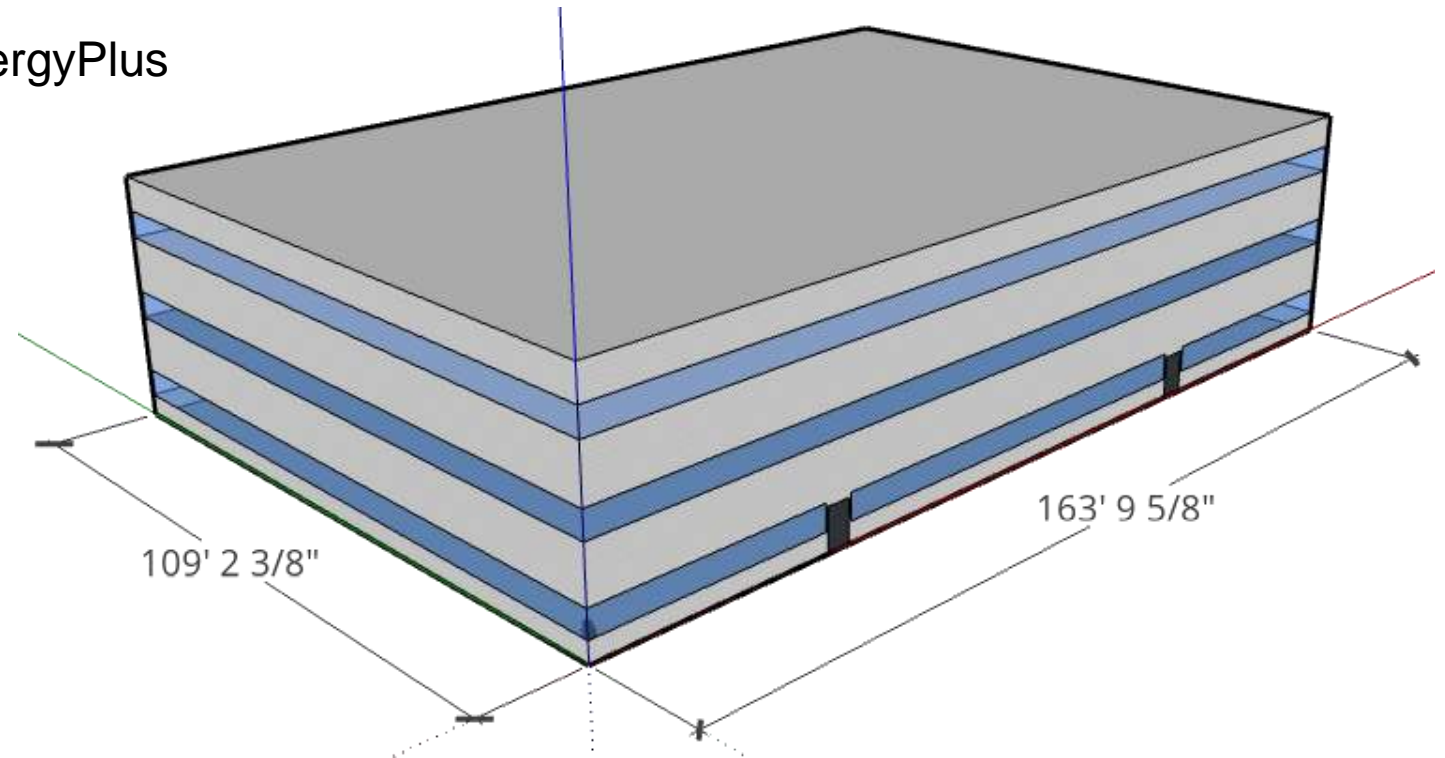
**Energy Standard  
for Buildings  
Except Low-Rise  
Residential Buildings  
(I-P Edition)**

See Appendix I for approval data by ASHRAE, the Illuminating Engineering Society, and the American National Standards Institute.

This Standard is under continuous maintenance by a Standing Standard Project Committee (SSPC) for which the Standards Committee has established a documented program for regular publication of addenda or revisions, including procedures for timely documentation, consensus action on requests for change to any part of the Standard, instructions for how to submit a change, and how to find the current version of the Standard on the ASHRAE website ([www.ashrae.org/standards-maintenance](http://www.ashrae.org/standards-maintenance)).

The latest edition of an ASHRAE Standard may be purchased from the ASHRAE website ([www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)) or from ASHRAE Customer Service, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2105. E-mail: [orders@ashrae.org](mailto:orders@ashrae.org). Fax: 478-531-2129. Telephone: 404-636-0430 ([www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)), or toll free 1-800-547-4723 (for orders in US and Canada). For reprint permission, go to [www.ashrae.org/permissions](http://www.ashrae.org/permissions).

© 2019 ASHRAE ISBN 1041-2336



Superficie totale de plancher: 4 979,6 m<sup>2</sup> (53 600 pi<sup>2</sup>).

# Méthodologie – Les différents assemblages de mur étudiés

**LFC** = light frame construction (Ossature légère en bois)

**LSF** = Light Steel Framing (Ossature légère en acier)

**CLT** = Cross-laminated timber (Bois lamellé-croisé)

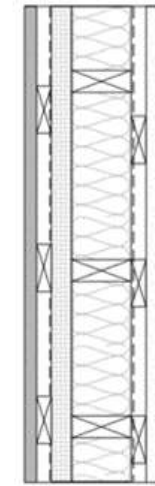
**PB** = Glued-laminated timber in a post and beam approach (Bois lamellé-collé dans une approche poteau-poutre)

Système structural	Conventionnel	Haute performance énergétique	Fort contenu biosourcé
<b>LFC</b>	LFC-1	LFC-2	LFC-3
<b>LSF</b>	LSF	---	---
<b>CLT</b>	CLT-1	CLT-2	---
<b>PB</b>	PB-1	PB-2	---

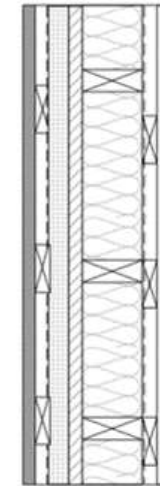


# Méthodologie – Composition type des assemblages de murs étudiés, par m<sup>2</sup>

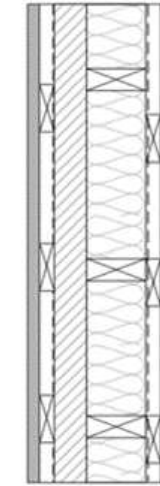
Wall assembly	External cladding and water-resistive membrane	Sheathing	Framing system	Insulation	Vapour barrier and interior finishing
LFC-1	Fibre cement siding + furring + polypropylene sheet	25 mm <b>expanded polystyrene</b>	Wood studs 38 mm x 140 mm @ 400 o.c.	<b>Glass wool</b> (140 mm)	Polyethylene sheet + furring + gypsum board
LFC-2	Fibre cement siding + furring + Tyvek	25.4 mm <b>extruded polystyrene + OSB</b>	Wood studs 38 mm x 140 mm @ 400 o.c.	<b>Glass wool</b> (140 mm)	Polyethylene sheet + furring + gypsum board
LFC-3	Fibre cement siding + furring + Tyvek	40 mm <b>STEICO fibreboard</b>	Wood studs 38 mm x 140 mm @ 400 o.c.	<b>Hemp wool</b> (140 mm)	Polyamide sheet + furring + gypsum board
LSF	Fibre cement siding + furring	50.8 mm <b>extruded polystyrene</b>	Steel studs 43 mm x 152 mm @ 400 o.c.	<b>Glass wool</b> (152 mm)	Polyethylene sheet + furring + gypsum board
CLT-1	Fibre cement siding + furring + self-adhesive membrane	---	CLT (105 mm)	<b>Rockwool</b> (114.2 mm)	Furring + gypsum board
CLT-2	Fibre cement siding + furring	25.4 mm <b>semi-rigid rockwool</b>	CLT (105 mm) + wood studs 45 mm x 89 mm @ 400 o.c.	<b>Rockwool</b> (88.9 mm)	Polyethylene sheet + furring + gypsum board
PB-1	Fibre cement siding + furring + self-adhesive membrane	12.7 mm <b>fiberglass mat gypsum</b>	GLT + <b>steel studs</b> 43 mm x 152 mm @ 400 o.c.	<b>Rockwool</b> (114.2 mm)	Furring + gypsum board
PB-2	Fibre cement siding + furring	25.4 mm <b>semi-rigid rockwool</b>	GLT + <b>wood studs</b> 45 mm x 140 mm @ 400 o.c.	<b>Rockwool</b> (140 mm)	Polyethylene sheet + furring + gypsum board



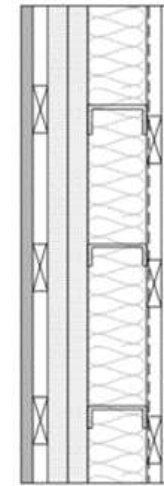
LFC-1



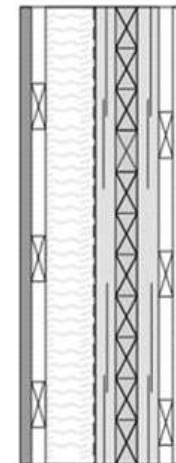
LFC-2



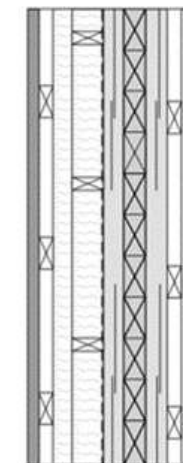
LFC-3



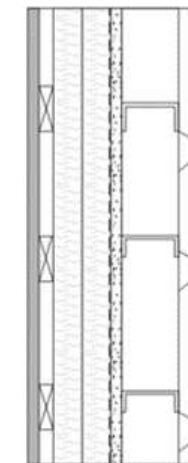
LSF



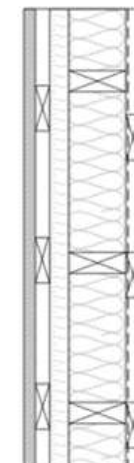
CLT-1



CLT-2



PB-1



PB-2

# Méthodologie – Quantité de chaque composante utilisée et résistance thermique effective ( $m^2K/W$ ) par assemblage de mur, par $m^2$ (kg)

Component	LFC-1	LFC-2	LFC-3	LSF	CLT-1	CLT-2	PB-1	PB-2
External cladding and water-resistive membrane	12.6	12.4	12.4	12.4	12.9	12.4	12.9	12.4
Sheathing	1.0	7.9	8.4	1.8	0.0	2.0	9.0	2.0
Framing system	5.5	5.5	5.5	5.2	54.1	58.2	70.6	71.9
Insulation	5.6	1.1	3.5	6.1	9.2	2.8	9.2	4.5
Vapour barrier and interior finishing	16.9	16.9	17.0	16.9	16.9	16.9	15.6	17.1
Total	41.7	43.8	46.8	42.4	93.1	92.4	117.3	108.0
<b>Effective thermal resistance (<math>m^2K/W</math>)</b>	<b>3.78</b>	<b>3.78</b>	<b>3.81</b>	<b>3.71</b>	<b>3.78</b>	<b>3.81</b>	<b>3.70</b>	<b>3.69</b>

# Méthodologie – Outils utilisés

Analyse du cycle de vie:

- OpenLCA 1.10
- Ecoinvent 3.5
- TRACI 2.1

Analyse énergétique:

- EnergyPlus 9.3



# Méthodologie – Hypothèses (phase de production et de construction)

**Phase de production:** Pas de matières premières recyclées.



**Phase de construction :**

- Deux modes de construction considérés : hors site et sur site.
  - Différence entre les % de pertes (1% vs 10%)
- Peu d'information disponible pour la modélisation de cette phase pour le bâtiment de référence choisit
  - Énergie de construction et déplacements des travailleurs: Extrapolation linéaire (Quale *et al.*, 2012)
  - Distances de transport: Estimation des distances moyennes de transport entre les fabricants et le site de construction
- Inclusion des impacts liés à la fabrication des différents systèmes d'attaches



# Méthodologie – Hypothèses (phase d'utilisation)

## Chauffage et climatisation du bâtiment:

Modélisation dans EnergyPlus:

- Bâtiment de référence déjà modélisé dans l'outil (DOE, 2018);
  - Multiple modélisation réalisés en modifiant la composition des murs extérieurs selon les différents assemblages de mur étudiés.
    - Effet négligeable de la masse thermique et de la variation de la résistance thermique effective sur la consommation énergétique.



## Maintenance des matériaux de construction:

Entretien (nettoyage à l'eau et peinture) du revêtement extérieur et du gypse intérieur

**Durée de vie:** 50 ans (Bahramian & Yetilmezsoy, 2020)



# Méthodologie – Hypothèses (phase de fin de vie)

- Projet : Démolition à la fin de leur durée de vie.
- Énergie de démolition = énergie de construction (conservateur)
- Après démolition : tous les matériaux sont acheminés vers une usine de tri avant d'être envoyés vers leurs sites de traitement respectifs.



## Sites de traitement:

- Enfouissement : majorité des matériaux;
- Recyclage et enfouissement : membranes plastiques, acier et gypse;
- Transformation en matières premières : Produits du bois (Panneau de particules)





# Méthodologie – Hypothèses (carbone biogénique)

**Carbone biogénique** : carbone séquestré dans les matériaux biosourcés lors de la photosynthèse.

**Absence de consensus, mais...** il y a de nombreuses méthodes présentées dans la littérature.

**Méthode retenue:** provient des règles de catégorie de produits (RCP) pour les produits de bois structuraux et architecturaux nord-américains.

- **Produits du bois:** 0,5 kg C/kg bois<sub>anhydre</sub> et 3,67 kg CO<sub>2</sub>/kg C (Pierobon *et al.*, 2019)
- **Produits du chanvre:** 0,5 kg C/kg chanvre<sub>anhydre</sub> et 1,83 kg CO<sub>2</sub>/kg C (Zampori *et al.*, 2013).

$$\text{Carbone biogénique} = \frac{460,18 \text{ kg bois}}{\text{m}^3 \text{ bois}} \times \frac{0,50 \text{ kg C}}{\text{kg bois}} \times \frac{3,67 \text{ kg CO}_2}{\text{kg C}} \times \frac{1,00 \text{ kg CO}_{2\text{eq.}}}{1,00 \text{ kg CO}_2} = \frac{843,66 \text{ kg CO}_{2\text{eq.}}}{\text{m}^3 \text{ bois}}$$

# Impacts relatifs des assemblages de mur selon les « midpoint indicators » provenant de TRACI 2.1, excluant le carbone biogénique

**GWP** : Potentiel de réchauffement climatique

**AP** : Potentiel d'acidification

**EP** : Potentiel d'eutrophication

**ODP** : Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone

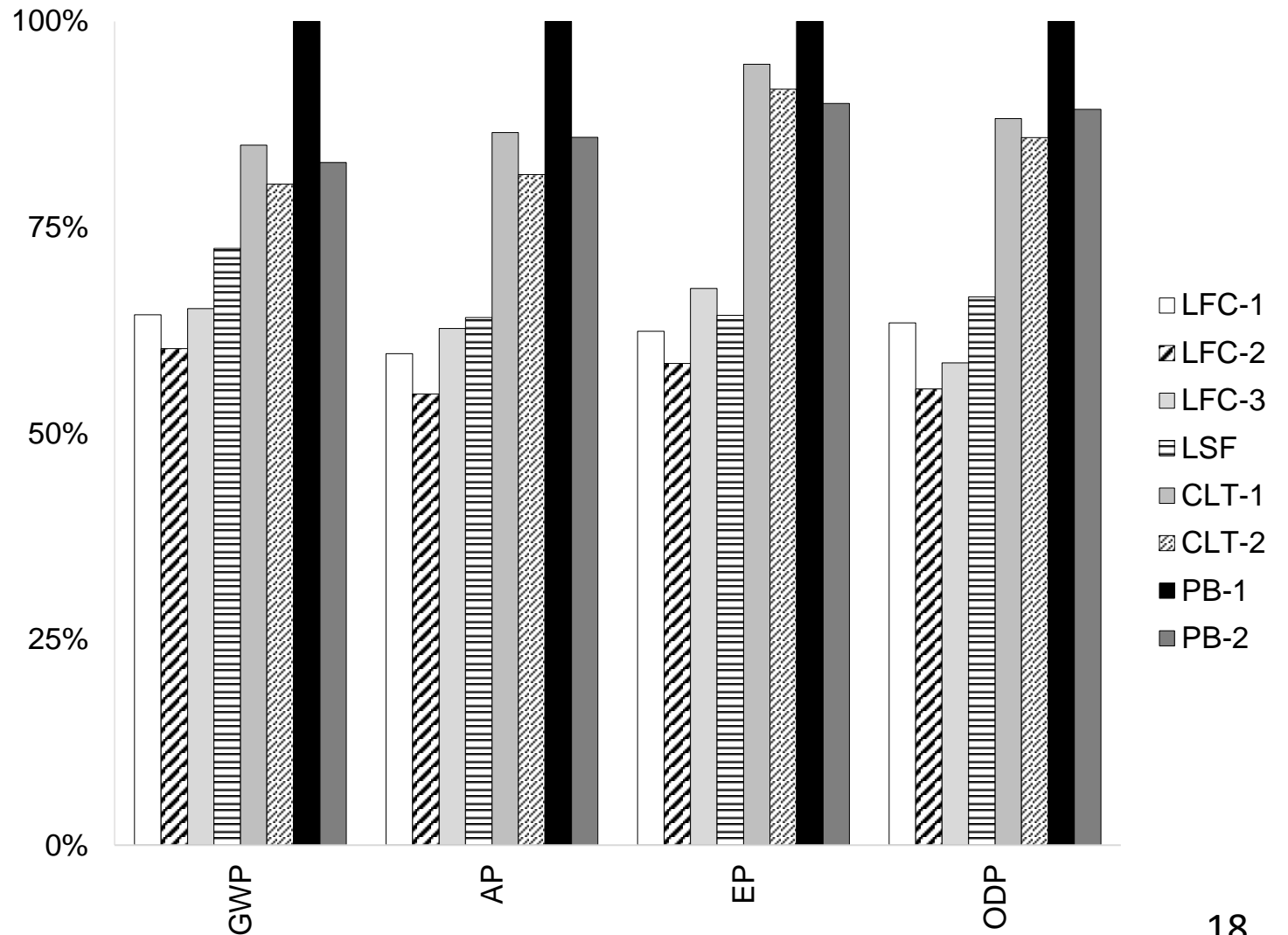
ECO : Écotoxicité

PHO : Formation d'ozone photochimique

CANC : Cancérogène

N-CANC : non cancérogène

RESP-IN : Effets respiratoires



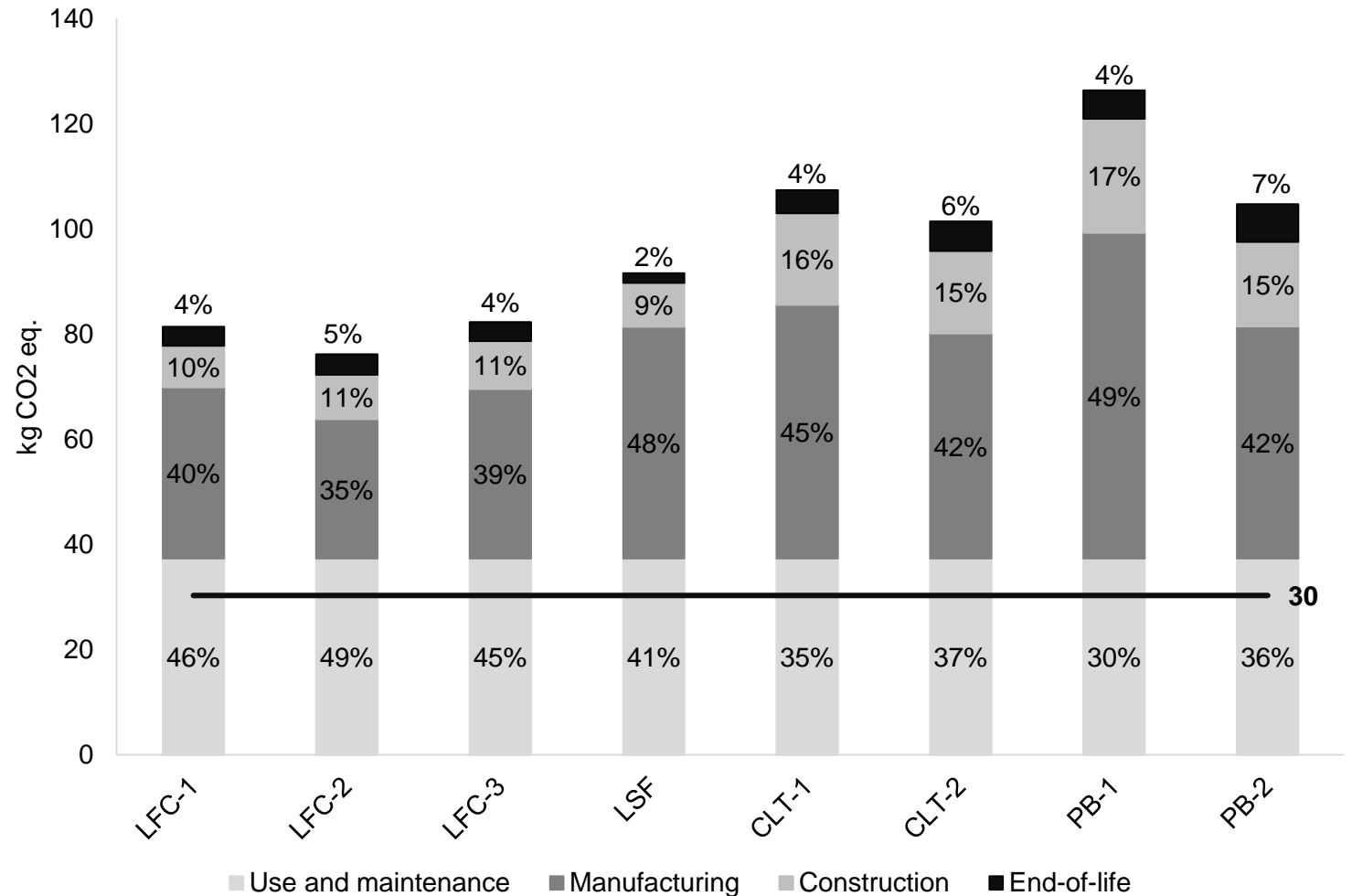
# Impacts environnementaux des phases du cycle de vie et leur contribution aux impacts totaux du cycle de vie des assemblages de mur

**GWP:** Potentiel de réchauffement climatique

**AP:** Potentiel d'acidification

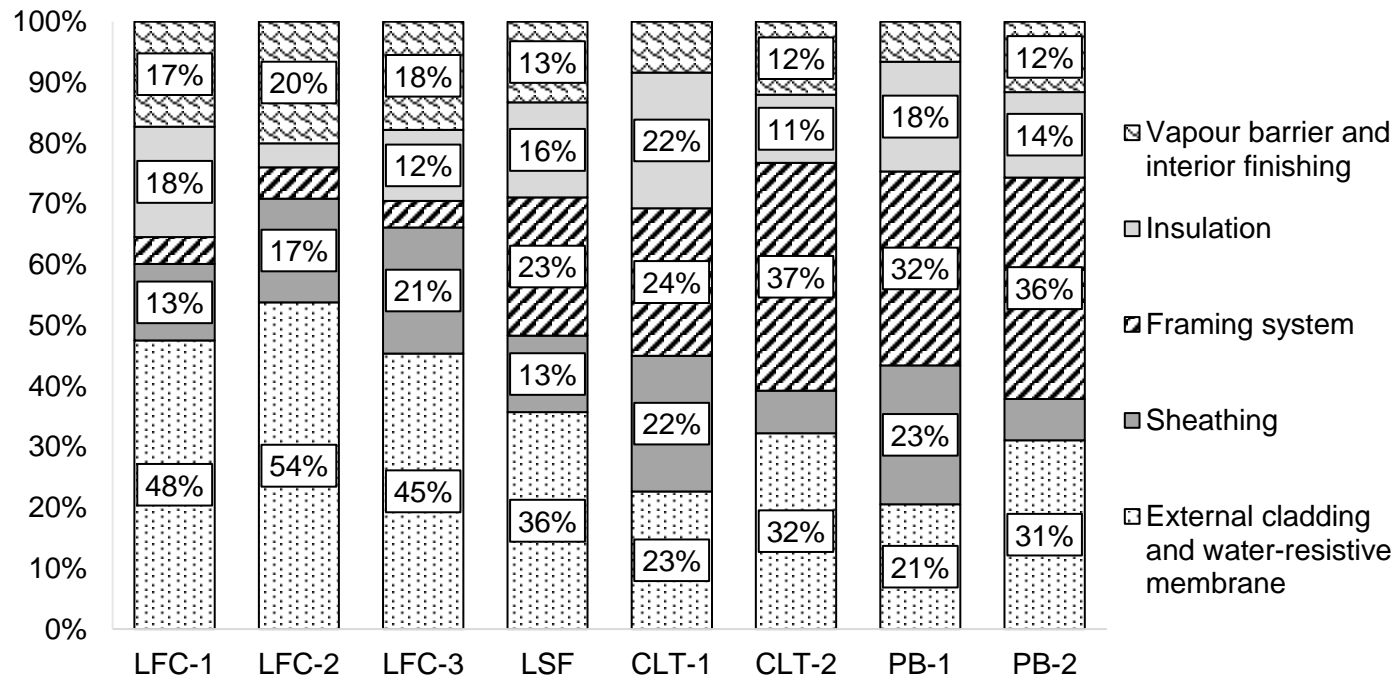
**EP:** Potentiel d'eutrophication

**ODP:** Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone



# Contribution des matériaux aux impacts intrinsèques initiaux

**GWP:** Potentiel de réchauffement climatique  
**AP:** Potentiel d'acidification  
**EP:** Potentiel d'eutrophication  
**ODP:** Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone



Quantité de chaque composante par assemblage de mur, par m<sup>2</sup> (kg)

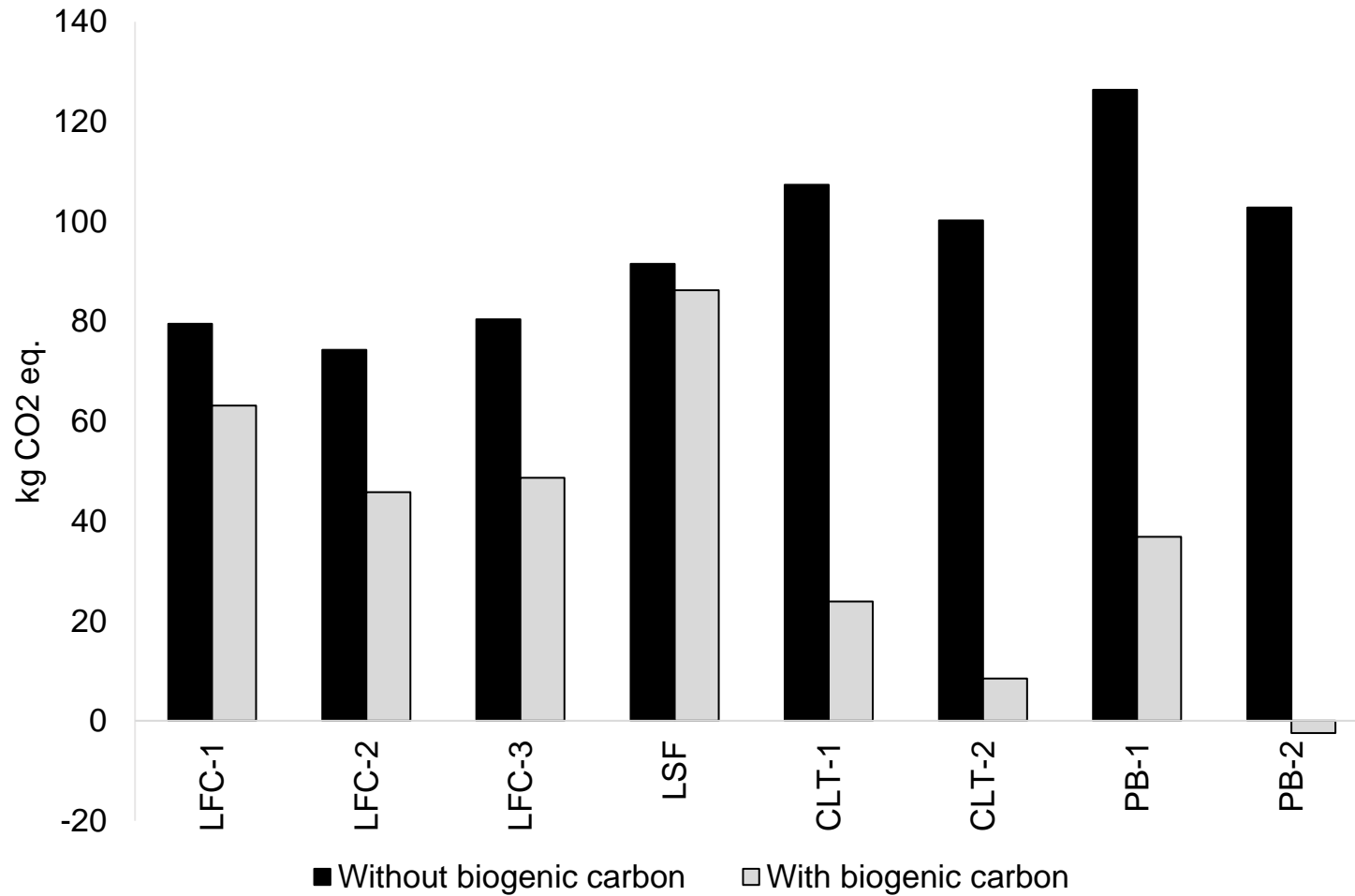
Component	LFC-1	LFC-2	LFC-3	LSF	CLT-1	CLT-2	PB-1	PB-2
Sheathing	1.0	7.9	8.4	1.8	0.0	2.0	9.0	2.0
<b>Framing system</b>	<b>5.5</b>	<b>5.5</b>	<b>5.5</b>	<b>5.2</b>	<b>54.1</b>	<b>58.2</b>	<b>70.6</b>	<b>71.9</b>
Insulation	5.6	1.1	3.5	6.1	9.2	2.8	9.2	4.5

Choix des matériaux et quantité de matériaux:

**LFC < LSF**

**LFC & LSF < CLT & PB**

# Inclusion du carbone biogénique dans la phase de production



Nature des matériaux:

**LFC < LSF**

**CLT & PB < LFC & LSF**

# Analyse de sensibilité – Influence 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

**GWP:** Potentiel de réchauffement climatique

**AP:** Potentiel d’acidification

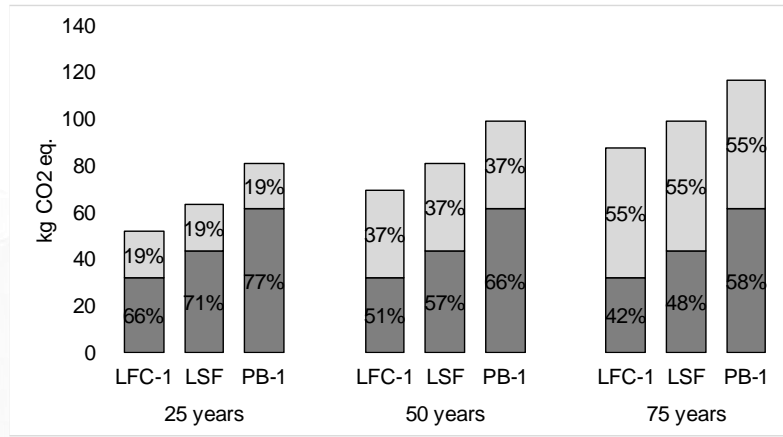
**EP:** Potentiel d’eutrophication

**ODP:** Potentiel d’appauvrissement de la couche d’ozone

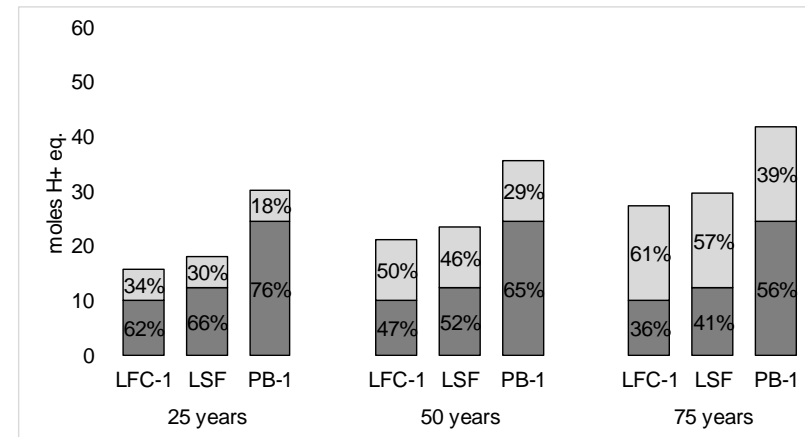
Wall assembly	GWP	AP	EP	ODP
LFC-1	2.1%	2.0%	1.0%	0.8%
LFC-2	2.7%	2.6%	1.2%	1.1%
LFC-3	1.9%	1.7%	0.8%	0.8%
LSF	1.9%	1.9%	0.9%	0.8%
CLT-1	3.5%	3.1%	3.2%	2.0%
CLT-2	2.3%	2.0%	0.9%	0.8%
PB-1	<b>3.6%</b>	3.2%	3.3%	1.9%
PB-2	2.2%	1.9%	0.9%	0.8%



# Analyse de sensibilité – Influence de la durée de vie sur la contribution des impacts intrinsèques initiaux au cycle de vie

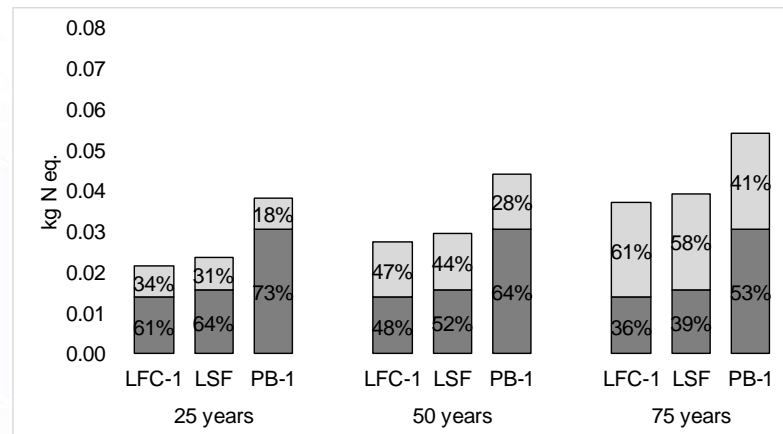


(a)

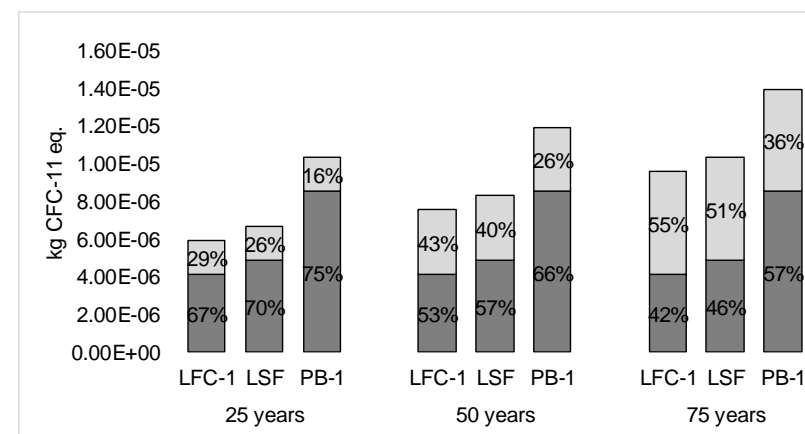


(b)

■ Initial embodied impacts □ Use

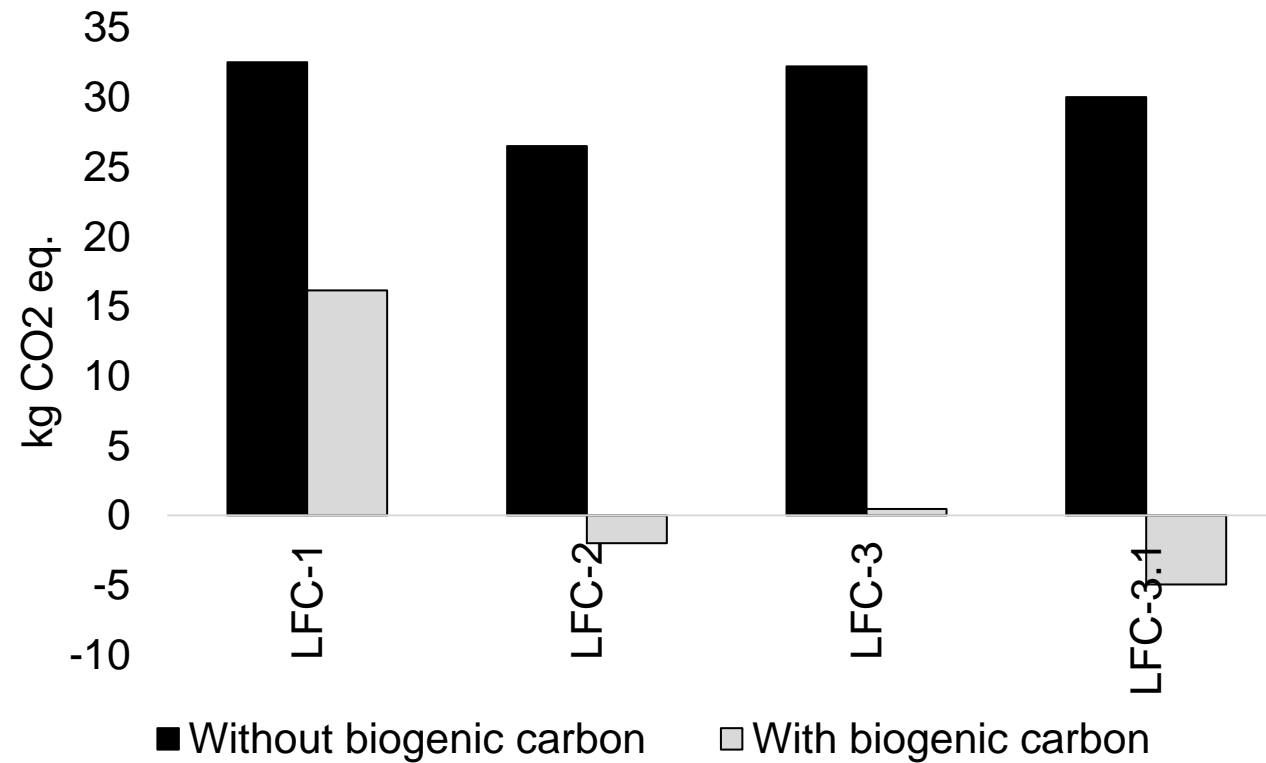


(c)

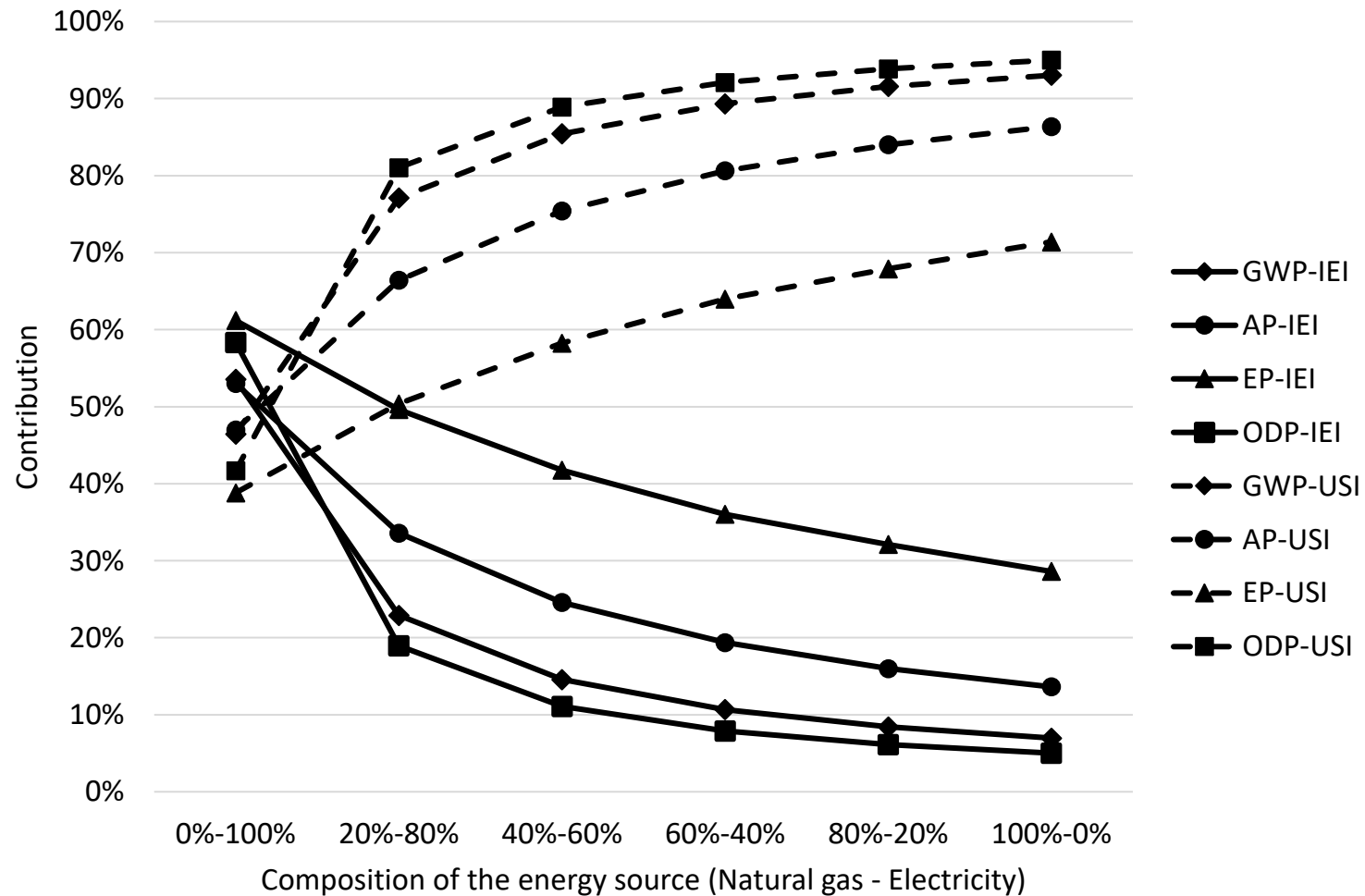


(d)

# Analyse de sensibilité – Influence de l'origine des matériaux sur les impacts de la phase de production pour la catégorie d'impact du potentiel de réchauffement climatique



# Analyse de sensibilité – Influence de la composition de la source utilisée pendant la phase d'utilisation sur la contribution de cette phase et des impacts intrinsèques initiaux au cycle de vie



# Conclusion

1. Les impacts intrinsèques initiaux peuvent devenir la source dominante d'impacts environnementaux dans le cycle de vie des assemblages de mur.
  2. **Le choix et la quantité de matériaux** sont deux facteurs qui doivent être considérés lors de l'évaluation de ces impacts intrinsèques initiaux.
  3. **L'inclusion ou l'exclusion du carbone biogénique** dans la catégorie d'impact du potentiel de réchauffement climatique de la phase de production peut modifier considérablement les résultats.
- Bien que la performance environnementale soit un critère très important à considérer, elle n'est pas le seul critère à prendre en compte lors de la comparaison de la performance globale des assemblages de mur. D'autres critères tel que le confort thermique doivent également être pris en compte.

# Références

- Bahramian, M., & Yetilmezsoy, K. (2020). Life cycle assessment of the building industry: an overview of two decades of research (1995–2018). *Energy and Buildings*, 219, 109917. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109917>
- L. Bejo, Operation vs. Embodied Energy: a Case for Wood Construction, *Drv. Ind.* 68 (2017) 163–172. <https://doi.org/10.5552/drind.2017.1423>.
- DOE. (2018). *Commercial Prototype Building Models*. [https://www.energycodes.gov/development/commercial/prototype\\_models](https://www.energycodes.gov/development/commercial/prototype_models)
- Groen, E. A., Heijungs, R., Bokkers, E. A. M., & de Boer, I. (2014). Sensitivity analysis in life cycle assessment. *Proceedings of the 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014, October*, 482–488. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2008.0227.x>
- Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L., & Acquaye, A. (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings - A review of current trends. In *Energy and Buildings* (Vol. 66, pp. 232–245). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026>
- Lützkendorf, T., & Balouktsi, M. (2016). Subtask 1: Basics, Actors and Concepts. In *Evaluation of Embodied Energy and CO<sub>2</sub>eq for Building Construction (Annex 57)* (p. 125).
- Paleshi, A., & Summers, J. (2019). *Que nous réservent les futures analyses du cycle de vie des bâtiments?* <https://www.wsp.com/fr-CA/insights/que-nous-reservent-les-futures-analyses-du-cycle-de-vie-des-batiments>
- Pierobon, F., Huang, M., Simonen, K., & Ganguly, I. (2019). Environmental benefits of using hybrid CLT structure in midrise non-residential construction: An LCA based comparative case study in the U.S. Pacific Northwest. *Journal of Building Engineering*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100862>

# Références

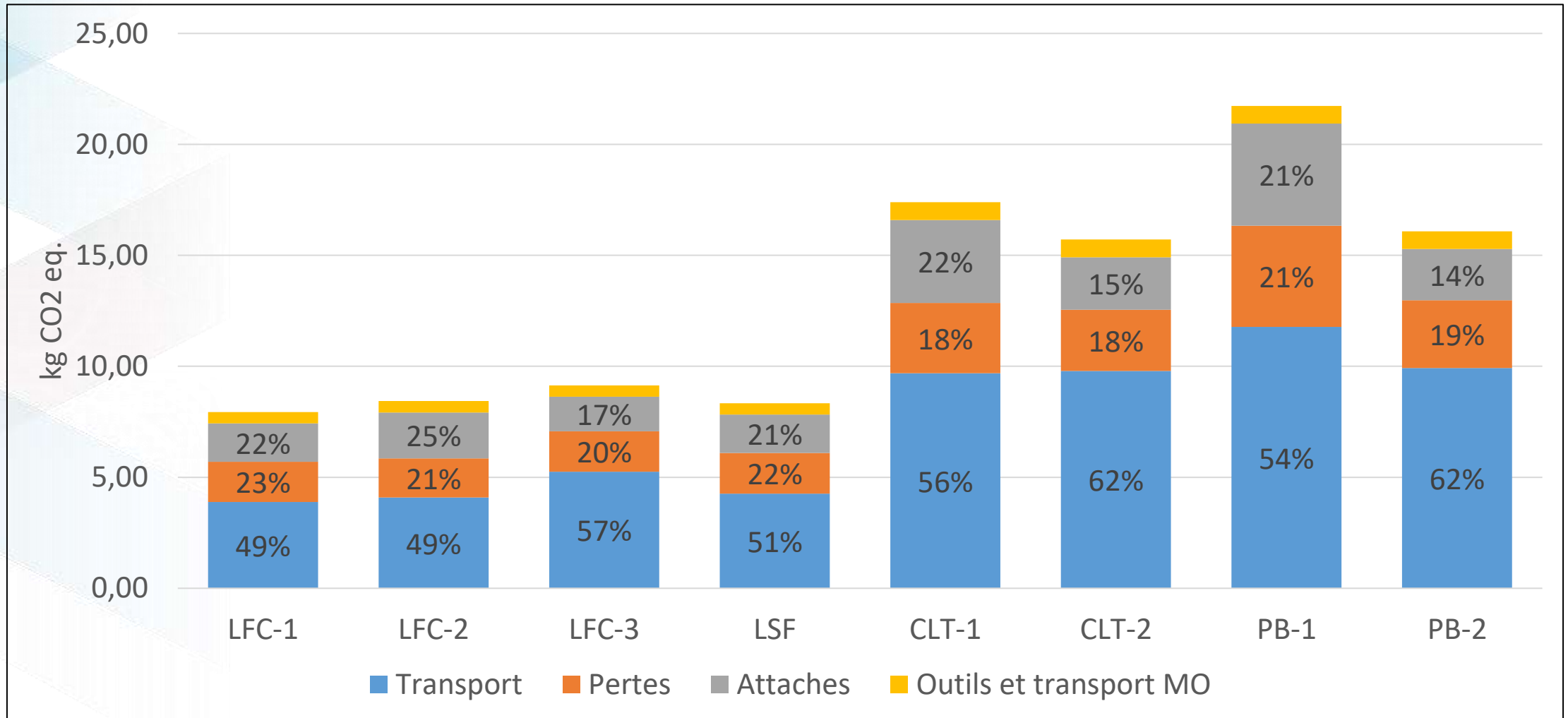
- Quale, J., Eckelman, M. J., Williams, K. W., Sloditskie, G., & Zimmerman, J. B. (2012). Construction Matters: Comparing Environmental Impacts of Building Modular and Conventional Homes in the United States. *Journal of Industrial Ecology*, 16(2), 243–253. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00424.x>
- S.Y.C. Yim, S.T. Ng, M.U. Hossain, J.M.W. Wong, Comprehensive evaluation of carbon emissions for the development of high-rise residential building, *Buildings*. 8 (2018). <https://doi.org/10.3390/buildings8110147>.
- Zampori, L., Dotelli, G., & Vernelli, V. (2013). Life cycle assessment of hemp cultivation and use of hemp-based thermal insulator materials in buildings. *Environmental Science and Technology*, 47(13), 7413–7420. <https://doi.org/10.1021/es401326a>

# Méthodologie – Hypothèse de la phase de construction

Données d'inventaire pour la phase de construction tirées de l'article de Quale et al. (2012) et données extrapolées pour représenter l'unité fonctionnelle de ce projet

Activités	Unité	Données de référence		Unité fonctionnelle (1 m <sup>2</sup> )	
		Hors site	Sur site	Hors site	Sur site
<i>Énergie utilisée</i>					
Électricité hors site	MWh	4,60E+00	0,00	2,14E-04	0,00
Électricité sur site	MWh	1,00E-01	1,05E+00	4,65E-06	4,88E-05
Essence (équipement)	MMBTU	2,40E+01	3,45E+01	1,11E+03	1,60E+03
Mazout (chauffage hors site)	MMBTU	2,40E+01	0,00	1,11E+03	0,00
Propane (chauffage hors site)	MMBTU	4,00E-01	0,00	1,86E+01	0,00
Gaz naturel (chauffage hors site)	MMBTU	7,00E-01	0,00	3,25E+01	0,00
Gaz naturel (chauffage sur site)	MMBTU	1,40E+01	1,15E+02	6,50E+02	5,34E+03
<i>Transport des employés</i>					
À l'usine	miles	7,75E+03	0,00	3,60E-01	0,00
Au site de construction	miles	2,25E+03	1,69E+04	1,05E-01	7,85E-01

# Contribution – Phase de construction





# Densité anhydre de tous les matériaux biosourcés utilisés dans les assemblages de mur étudiés

Matériau biosourcé	Densité anhydre (kg/m <sup>3</sup> )
Montants en bois	460,18
Panneau OSB	596,00
Panneau intermédiaire en bois	194,34
CLT et BLC	406,00
Laine de chanvre	25,00

# Impacts relatifs des assemblages de mur selon les « midpoint indicators » provenant de TRACI 2.1, excluant le carbone biogénique

**GWP** : Potentiel de réchauffement climatique

**AP** : Potentiel d'acidification

**EP** : Potentiel d'eutrophication

**ODP** : Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone

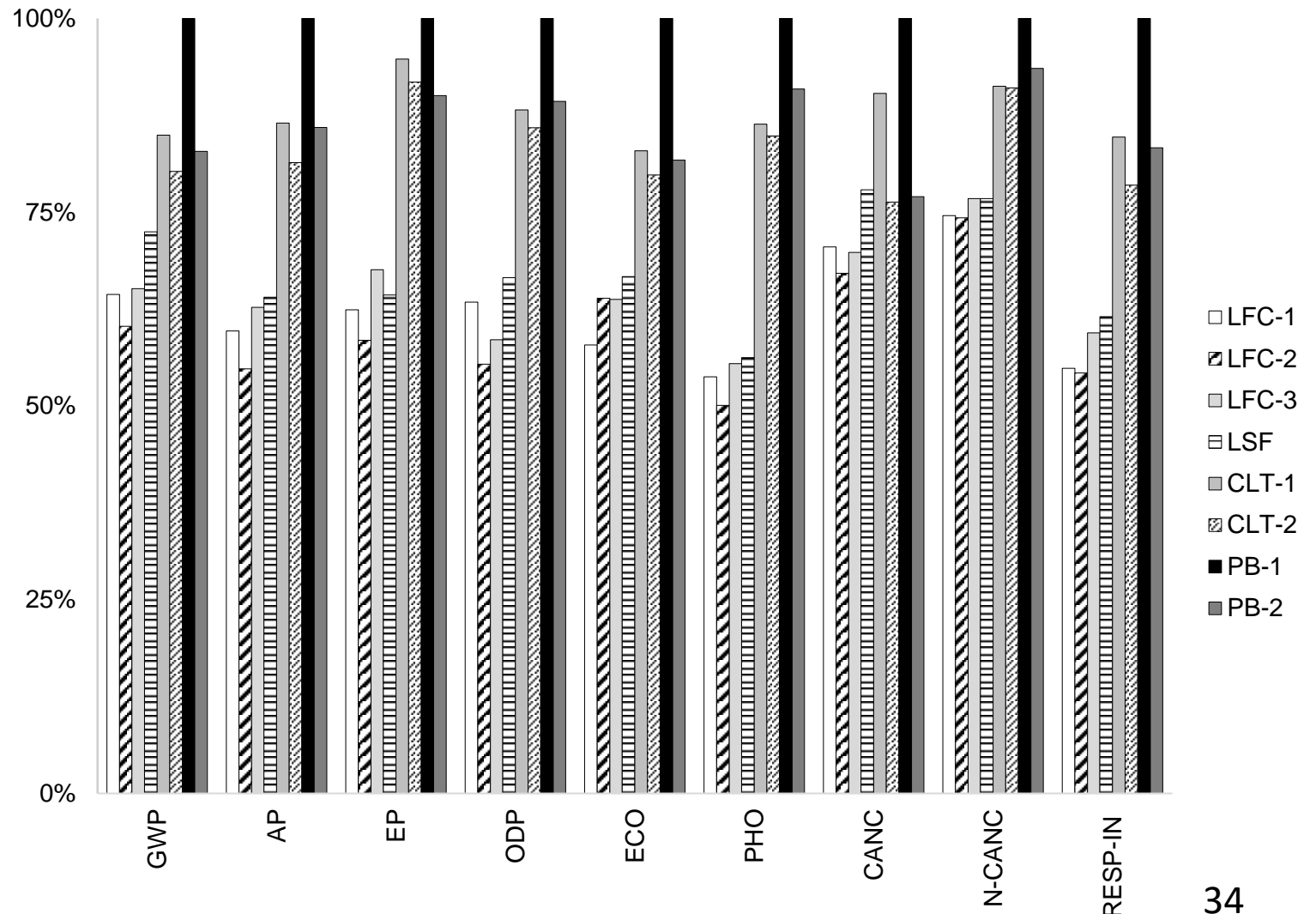
**ECO** : Écotoxicité

**PHO** : Formation d'ozone photochimique

**CANC** : Cancérogène

**N-CANC** : non cancérogène

**RESP-IN** : Effets respiratoires



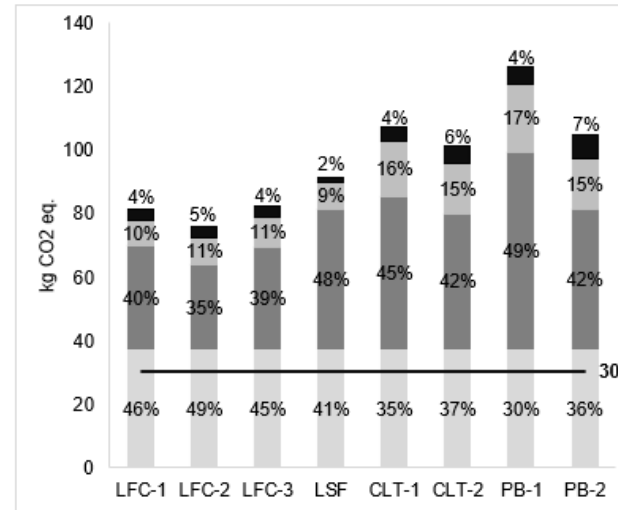
# Impacts environnementaux des phases du cycle de vie et leur contribution aux impacts totaux du cycle de vie des assemblages de mur

(a) **GWP**: Potentiel de réchauffement climatique

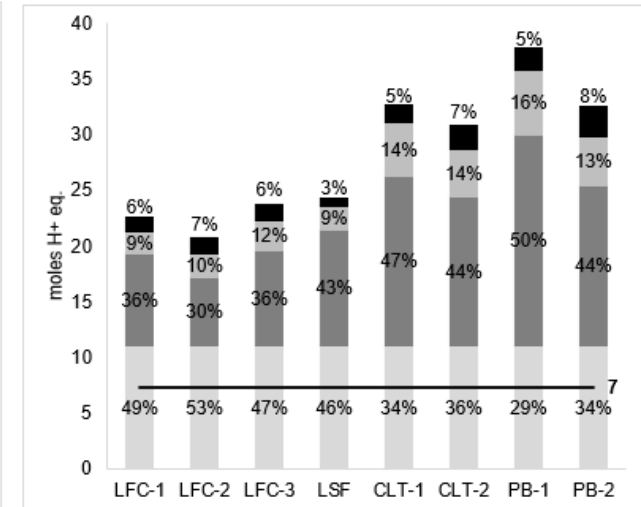
(b) **AP**: Potentiel d'acidification

(c) **EP**: Potentiel d'eutrophication

(d) **ODP**: Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone

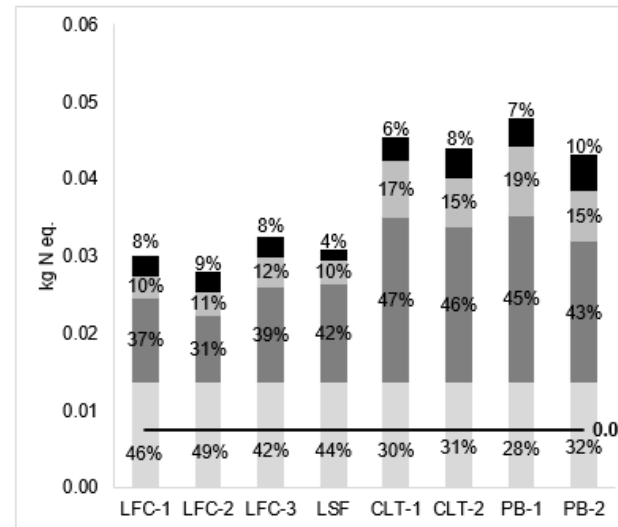


(a)

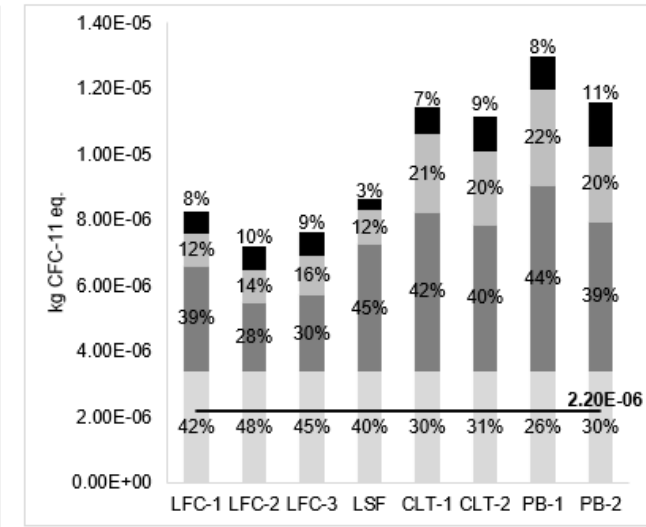


(b)

■ Use and maintenance ■ Manufacturing ■ Construction ■ End-of-life



(c)



(d)

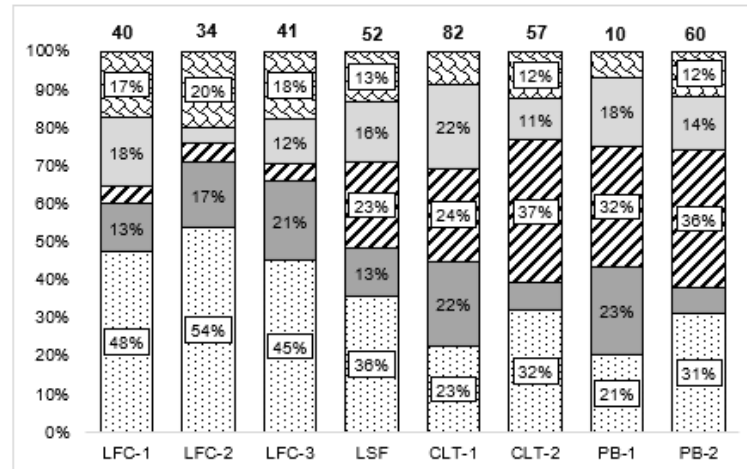
# Contribution des matériaux aux impacts intrinsèques initiaux

(a) **GWP**: Potentiel de réchauffement climatique

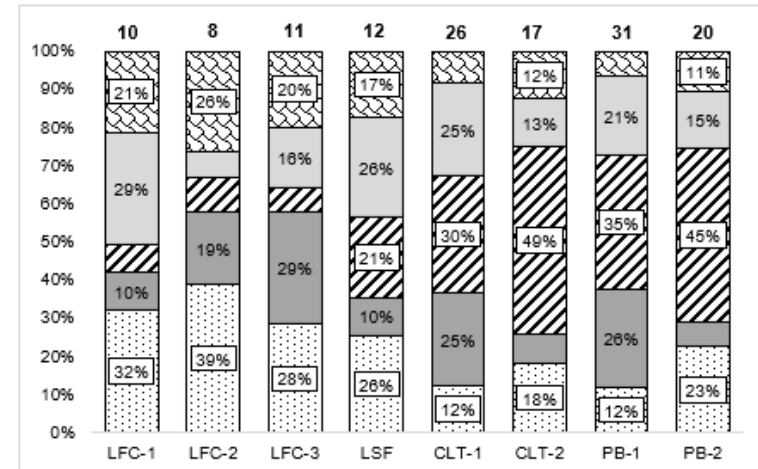
(b) **AP**: Potentiel d'acidification

(c) **EP**: Potentiel d'eutrophication

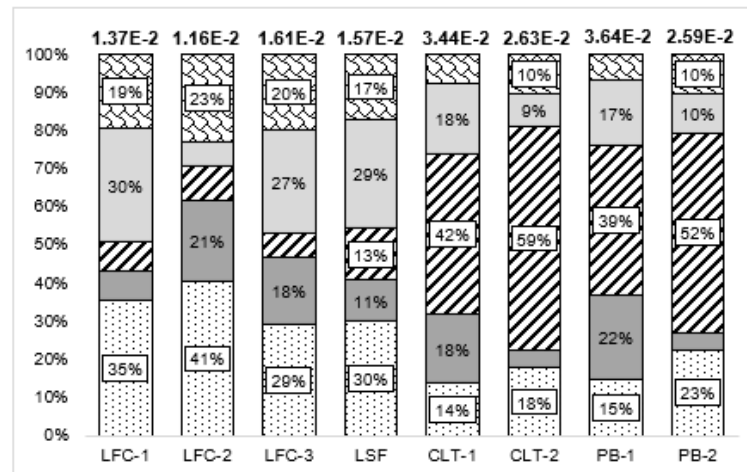
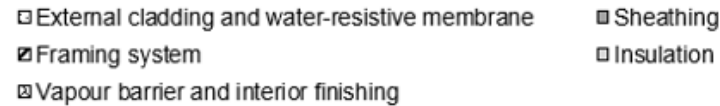
(d) **ODP**: Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone



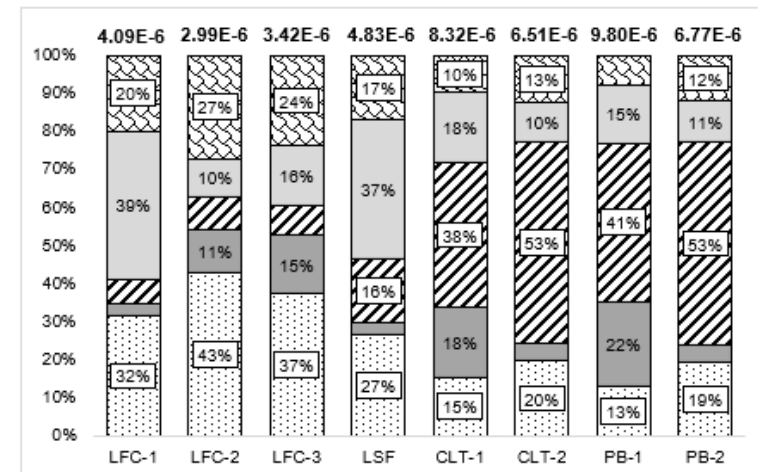
(a)



(b)



(c)



(d)