

ÉCOCONCEPTION D'UN BÂTIMENT DE GRANDE HAUTEUR EN BOIS ÉTUDE DE CAS : BÂTIMENT ARBORA C

PARTENAIRE FINANCIER Québec 

Patrick Lavoie, MBA / M.A.
Géraud Essoua, Ph.D.

31 mars 2020
PROJET N° 301013611

Client :
Ministère des Forêts, de la Faune et
des Parcs (MFFP)
5700, 4^e Avenue Ouest
Québec (Québec) G1H 6R9

Personnes-ressources :
Martin Frégeau
Maxime Arseneault

Avis de confidentialité

Le présent rapport est strictement réservé à votre usage et toute citation intégrale ou partielle est interdite sans notre consentement écrit. FPIinnovations n'assumera aucune responsabilité à l'égard de tiers dans la mesure où le rapport n'a pas été rédigé à d'autres fins. Les résultats présentés ne se rapportent qu'à l'étude de cas et devraient être extrapolés avec prudence.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs et le Fonds Vert pour soutenir le développement des connaissances sur les matériaux à faible empreinte carbone.

Québec 

ÉCOCONCEPTION D'UN BÂTIMENT DE GRANDE HAUTEUR EN
BOIS
ÉTUDE DE CAS : BÂTIMENT ARBORA C

PROJET N° 301013611

APPROBATEUR
Vincent Blanchard
Gestionnaire
Affaires réglementaires
vincent.blanchard@fpinnovations.ca

RÉVISEURS INTERNES
Aline Cobut et Dieudonné Batsy
Chercheurs
Développement durable

AUTEUR
Patrick Lavoie
Chercheur sénior
Développement durable
(418) 659-2647
patrick.lavoie@fpinnovations.ca

Avertissement

FPIinnovations ne donne aucune indication ni garantie à quiconque (personne ou entité) quant à l'exactitude, à la rectitude ou à l'exhaustivité de l'information, des données ou de l'analyse de l'information ou des données contenues dans le présent rapport, et ne fournit aucune recommandation, indication ni garantie de quelque nature que ce soit concernant le présent rapport.

Suivez-nous   

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
2. ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV).....	2
3. ÉQUIPE DE PROJET	3
4. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	4
4.1 Raison de l'étude.....	4
4.2 Applications.....	4
4.3 Importance et pertinence	4
4.4 Auditoire visé.....	4
5. PORTÉE DE L'ÉTUDE	5
5.1 Description des bâtiments.....	5
5.2 Description technique des différentes propositions.....	6
5.2.1 Grille des propositions	6
5.2.2 Scénario de référence bois.....	9
5.2.3 Scénario béton	9
5.2.4 Code national du bâtiment (CNB) 2015	9
5.2.4.1 Scénario CNB2015-1 : Remplacement de la chape de béton par le gypse fermacell.....	9
5.2.4.2 Scénario CNB2015-2 : Remplacement des meneaux en aluminium par le bois.....	10
5.2.4.3 Scénario CNB2015-3 : Remplacement des revêtements en aluminium par de l'ardoise.....	11
5.2.4.4 Scénario CNB2015-4 : Remplacement de la brique par un revêtement extérieur en pierre	12
5.2.5 Code national du bâtiment (CNB) 2020	13
5.2.5.1 Scénario CNB2020-1 : Diminuer l'utilisation du gypse dans le bâtiment	13
5.2.5.2 Scénario CNB2020-2 : Remplacement des colombages en acier des murs extérieurs par des colombages en bois d'ingénierie	14
5.2.5.3 Scénario CNB2020-3 : Remplacement des colombages en acier des cloisons par des colombages en bois d'ingénierie	15
5.2.6 Code national du bâtiment (CNB) 2025	15
5.2.6.1 Scénario CNB2025-1 : Remplacement de l'isolant en laine de roche par de la fibre de bois.....	15
5.2.6.2 Scénario CNB2025-2 : Remplacement des balcons en acier par des dalles en CLT.....	16
5.2.6.3 Scénario CNB2025-3 : Remplacement de l'acier dans les plafonds par du bois d'ingénierie.....	17
5.2.6.4 Scénario CNB2025-4 : Construction d'un plancher surélevé sur dalle en CLT	18
5.3 Fonction et unité déclarée	19
5.4 Frontières du système étudié.....	19
5.5 Critères de « cut-off ».....	21
5.6 Qualité et type de données	22

5.7	Procédure d'allocation	22
5.8	Méthode d'analyse des impacts.....	23
5.8.1	Changements climatiques	24
5.8.2	Appauvrissement de la couche d'ozone	25
5.8.3	Eutrophisation.....	25
5.8.4	Acidification.....	25
5.8.5	Smog photochimique	25
5.9	Interprétations des résultats.....	26
6.	INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE (ICV)	26
6.1	Inventaire des matériaux du scénario de référence	26
6.2	Inventaire des matériaux des scénarios étudiés.....	27
6.2.1	CNB2015-1 : Remplacement de la chape de béton	31
6.2.2	CNB2015-2 : Remplacement des meneaux en aluminium du mur-rideau	31
6.2.3	CNB2015-3 : Remplacement des revêtements en aluminium par de l'ardoise	31
6.2.4	CNB2015-4 : Remplacement de la brique par un revêtement extérieur en pierre	31
6.2.5	CNB2020-1 : Diminuer l'utilisation du gypse dans le bâtiment	31
6.2.6	CNB2020-2 : Remplacement des colombages en acier des murs extérieurs par des colombages en bois d'ingénierie.....	32
6.2.7	CNB2020-3 : Remplacement des colombages en acier des cloisons par des colombages en bois d'ingénierie	32
6.2.8	CNB2025-1 : Remplacement de l'isolant en laine de roche par de la fibre de bois.....	32
6.2.9	CNB2025-2 : Remplacement des balcons en acier par des dalles en CLT.....	32
6.2.10	CNB2025-3 : Remplacement de l'acier dans les plafonds par du bois d'ingénierie.....	32
6.2.11	CNB2025-4 : Construction d'un plancher surélevé sur dalle en CLT.....	33
6.3	Qualité des données et modélisation des processus.....	33
6.4	Effets des incertitudes sur les résultats.....	35
7.	RÉSULTATS : ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX.....	36
7.1	Analyse de contribution	39
7.1.1	CNB2015-1 : Remplacement de la chape de béton	39
7.1.2	CNB2015-2 : Meneaux du mur-rideau en bois.....	40
7.1.3	CNB2015-3 : Revêtement extérieur en ardoise	41
7.1.4	CNB2015-4 : Revêtement extérieur en pierre.....	42
7.1.5	CNB2020-1 : Utilisation réduite du gypse pour laisser du bois apparent	42
7.1.6	CNB2020-2 : Colombages d'ingénierie dans les murs extérieurs	42
7.1.7	CNB2020-3 : Colombages d'ingénierie dans les cloisons	42
7.1.8	CNB2025-1 : Isolant en bois	43

7.1.9	CNB2025-2 : Balcons en lamellé-croisé (CLT).....	43
7.1.10	CNB2025-3 : Bois d'ingénierie dans les plafonds.....	45
7.1.11	CNB2025-4 : Plancher surélevé en bois	46
8.	ANALYSES DE SENSIBILITÉ	47
8.1	CNB2025-2 : Balcons avec attaches allégées	47
8.2	CNB2020-3 : Remplacement des colombages d'acier par des colombages en bois d'œuvre	48
8.3	CNB2020-1 : Réduction de 35% du gypse utilisé dans le bâtiment.....	49
8.4	Scénario CNB2015 - 5 : Intégration du contreplaqué et de l'huile de décoffrage à l'analyse	50
8.5	Résultats selon la méthode IMPACT 2002+	52
9.	DISCUSSION.....	54
9.1	Comparaison des différents scénarios	54
10.	CONCLUSIONS.....	56
11.	RECOMMANDATIONS	57
12.	LIMITES DE L'ÉTUDE	58
13.	BIBLIOGRAPHIE	59
	ANNEXE I - TABLEAUX ADDITIONNELS : IMPACTS EN VALEURS ABSOLUES.....	62
	ANNEXE II - TABLEAUX ADDITIONNELS : ANALYSES DE CONTRIBUTION.....	64

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Comparaison des impacts environnementaux d'un bâtiment de grande hauteur en bois comparativement à un bâtiment de grande hauteur en béton	2
Figure 2.	Les étapes méthodologiques de l'ACV (source : ISO 14040-2006).....	3
Figure 3.	Illustration 3D du bâtiment bois en étude (Bâtiment C du projet Arbora)	5
Figure 4.	Détails du système de plancher en CLT	10
Figure 5.	Détails du système mur-rideau.....	11
Figure 6.	Détails du système d'ancrage du revêtement extérieur en ardoise.....	11
Figure 7.	Composition du système d'enveloppe avec revêtement extérieur en aluminium ou en ardoise	12
Figure 8.	Détails du système d'enveloppe avec revêtement extérieur en brique ou en pierre.....	13
Figure 9.	Mur extérieur utilisant un montant en acier	14
Figure 10.	Cloison utilisant un montant en acier.....	15
Figure 11.	Détails de composition d'enveloppe avec différents revêtements extérieurs.....	16
Figure 12.	Détail balcons.....	17
Figure 13.	Détails du système de plafond.....	18
Figure 14.	Détails du plancher surélevé.....	19
Figure 15.	Frontières du système analysé incluant et excluant les différents modules associés (selon EN 15978 : 2012)	20
Figure 16.	Impacts environnementaux relatifs des scénarios selon la méthode TRACI 2.1 v1.05	37
Figure 17.	Potentiels de réchauffement climatique relatifs des scénarios	38
Figure 18.	Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario de référence.....	39
Figure 19.	Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2015-1	40
Figure 20.	Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2015-3	41
Figure 21.	Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2020-3	43
Figure 22.	Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2025-2	44
Figure 23.	Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2025-3	45
Figure 24.	Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2025-4	46
Figure 25.	Analyse de sensibilité des attaches de balcons allégées	48
Figure 26.	Analyse de sensibilité de l'utilisation des colombages en bois d'œuvre.....	49
Figure 27.	Analyse de sensibilité du retrait de 35 % du gypse dans le bâtiment de référence en bois	50

Figure 28. Système de coffrage de béton utilisant du contreplaqué	51
Figure 29. Analyse de sensibilité de l'intégration des matériaux de coffrage à l'empreinte des bâtiments bois et béton.....	52
Figure 30. Impacts sur le potentiel de réchauffement climatique relatif des scénarios selon la méthode IMPACT 2002+ v2.15.....	53
Figure 31. Impacts environnementaux relatifs des scénarios selon la méthode IMPACT 2002+ v2.15.....	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Grille de propositions en écoconception du bâtiment C - Projet Arbora	7
Tableau 2. Composantes des bâtiments incluses dans l'analyse	20
Tableau 3. Composantes des bâtiments exclues de l'analyse (bâtiment bois-bâtiment béton)	21
Tableau 4. Catégories d'impacts et unités respectives	24
Tableau 5. Inventaire des matériaux des bâtiments de référence (modules A1-A3).....	26
Tableau 6. Inventaires des scénarios étudiés.....	29
Tableau 7. Indicateurs de la qualité de données.....	33
Tableau 8. Critères d'évaluation qualitative de la qualité des données	33
Tableau 9. Analyse de la qualité des données primaires et secondaires pour les modules A1-A3	34
Tableau 10. Écart minimal requis pour qu'une comparaison des pointages d'impacts soit significative	35
Tableau 11. Empreinte carbone des scénarios étudiés.....	55

ABRÉVIATIONS

ACV : Analyse du cycle de vie

BGHB : Bâtiment de grande hauteur en bois

CLT : Cross-Laminated Timber (en français : bois lamellé-croisé)

CNB : Code national du bâtiment

DEP : Déclaration environnementale de produit

EICV : Évaluation des impacts du cycle de vie

GES : Gaz à effet de serre

ICV : Inventaire de cycle de vie

LEED : *Leadership in Energy and Environmental Design*

RCP: Règles de catégorie de produits (product category rules ou PCR)

1. INTRODUCTION

Le plus récent rapport du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) appelle les dirigeants à l'échelle internationale à éviter un réchauffement climatique au-delà de 1,5 °C afin de prévenir les impacts significatifs du changement climatique (Rogelj, et al., 2018). La sévérité des impacts dépendra de la rapidité du changement, de son ampleur et des sommets atteints. Il est donc préconisé de limiter les émissions à court terme, soit dès 2040 ou au plus tard en 2055. Les objectifs du Québec de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) de 37,5 % dès 2030 et de 90 % dès 2050 par rapport au niveau de 1990 (Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, 2012) sont en accord avec les objectifs établis par le GIEC.

Au Québec, le secteur du bâtiment est responsable de 10 % des émissions totales estimées à 78,6 Mt éq. CO₂ pour l'année 2017 (MELCC, 2019). Cette proportion exclut la production des matériaux entrant dans la construction des bâtiments, par exemple l'acier, le béton, le bois, le plastique et l'aluminium. Elle représente uniquement les combustibles servant au chauffage et à la climatisation des immeubles résidentiels, commerciaux et institutionnels. Or, les matériaux entrant dans la construction des bâtiments contribuent aux émissions de GES. À l'échelle mondiale, il est estimé que 11 % des émissions sont attribuables à la fabrication des matériaux entrant dans la construction (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019).¹ Au Québec, ce chiffre n'a pas été estimé. Il est de plus en plus établi que la réduction de ces émissions doit être appuyée par des politiques et mesures réglementaires. Le choix des matériaux, la conception intégrée, la décarbonisation de l'infrastructure énergétique, la préfabrication et d'autres mesures font partie de la palette d'approches possibles pour y parvenir (ASMI, 2019) (Pomponi & Moncaster, 2016).

Les tendances d'urbanisation et de densification poussent les concepteurs de bâtiments, urbanistes et développeurs à construire de plus en plus en hauteur. C'est un segment de la construction où le bois est encore peu utilisé malgré le développement de nouveaux produits et systèmes de construction et l'adaptation progressive des codes du bâtiment à ces nouvelles solutions. Ces tendances pourraient entraîner une augmentation de l'utilisation des matériaux à forte empreinte carbone tels que l'acier et le béton. Par conséquent, le choix de matériaux à faible empreinte carbone (tels que les produits forestiers et les produits d'ingénierie en bois) peut aider à réduire ces émissions (Saade, Guest, & Amor, 2020). Il est donc opportun d'envisager la contribution potentielle de nouveaux produits et systèmes en bois dans la construction de grande hauteur et d'évaluer comment ils pourraient réduire l'empreinte carbone des bâtiments innovants en bois construits aujourd'hui.

Une étude antérieure (Essoua & Lavoie, 2019) a permis d'identifier une réduction potentielle de 20 % de l'empreinte carbone d'un bâtiment de grande hauteur en bois par rapport à un bâtiment hypothétique fonctionnellement équivalent en béton armé (Figure 1).

¹ Il est possible que les infrastructures (p. ex. routes et ponts) soient comptabilisées dans ce total.

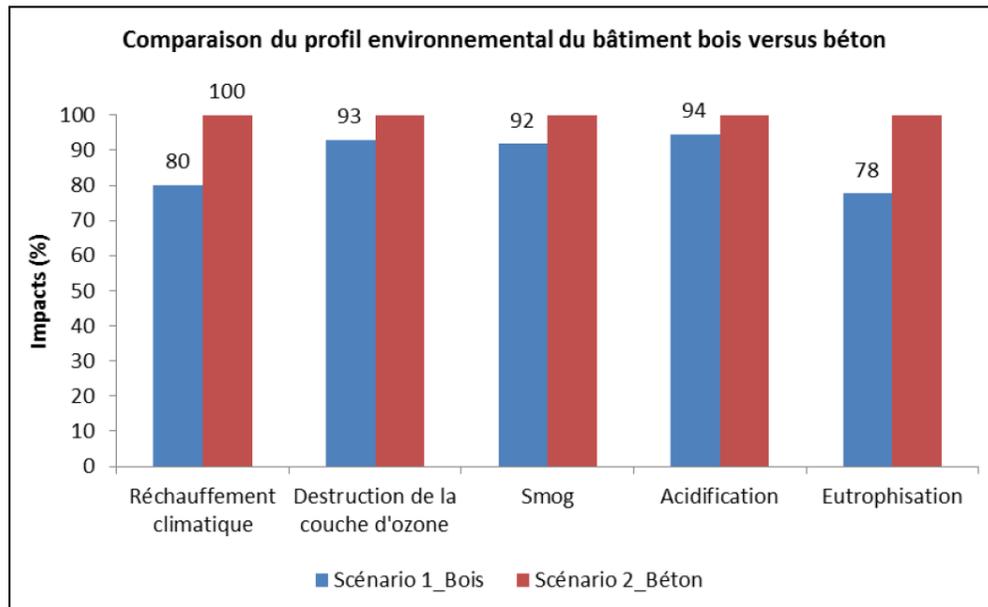


Figure 1. Comparaison des impacts environnementaux d'un bâtiment de grande hauteur en bois comparativement à un bâtiment de grande hauteur en béton

Dans le cadre du présent projet, nous nous sommes intéressés aux possibilités de réduction de l'empreinte carbone (ou GES) atteignables par l'entremise du remplacement des matériaux et systèmes présentant des impacts importants dans une démarche d'écoconception dans le contexte actuel et futur anticipé.

2. ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV)

L'analyse de cycle de vie (ACV) est un outil d'analyse critique et d'aide à la décision. Elle permet de comprendre, de quantifier et d'interpréter les flux d'énergie et de matière, ainsi que les émissions environnementales qui y sont associées dans un système défini. La série de normes ISO 14040/44 (2006) décrit les principales étapes méthodologiques d'une ACV (Figure 2). Chacune de ces étapes est décrite et analysée dans les sections suivantes.

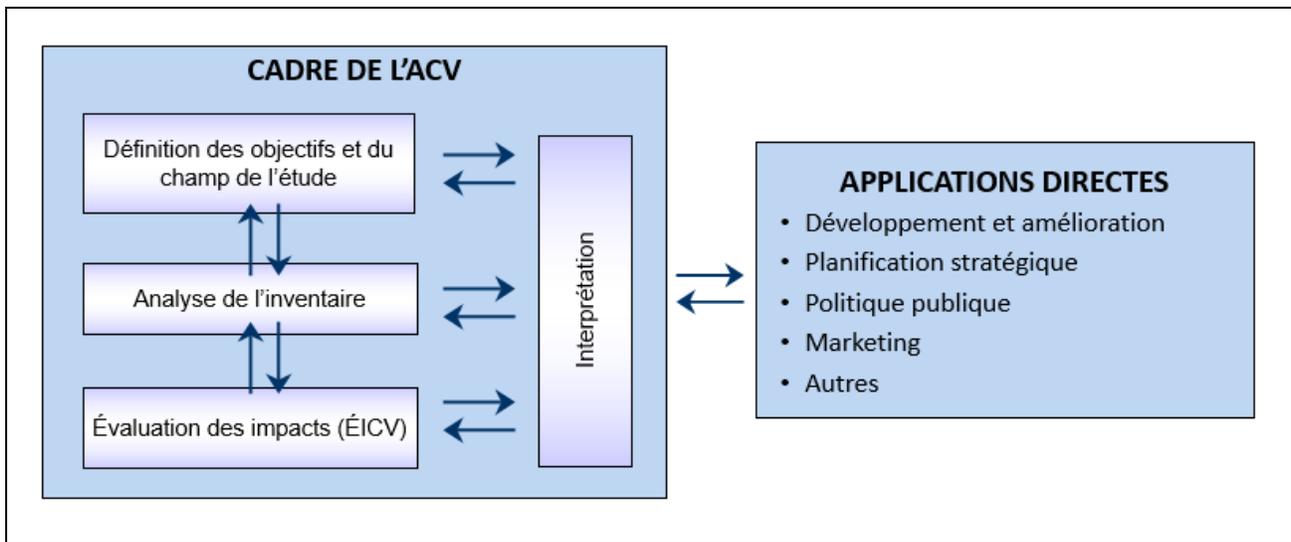


Figure 2. Les étapes méthodologiques de l'ACV
(source : ISO 14040-2006)

3. ÉQUIPE DE PROJET

Les chercheurs de FPIinnovations souhaitent souligner la contribution des partenaires ayant contribué à ce projet. Ils sont répertoriés par organisation ci-dessous :

Provencher Roy Catherine St-Marseille – Architecte Claude Bourbeau – Architecte associé principal	Nordic Structures Keven Durand – Ingénieur / chargé de projet Julie Frappier – Directrice des services techniques
Université Laval Charles Breton – Étudiant au doctorat	Fermacell Sylvain Lallier-Couture – Responsable du développement
Sotramont Nicolas Cadrin – Chargé de projet	
FPIinnovations Géraud Essoua – Chercheur développement durable Patrick Lavoie – Chercheur sénior développement durable Dieudonné Batsy – Chercheur développement durable Camille Laflamme – Stagiaire (Université de Sherbrooke) Anes Omeranovic – Technologue systèmes de construction Lin Hu – Scientifique systèmes de construction Vincent Blanchard – Gestionnaire environnement et développement durable	

4. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif de l'étude est d'évaluer l'impact des choix de conception de bâtiments de grande hauteur en bois (BGHB) sur leur empreinte carbone. L'empreinte carbone du bâtiment actuel modifié selon différents choix de conception sera comparée à celle du bâtiment actuel sans modification. Cet exercice permettra d'identifier des pistes d'amélioration des bâtiments conçus dans le futur en fonction des possibilités offertes par les nouveaux produits et systèmes de construction qui sont actuellement développés et qui seront éventuellement commercialisés. Les possibilités de réduction de l'empreinte carbone des BGHB seront aussi conditionnées par l'évolution et l'adoption des codes du bâtiment par la province de Québec.

4.1 Raison de l'étude

Les bâtiments de grande hauteur en bois (BGHB) sont identifiés comme un moyen d'atténuer les changements climatiques. Il est généralement accepté que la production d'un volume de bois donné (p. ex. 1 m³) a des impacts environnementaux moindres que la production d'un même volume de béton ou d'acier. Or, l'utilisation de ces matériaux structuraux dans des immeubles nécessite l'utilisation de quantités différentes de ces matériaux et de quantités différentes de matériaux de finition (notion d'équivalence fonctionnelle). La construction des bâtiments de grande hauteur en bois a été initiée au Canada et au Québec depuis quelques années par l'entremise de programmes de démonstration servant au développement de connaissances et d'expertise, toutes disciplines confondues (Ressources Naturelles Canada, 2018). Du point de vue environnemental, le développement de connaissances sur des projets concrets reflétant les exigences réglementaires et normatives actuelles et à venir est un besoin. Ces connaissances permettront de maximiser les bénéfices environnementaux de tels bâtiments dans le futur.

4.2 Applications

Les résultats de l'étude pourront orienter des choix de conception, l'élaboration d'exigences réglementaires et le développement de produits et systèmes dans une perspective de réduction de l'empreinte carbone des bâtiments.

4.3 Importance et pertinence

La pertinence de l'étude s'explique par la rareté relative des connaissances en matière de carbone intrinsèque des BGHB, en particulier dans un contexte québécois. En effet, il existe aujourd'hui une seule étude connue sur les BGHB québécois (Essoua & Lavoie, 2019) et un nombre très limité d'études sur ces bâtiments à l'échelle mondiale. Dans ce contexte, il est important d'identifier quels choix s'offrent ou s'offriront aux concepteurs à court et moyen termes afin de tirer profit de cette stratégie de lutte aux changements climatiques.

4.4 Auditoire visé

Les résultats de l'étude seront utiles aux concepteurs de BGHB et aux chercheurs impliqués dans le développement de produits innovants. Ils permettront aussi d'alimenter des réflexions à propos d'orientations politiques et autres programmes gouvernementaux.

5. PORTÉE DE L'ÉTUDE

5.1 Description des bâtiments

Le projet Arbora a pour but d'offrir aux citoyens un nouveau style de logements au design novateur, confortable et à proximité des services. C'est un projet d'envergure en bois d'ingénierie (superficie de 597 560 pi²), composé de trois (3) bâtiments (Arbora A, B et C) de huit étages chacun. Ce sont les plus hauts bâtiments en bois dans la ville de Montréal. Les matériaux utilisés pour la construction de la structure et de l'enveloppe du bâtiment proviennent en totalité du Québec. Les matériaux utilisés pour les travaux d'intérieur proviennent à 70 % du Québec, tandis que le reste (30 %) provient principalement des États-Unis².

Érigés sur huit étages à partir du rez-de-chaussée (RDC), les bâtiments analysés présentent deux étages de sous-sol destinés au stationnement (non considérés dans l'étude). Les huit étages hors sol sont subdivisés en logements et commerces. Le RDC est destiné aux activités commerciales tandis que les étages 2 à 8 (c'est-à-dire sept étages) sont destinés aux logements. D'une superficie brute hors sol de 13 766 m², le bâtiment comprend 142 logements et des commerces (Figure 3). Construit en bois d'ingénierie, le bâtiment C présente des revêtements extérieurs de briques, de panneaux laminés en bois, de panneaux métalliques en acier et des murs rideaux. Le bâtiment et son efficacité énergétique sont conçus dans l'optique d'obtention de la reconnaissance LEED® Platine.

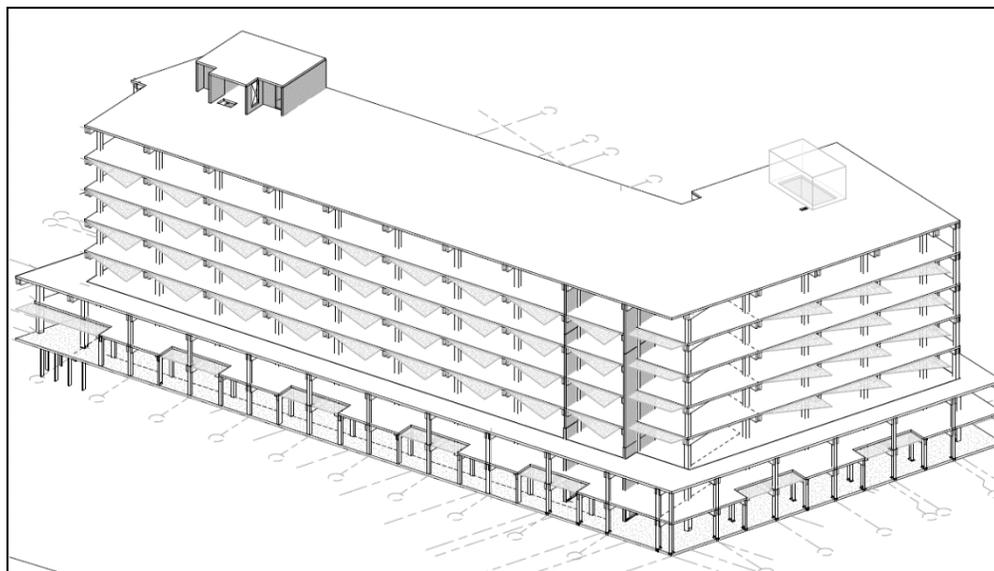


Figure 3. Illustration 3D du bâtiment bois en étude (Bâtiment C du projet Arbora)

Image : Provencher Roy

² Communication personnelle de Sotramont 2017

5.2 Description technique des différentes propositions

5.2.1 Grille des propositions

Une démarche d'écoconception a été menée par l'entremise de rencontres de travail et de consultations avec la firme d'architecture Provencher Roy, L2C Experts Conseils en structure et Nordic Structure. Ces professionnels ont participé à la conception et à la réalisation du bâtiment Arbora C. À ces professionnels se sont ajoutés les spécialistes en performance acoustique et en résistance au feu des systèmes de construction de FPInnovations ainsi que des représentants commerciaux de fournisseurs de produits innovants.

Les idées retenues au cours de ces rencontres de travail ont été structurées sous forme de propositions. Ces propositions ont ensuite été regroupées et présentées dans une grille des propositions selon ce que permet ou pourrait éventuellement permettre le Code national du bâtiment et ses révisions à venir dans les prochaines années (Tableau 1). Il est à noter que les provinces et juridictions peuvent adopter ce code à leur rythme et que ce dernier peut être modifié pour refléter des priorités et réalités locales.

Dans cette grille, la colonne « Codes » représente les différentes éditions du Code national du bâtiment (CNB) prises en compte dans cette analyse. Le nombre suivant le sigle « CNB » correspond à l'année du code considéré, soit 2015, 2020 ou 2025. La deuxième colonne, « Objectifs », décrit brièvement les objectifs de chaque proposition en lien avec les résultats de l'étude initiale. L'atteinte ou non des objectifs est l'objet de la présente étude; il s'agit d'une hypothèse à étudier. La colonne « Options » décrit comment l'objectif pourrait être atteint alors que la colonne « Propositions » présente de manière précise l'action envisagée pour atteindre l'objectif. La colonne « Critères » présente les paramètres de performances acoustique et thermique des systèmes constructifs du bâtiment C tel que construit (actuel) et du bâtiment avec la proposition avancée. Cette colonne indique si les matériaux proposés sont de nature combustible ou incombustible. La nature des matériaux est aujourd'hui un concept central du CNB. Finalement, la colonne « Remarques » fait état de spécificités techniques en relation avec les propositions formulées. Il peut s'agir là de questionnements auxquels nous n'avons pas de réponse aujourd'hui et qui pourraient relativiser la notion d'équivalence fonctionnelle ou de performance équivalente des matériaux ou systèmes.

Les paragraphes de la section 5.2.4 expliquent en détail la teneur des propositions étayées au Tableau 1.

Tableau 1. Grille de propositions en écoconception du bâtiment C - Projet Arbora

Codes	Objectifs	Options	Propositions	Critères						Incom- bustible	Remarques	
				Actuels			Proposés					
				IIC	STC	RSI total	IIC	STC	RSI total			
CNB2015	1. Éliminer le béton dans la composition des planchers en lamellé-croisé (CLT).	Modifier la composition du système acoustique des planchers en CLT.	Remplacer la chape de béton par le gypse fermacell.	57	55	-	>57	53	-	-	40 mm de fermacell. L'épaisseur du plancher ne change pas.	
				La composition du système de plafond ne change pas. Il est identique à celui du bâtiment de référence en bois.								
	2. Éliminer l'aluminium dans les murs rideaux.	Modifier la composition des murs rideaux.	Remplacer les meneaux en aluminium par le bois.	-	ND ^(a)	-	-	ND ^(a)	-	Non	La profondeur du mur-rideau ne change pas.	
				L'effet du remplacement des meneaux en aluminium par des meneaux en bois sur la valeur RSI totale est considéré négligeable.								
				La valeur de l'isolation thermique (U) du mur-rideau est égale dans les deux cas (actuel et proposition). U = 0,8 W/m²K pour le type THERM* A-I https://www.ic2tech.com/fileadmin/media/documents/Systeme_Alu.pdf								
				Remplacement aussi possible dans le bâtiment en béton.								
	3. Réduire la quantité d'aluminium dans les revêtements extérieurs.	Changer les revêtements extérieurs en aluminium par un autre matériau à faible empreinte carbone.	Remplacer les revêtements en aluminium par l'ardoise.	-	ND ^(a)	4,48	-	ND ^(a)	>4,48	Oui	Le système d'ancrage de l'ardoise change comparativement à celui de l'aluminium.	
				Les coûts du nouveau système de revêtement extérieur (ancrage et ardoise) sont probablement plus élevés comparativement à ceux en aluminium.								
Aluminium RSI = 0,11 et Ardoise 13 mm RSI = 0,010 https://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/housing/new-homes/energy-starr-new-homes-standard/tables-calculating-effective-thermal-resistance-opaque-assemblies/14176												
Remplacement aussi possible dans le bâtiment en béton.												
4. Réduire l'utilisation de la brique comme revêtement extérieur.	Changer une partie du revêtement extérieur en brique par de la pierre.	Remplacer 50 % de la brique par de la pierre.	-	ND ^(a)	4,8	-	ND ^(a)	< 4,8	Oui	Le système d'ancrage de la pierre est le même que celui de la brique.		
			La pierre (90 mm) est moins isolante que la brique (92 mm), ce qui devrait affecter la résistance thermique du mur légèrement à la baisse. Brique d'argile (92 mm) RSI = 0,070 et pierre (90 mm) RSI = 0,036. https://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/housing/new-homes/energy-starr-new-homes-standard/tables-calculating-effective-thermal-resistance-opaque-assemblies/14176									
			Remplacement aussi possible dans le bâtiment en béton.									
Code 2020	1. Réduire la quantité de gypse utilisée dans le bâtiment en bois.	Possibilité de laisser apparent jusqu'à 35 % de bois structural dans les logements.	(a) Réduire de 10 % l'utilisation du gypse.	-	NSP ^(a)	-	-	NSP ^(a)	-	-	Les surfaces de colonnes et poutres qui pourraient être exposées ont été identifiées comme étant ce qui devrait être permis par le code 2020 en vertu des dispositions relatives aux murs, colonnes et poutres.	
			(b) Réduire de 25 % l'utilisation du gypse.	-	NSP ^(a)	-	-	NSP ^(a)	-	-	L'indice moyen de propagation des flammes (IPF) du CLT trois plis est de 35. Les surfaces de plafonds qui pourraient être exposées ont été identifiées comme étant ce qui devrait être permis par le code 2020 en vertu des dispositions relatives aux plafonds.	

	2. Réduire la quantité d'acier utilisée dans l'enveloppe du bâtiment.	Changer la composition de l'enveloppe du bâtiment.	Remplacer le colombage en acier par un colombage en bois d'ingénierie dans l'enveloppe de bâtiment.	-	ND ^(a)	4,8 - 4,48	-	ND ^(a)	> 4,8 - 4,48	Non	La résistance thermique d'un système d'enveloppe varie aussi en fonction du type de revêtement extérieur utilisé : mur extérieur avec maçonnerie (4,8) et mur extérieur avec revêtement métallique (4,48).
	3. Réduire la quantité d'acier utilisée dans les cloisons du bâtiment.	Changer la composition des cloisons du bâtiment.	Remplacer le colombage en acier par un colombage en bois d'ingénierie dans les cloisons du bâtiment.	-	ND ^(a)	-	-	ND ^(a)	-	Non	Impact incertain/marginal du remplacement des colombages en acier par des colombages en bois d'ingénierie sur la performance acoustique de l'enveloppe et des cloisons.
Code 2025	1. Utiliser un isolant à plus faible empreinte carbone dans l'enveloppe du bâtiment.	Changer la nature de l'isolant extérieur dans l'enveloppe du bâtiment.	Remplacer l'isolant de laine de roche par un isolant de fibre de bois dans l'enveloppe du bâtiment.	-	ND ^(a)	4,8 - 4,48	-	ND ^(a)	Égal	Non	La résistance thermique du système d'enveloppe est aussi fonction du type de revêtement extérieur utilisé : mur extérieur avec maçonnerie (4,8) ou mur extérieur avec revêtement métallique (4,48). L'utilisation de l'isolant en fibre de bois pourrait augmenter de 4,6 % l'épaisseur de l'enveloppe du bâtiment. Ceci pourrait marginalement réduire l'espace utile des logements ou augmenter la superficie brute au sol du bâtiment. Isolant en fibres de Gutex 25 mm (1 po) R = 3,7 https://foursevenfive.ca/gutex-multitherm/ Remplacement aussi possible dans le bâtiment en béton.
	2. Réduire l'utilisation de l'acier dans les balcons en porte-à-faux.	Changer les balcons en acier par des balcons en CLT.	Remplacer l'acier des balcons en porte-à-faux par des dalles en CLT.	-	-	-	-	-	-	Non	Les balcons sont suspendus. Le système de suspension des balcons est constitué de plaques d'acier fixées à la structure de CLT.
	3. Réduire la quantité d'acier dans les plafonds du bâtiment.	Changer les matériaux dans le système plafond.	Remplacer les longerons en acier par des fourrures en bois d'ingénierie dans les plafonds.	57	55	-	>57	>55	-	Non	Les épaisseurs des plafonds sont inchangées. L'utilisation de la fourrure en bois d'ingénierie pourrait affecter la performance acoustique des systèmes plancher-plafond. L'ampleur de cette variation est inconnue à cette étape de développement du produit.
	4. Réduire la superficie de plafond (acier et gypse) dans le bâtiment.	Faire passer les systèmes mécaniques et la plomberie dans les planchers au lieu des plafonds.	Réaliser des planchers surélevés en bois d'ingénierie.	-	-	-	NSP ^(b)	NSP ^(b)	NSP ^(b)	Non	L'épaisseur du système plancher-plafond demeure inchangée.

Légende : « ^a » indique que l'information est non disponible, « ^b » indique Ne sait pas. STC : *Sound Transmission Class*. IIC : *Impact Insulation Class*. RSI : R-value Système International.

Source additionnelle: (FPInnovations, 2019)

5.2.2 Scénario de référence bois

Le bâtiment Arbora C a une surface brute totale de 13 776 m². Sa structure est constituée de colonnes en béton (rez-de-chaussée) et de colonnes et poutres en bois lamellé-collé sur lesquelles reposent des dalles en béton de 230 mm (rez-de-chaussée et deuxième étage) et des dalles en CLT (bois lamellé-croisé ou *Cross-Laminated Timber*) de 175 mm (du troisième au huitième étage). Il s'agit donc d'une construction de type plateforme (aussi appelée podium), c'est-à-dire que le premier étage est en béton et que les étages supérieurs sont en bois. Les deux cages d'escalier et la cage d'ascenseur sont faites de CLT.

Au total, il y a 286 colonnes et 260 poutres en bois. Les principales colonnes ont une section de 390 x 500 mm. Sur les trois premiers étages (RDC, premier et deuxième étages), on retrouve 39 colonnes de section de 279 x 279 mm. Six colonnes de 184 x 406 mm sont érigées au niveau des toits de la terrasse. Les poutres ont une section de 184 x 546 mm et une portée inter-axe de 7 300 mm. Des ensembles de deux poutres se connectent de chaque côté d'une colonne à l'aide de vis auto taraudeuses.

Les revêtements extérieurs sont principalement faits de brique, mais incluent aussi une certaine proportion d'aluminium, de fibrociment et de panneaux imitation bois. Un mur-rideau est présent au rez-de-chaussée où se situent l'entrée des logements ainsi que les espaces commerciaux.

5.2.3 Scénario béton

Le bâtiment en béton a aussi une surface brute totale de 13 766 m². Sa structure est constituée de 418 colonnes en béton de section de 300 x 600 mm. Les poutres et des dalles sont aussi en béton. Les dalles ont une épaisseur de 230 mm, à l'exception du toit et du RDC qui sont respectivement de 275 mm et 250 mm. La hauteur est de 3 900 mm au RDC et de 2 900 mm en moyenne pour les autres étages. À chaque étage, les murs de refend ont une longueur de 37 200 mm et sont d'une épaisseur de 300 mm.

Tout comme dans le cas du bâtiment en bois, les revêtements extérieurs sont principalement faits de brique, mais incluent aussi une certaine proportion d'aluminium, de fibrociment et de panneaux imitation bois. Un mur-rideau est présent au rez-de-chaussée où se situent l'entrée des logements ainsi que les espaces commerciaux.

5.2.4 Code national du bâtiment (CNB) 2015

5.2.4.1 Scénario CNB2015-1 : Remplacement de la chape de béton par le gypse fermacell

L'objectif de la première proposition en lien avec le CNB 2015 était d'éliminer le béton dans la composition des planchers en CLT. Pour ce faire, la chape de béton de 38 mm d'épaisseur serait remplacée par un panneau fermacell de 40 mm d'épaisseur (Figure 4). Faite de mortier (béton maigre composé de ciment et sable), la chape de béton appliquée sur une dalle en CLT contribue à l'isolation acoustique du système de plancher. En raison de sa masse volumique élevée, la chape de béton atténue la transmission des bruits aériens mesurée selon l'indice de transmission des sons (*STC*). Le fermacell, quant à lui, est un matériau composé de gypse (~80 % sur base massique) et de fibres cellulosiques recyclées (~20 % sur base massique) (Fermacell, 2013). Plus léger que la chape de béton, son utilisation réduit légèrement l'indice *STC*, mais améliore en contrepartie l'indice d'isolation aux bruits d'impact (*IIC*) du plancher. Cette différence est acceptable du point de vue du CNB.

La proposition CNB2015-1 avancée vise à maintenir les valeurs STC et IIC du système de plancher dans la mesure du possible. Le remplacement de la chape de béton de 38 mm d'épaisseur par un panneau fermacell de 40 mm d'épaisseur changerait de ± 2 points les valeurs de performance acoustique selon l'indice considéré (*STC* ou *IIC*).



Système plancher en CLT 5 plis

Figure 4. Détails du système de plancher en CLT

La composition du système de plancher se détaille comme suit :

1. Plancher de bois d'ingénierie de 15 mm d'épaisseur (exclu de l'analyse, illustré à titre indicatif)
2. Couche souple (AcustiTECH VP) de 2,4 mm d'épaisseur (exclue de l'analyse, illustrée à titre indicatif)
3. Béton de 38 mm d'épaisseur OU panneaux fermacell de 40 mm d'épaisseur
4. Panneau de fibre de bois (BP) de 12,7 mm fixé au CLT
5. CLT de 175 mm d'épaisseur
6. Plafond suspendu sur grillage métallique (« système de treillis pour cloison sèche »), 100 mm sous la dalle de CLT
7. Isolation en fibre de verre de 89 mm d'épaisseur
8. Deux panneaux de gypse Type X de 12,7 mm d'épaisseur

5.2.4.2 Scénario CNB2015-2 : Remplacement des meneaux en aluminium par le bois

L'objectif de la deuxième proposition en lien avec le CNB 2015 (Tableau 1) était d'éliminer l'aluminium dans les murs rideaux. Pour ce faire, les meneaux et longerons en aluminium seraient remplacés par des éléments en bois (Figure 5). Les dimensions des meneaux et longerons restent inchangées afin de maintenir la profondeur des murs rideaux dans l'enveloppe du bâtiment au RDC.

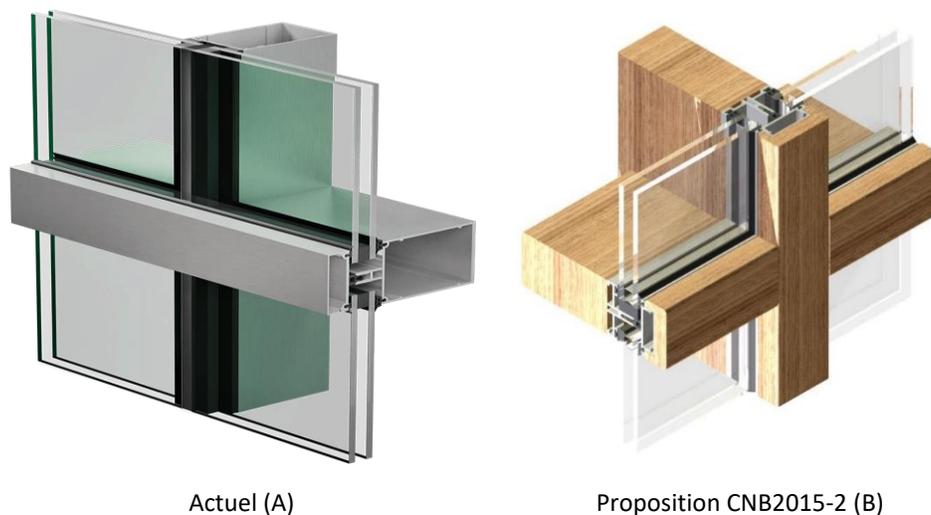


Figure 5. Détails du système mur-rideau

5.2.4.3 Scénario CNB2015-3 : Remplacement des revêtements en aluminium par de l'ardoise

L'objectif de la troisième proposition en lien avec le CNB 2015 (Tableau 1) était de réduire la quantité d'aluminium utilisée pour le revêtement extérieur. Afin d'y parvenir, il est proposé de remplacer les panneaux profilés en aluminium par de l'ardoise, comme le montre la Figure 6.

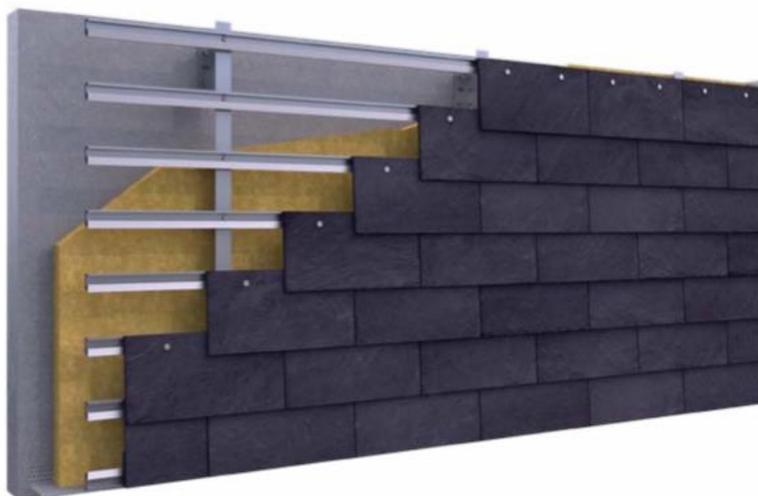


Figure 6. Détails du système d'ancrage du revêtement extérieur en ardoise

Source : Cupaclad™

La composition du système mural avec revêtement extérieur en ardoise nécessite l'utilisation de fourrures horizontales prescrites par le guide d'installation Logic 101 du fabricant Cupaclad (Figure 7) (Cupagroup, s.d.). Les tuiles d'ardoise ont une dimension de 400 mm x 200 mm x 8 mm et sont vissées sur des profilés horizontaux espacés à 150 mm. Les autres composants du mur actuel avec un revêtement en aluminium demeurent inchangés (Figure 7).

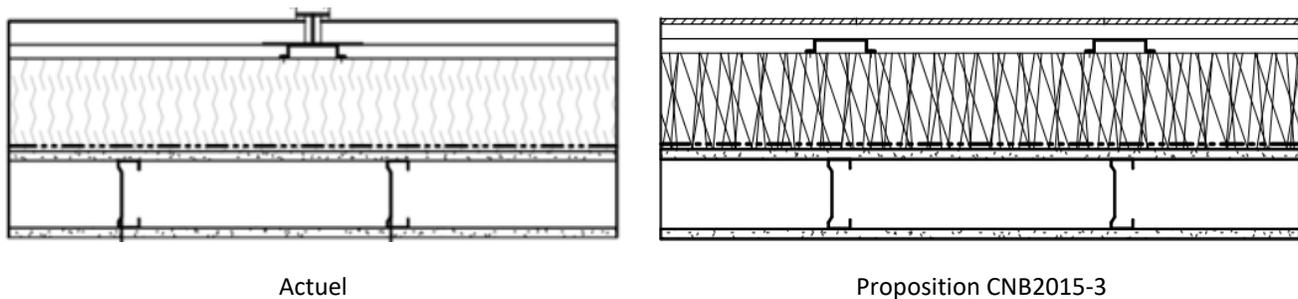


Figure 7. Composition du système d'enveloppe avec revêtement extérieur en aluminium ou en ardoise

De l'extérieur vers l'intérieur, le système mural présente :

1. Tuiles d'ardoise 200 mm x 400 mm
2. Profilés horizontaux CUPACLAD espacés à 150 mm c/c
3. Sous-entremise oméga verticale en acier galvanisé 19 mm
4. Barre horizontale en « Z » faite d'acier galvanisé ajustable 127 mm @ 610 mm c/c min.
5. Isolant en fibre de roche 127 mm épaisseur
6. Membrane pare-air / pare-vapeur autocollante
7. Panneau de support (OSB) à mats en fibres de verre 12,7 mm
8. Montant métallique 92 mm
9. Gypse 13 mm type C

5.2.4.4 Scénario CNB2015-4 : Remplacement de la brique par un revêtement extérieur en pierre

L'objectif de la quatrième proposition en lien avec le CNB 2015 (Tableau 1) était de réduire l'utilisation de la brique comme revêtement extérieur du bâtiment. La décision d'employer ce revêtement relève du règlement d'urbanisme de la ville de Montréal. Ainsi, si le bâtiment avait été construit ailleurs, il aurait été possible de mettre moins de brique sur les façades du bâtiment.

L'élimination complète de la brique ne serait pas réaliste compte tenu des préférences des consommateurs et des pratiques architecturales d'aujourd'hui. Il est par conséquent proposé de remplacer 50 % de la brique par de la pierre de 90 mm de profondeur. La composition du système mural avec revêtement extérieur en pierre est identique à celui du système avec revêtement extérieur en brique (Figure 8), incluant le système d'ancrage du revêtement extérieur de brique (Figure 8). De l'extérieur vers l'intérieur, le système mural présente :

1. Revêtement de pierre 90 mm
2. Espace d'air 25 mm
3. Ancrage ajustable pour revêtement de pierre
4. Isolant en polyuréthane giclé 90 mm
5. Panneau de support à mats en fibre de verre 12,7 mm

- 6. Montant métallique 92 mm
- 7. Gypse 13 mm type c

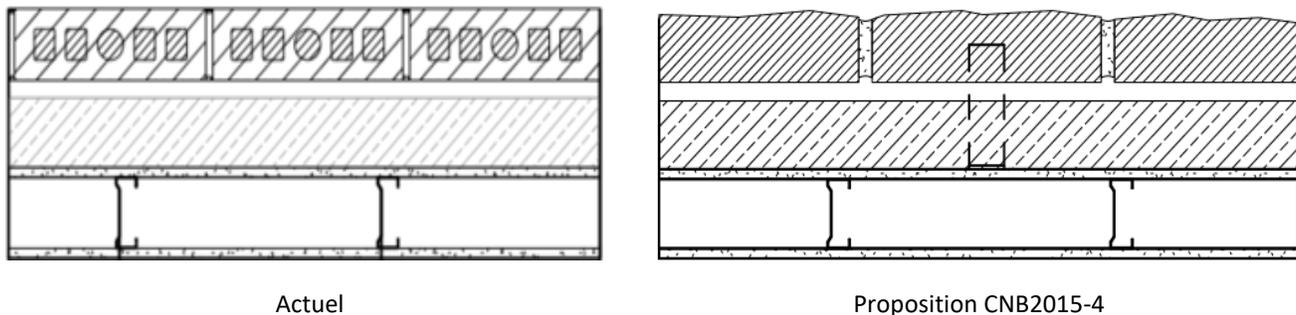


Figure 8. Détails du système d'enveloppe avec revêtement extérieur en brique ou en pierre

5.2.5 Code national du bâtiment (CNB) 2020

Les propositions décrites dans cette section sont fondées sur des options qui pourraient faire partie de la prochaine édition du CNB, dont la publication est prévue pour 2020.

5.2.5.1 Scénario CNB2020–1 : Diminuer l'utilisation du gypse dans le bâtiment

Le Code national du bâtiment, les guides techniques et les décisions administratives (provinciales et municipales) encadrant la construction de grande hauteur en bois exigent actuellement que tous les éléments structuraux en bois soient encapsulés par un revêtement de gypse, de manière à atteindre un degré de résistance au feu minimal de deux heures. Le CNB 2020 devrait permettre d'exposer une certaine proportion des murs extérieurs et plafonds en bois, donc de retirer une partie du gypse actuellement utilisé.

La première proposition en lien avec le CNB 2020 est de retirer un maximum de gypse des plafonds, murs de refend, colonnes et poutres selon ce qui pourrait être accepté dans le futur code national modèle. Le gypse représente environ 8 % des impacts totaux du bâtiment pour les étapes d'extraction, de fabrication et de construction (A1-A5) (Essoua & Lavoie, 2019).

Ainsi, pour chaque unité du bâtiment, les superficies des éléments qui seraient dans la pratique exposables ont été identifiées et quantifiées par rapport aux dispositions prévues du code à venir. Par exemple, les murs qui donnent sur des espaces humides (p. ex. les douches) ou des couloirs n'ont pas été inclus dans les superficies dont on pourrait retirer une ou deux couches de panneaux de gypse.

Au terme de l'analyse, seuls les plafonds, colonnes et poutres ont été retenus. Les murs de refend en CLT ont été exclus, car ils sont recouverts de part et d'autre de murs à ossature légère en acier qui ont des fonctions acoustiques en plus de fonctions de résistance au feu. Au total, l'équivalent de 26 % des superficies de murs de périmètre des logements pourraient être exposés, répartis entre les plafonds (58 %), poutres (39 %) et colonnes (3 %). Cela représente environ 10 % du gypse total entrant dans la construction du bâtiment sur une base de superficie.

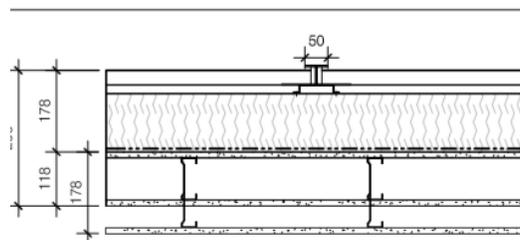
5.2.5.2 Scénario CNB2020-2 : Remplacement des colombages en acier des murs extérieurs par des colombages en bois d'ingénierie

Arbora C, dont la structure est en bois, emploie des quantités importantes d'acier dans ses murs extérieurs sous la forme de colombages. Au total, environ 26 % des émissions de GES du bâtiment sont attribuables à ce matériau. Il convient donc d'évaluer les réductions de GES qui découleraient du remplacement des colombages en acier par des équivalents en bois d'ingénierie. C'est l'objet de la deuxième proposition en lien avec le CNB 2020.

Les colombages en bois d'ingénierie sont issus d'un procédé de moulage de la fibre de bois semblable à la production du MDF. Les produits de bois d'ingénierie ont la même forme géométrique et les mêmes largeur et hauteur que des produits équivalents en acier, mais ils sont plus épais, soit 7 mm comparativement à 1,14 mm pour les produits remplacés.

La composition générale des murs touchés ne change pas. Une des compositions de mur extérieur (M03) est décrite ci-bas et est illustrée à la Figure 9. La composition de mur extérieur la plus utilisée dans le bâtiment ne comporte pas d'isolant en cavité; elle utilise un isolant de polyuréthane à l'extérieur de la cavité.

1. Profilé d'aluminium 32 mm
2. Sous-entremise oméga en aluminium 19 mm, espacement à coordonner avec le fabricant
3. Barre horizontale en « Z » en acier galvanisé ajustable 127 mm @610 mm c/c min.
4. Isolant IS05 (Laine de roche) 127 mm
5. Membrane ME03 (Pare-air/vapeur)
6. Panneau de support à mats en fibres de verre 12,7 mm avec joints scellés à la rencontre d'un autre matériau
7. Montant métallique 92 mm @ 406 mm c/c OU montant en bois d'ingénierie 92 mm @ 406 mm c/c
8. Panneau de gypse 13 mm type C



5.2.5.3 Scénario CNB2020-3 : Remplacement des colombages en acier des cloisons par des colombages en bois d'ingénierie

Arbora C emploie des quantités importantes d'acier dans ses cloisons (26 % des émissions de GES) (Essoua & Lavoie, 2019). En fait, près de 90 % des murs du bâtiment sont des cloisons, c'est-à-dire des murs dont aucune des faces n'est exposée aux intempéries. Il convient donc d'évaluer les réductions de GES qui découleraient du remplacement des colombages en acier par des équivalents en bois d'ingénierie; c'est l'objet de la quatrième proposition en lien avec le CNB 2020.

Les colombages en bois d'ingénierie sont issus d'un procédé de moulage de la fibre de bois semblable à la production du MDF. Les produits de bois d'ingénierie ont la même forme géométrique et les mêmes largeur et hauteur que ceux en acier, mais ils sont plus épais mais ils sont plus épais, soit 7 mm comparativement à 1,14 mm pour les produits remplacés. La composition des cloisons affectées ne change pas; une des compositions de cloisons (10C) est décrite ci-bas et illustrée à la Figure 10.

1. Panneau de gypse 13 mm type C
2. Montant métallique 92 mm@ 610mm c/c OU montant en bois d'ingénierie 92 mm@ 610 mm c/c
3. Panneau de gypse 13 mm type C

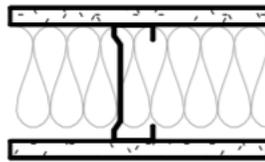


Figure 10. Cloison utilisant un montant en acier

5.2.6 Code national du bâtiment (CNB) 2025

5.2.6.1 Scénario CNB2025-1 : Remplacement de l'isolant en laine de roche par de la fibre de bois

L'objectif de la première proposition faite dans le contexte du CNB 2025 (Tableau 1) était d'utiliser un isolant ayant potentiellement une plus faible empreinte carbone au lieu de la laine de roche utilisée dans les murs extérieurs. Il est proposé d'utiliser l'isolant en fibres de bois comme substitut. Le remplacement s'applique aux murs de l'enveloppe qui présentent un revêtement extérieur en acier plié, en aluminium profilé et en panneaux laminés en bois de type « Prodema ».

La composition du système mural reste inchangée à l'exception de l'isolant employé en surface du pare-vapeur (Figure 11).

1. Profilé d'aluminium 2 mm / Panneau architectural de laminé de bois 8 mm / Acier plié
2. Sous-entremise oméga verticale en acier galvanisé 38 x 19 mm cal.18 @ 406 mm c/c ou pas
3. Barre horizontale en « Z » en acier galvanisé ajustable cal.18 @ 800mm c/c
4. Isolant en fibre de bois 140 mm d'épaisseur

5. Membrane pare-air / pare-vapeur
6. Panneau de support (OSB) à mats en fibre de verre 12,7 mm
7. Montant métallique 92 mm @ 406 mm c/c
8. Gypse 13 mm type C

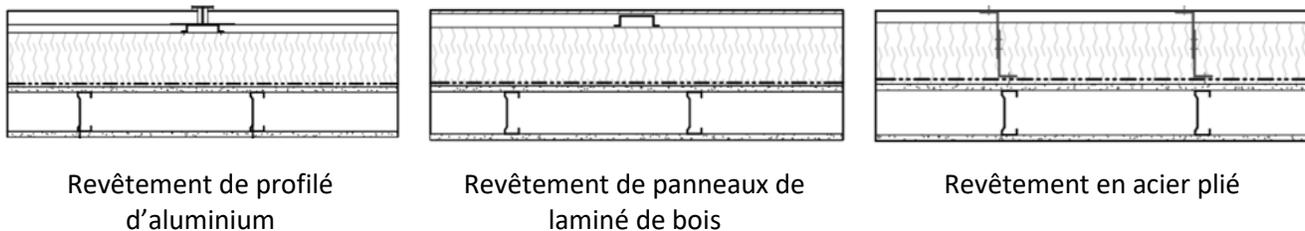


Figure 11. Détails de composition d'enveloppe avec différents revêtements extérieurs

Il est à noter qu'en raison de la résistance thermique (RSI) légèrement inférieure (-7,5 %) de l'isolant en bois comparativement à celle de la laine de roche, il est pertinent d'augmenter légèrement l'épaisseur de l'isolant utilisé à l'extérieur du mur afin de conserver la performance thermique du système d'enveloppe. L'épaisseur de l'isolant en fibres de bois est de 140 mm³ en comparaison à la laine de roche de 127 mm initialement utilisée (+9 %). Compte tenu que les murs extérieurs utilisaient déjà des barres en « Z » ajustables, cette augmentation d'épaisseur de l'isolant ne nécessite pas l'utilisation de matériaux d'installation (i.e. barres en « Z » de dimension supérieure) additionnels.

5.2.6.2 Scénario CNB2025-2 : Remplacement des balcons en acier par des dalles en CLT

L'objectif de la deuxième proposition faite dans le contexte du CNB 2025 (Tableau 1) était de réduire l'utilisation de l'acier dans le bâtiment en remplaçant les balcons en acier par des dalles de CLT. Pour ce faire, il a été proposé d'utiliser une dalle de CLT de 175 mm d'épaisseur (5 plis) au lieu des balcons accrochés à la façade du bâtiment (Figure 12). La composition des balcons diffère, chaque composition nécessitant une protection aux intempéries et un système d'étanchéité particuliers. Dans le cas des balcons en acier, les principaux éléments étaient :

1. Panneaux de béton préfabriqué de 38 mm
2. Structure d'acier
3. Barre en « Z » ajustable
4. Revêtement de fibrociment
5. Moulure de fermeture

³ En fonction des dimensions standard de produits offerts sur le marché (les dimensions possibles vont de 40 à 200 mm par incrément de 20 mm).

Dans le cas des balcons en CLT, les éléments constitutifs sont:

1. Finition époxydique
2. Membrane d'imperméabilisation intermédiaire
3. Membrane de base
4. Contreplaqué type extérieur 19mm
5. Dalle de CLT en pente
6. Montants métalliques 64mm @ 610mm c/c
7. Revêtement de fibrociment
8. Moulure de fermeture

Il est important de mentionner que le système d'ancrage des balcons en CLT est le même que celui des balcons en acier. Ce système est constitué de plaques d'attache et de tirants en acier.

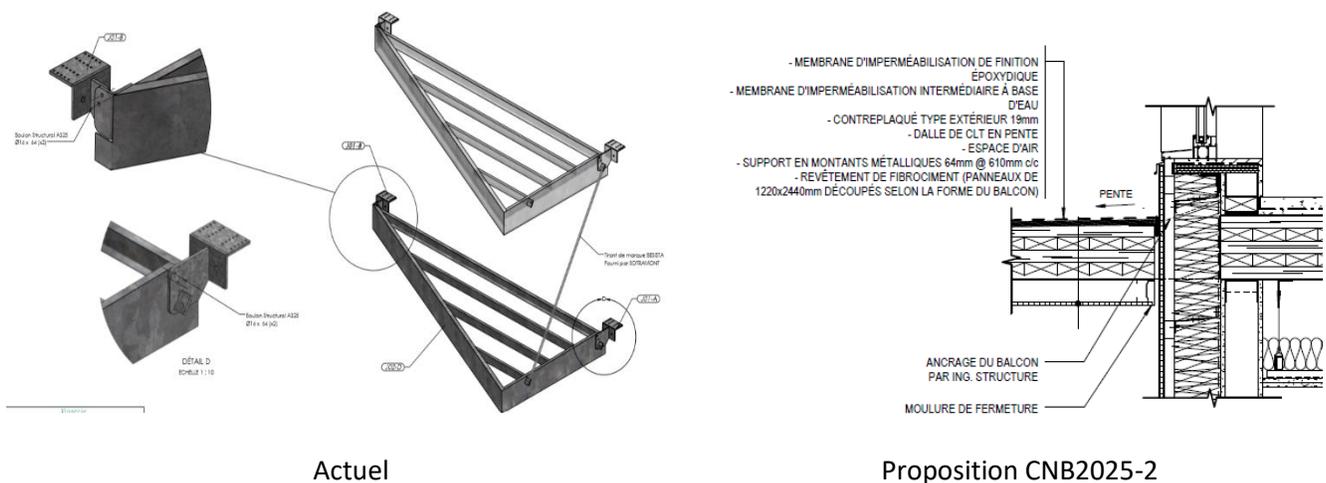
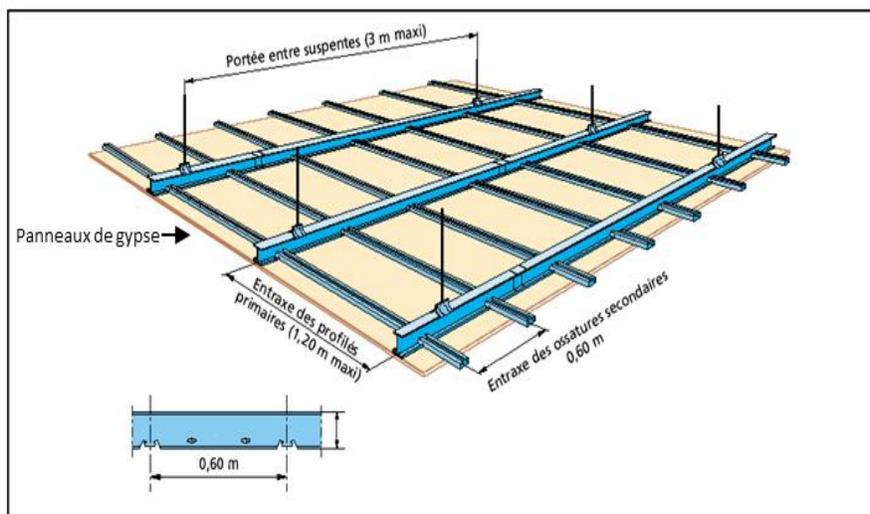


Figure 12. Détail balcons

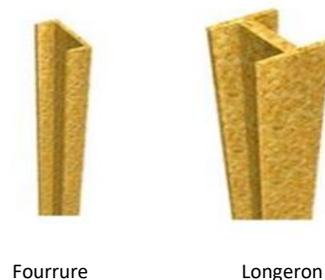
5.2.6.3 Scénario CNB2025-3 : Remplacement de l'acier dans les plafonds par du bois d'ingénierie

L'objectif de la troisième proposition en lien avec le CNB 2025 (Tableau 1) est de réduire la quantité d'acier utilisé dans les plafonds du bâtiment par du bois d'ingénierie. Dans ce scénario, il est proposé d'utiliser des longerons et fourrures en bois d'ingénierie en remplacement des longerons (profilés primaires) et fourrures (ossature secondaire) en acier sur lesquels sont vissés les panneaux de gypse du plafond.

Les longerons et fourrures en bois d'ingénierie sont issus d'un procédé de moulage de la fibre de bois semblable à la production du MDF. Les produits de bois d'ingénierie ont la même forme géométrique et les mêmes largeur et hauteur que ceux en acier, mais ils sont plus épais, soit 7,00 mm comparativement à 1,14 mm pour les produits en acier remplacés. Dans la composition du système de plafond analysée (Figure 13), les dimensions des suspensions en aluminium et les panneaux de gypse sont inchangés.



Plafond Placostil Prim® avec ossature primaire Stil Prim® 100 et fourrures Stil® F 530.



Actuel

Proposition CNB2025-3

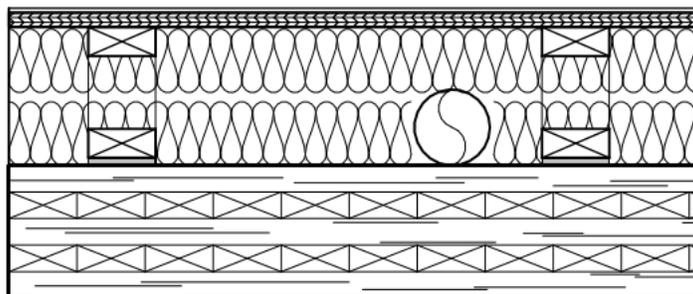
Figure 13. Détails du système de plafond

5.2.6.4 Scénario CNB2025-4 : Construction d'un plancher surélevé sur dalle en CLT

L'objectif de la quatrième proposition faite dans le cadre du CNB 2025 (Tableau 1) est de réduire l'utilisation de l'acier et du gypse dans le bâtiment, notamment dans les plafonds. Pour ce faire, il est proposé de réaliser un plancher surélevé sur la dalle de CLT afin d'éviter de construire des plafonds sous les dalles de CLT. Ainsi, le système de plafond actuel (Figure 11) serait éliminé en faveur de dalles de CLT apparentes. La mécanique du bâtiment passerait dans les planchers surélevés.

Dans le bâtiment tel que construit, la hauteur des plafonds varie en fonction du type (PS1 et PS2). Les plafonds de type PS1 sont ceux dans lesquels la mécanique du bâtiment est absente tandis que ceux de type PS2 sont marqués par le passage de la mécanique du bâtiment. De ce fait, les plafonds PS1 ont une hauteur de 150 mm tandis que les plafonds de type PS2 ont une hauteur de 300 mm, pour une hauteur moyenne de 225 mm. Dans cette proposition, la hauteur du plancher surélevé est fondée sur la profondeur commerciale des poutrelles en I. La profondeur considérée est de 241 mm, à laquelle s'additionnent les 19 mm d'épaisseur du panneau de contreplaqué, pour un total de 260 mm (Figure 12). Cette profondeur est supérieure de 15 % à la hauteur moyenne des plafonds du bâtiment tel que construit, mais inférieure de 13 % à la hauteur des plafonds de type PS2 qui sont majoritaires dans le bâtiment. Sur la base de ces observations, il est possible d'avancer que les planchers surélevés de 260 mm n'affecteraient pas de manière significative les hauteurs utiles et donc la fonction remplie par les logements. La composition du plancher surélevé analysé est:

1. Revêtement de plancher
2. Contreplaqué 19 mm à joints emboutetés
3. Bâti structural en bois avec coussin de néoprène sous la lisse (poutrelle en I, profondeur de 241 mm)
4. Isolant en fibre de verre pleine cavité
5. Dalle de CLT



Proposition CNB2025-4

Figure 14. Détails du plancher surélevé

5.3 Fonction et unité déclarée

La définition d'une unité déclarée commune à laquelle se rapporteront les flux de matières et d'énergie répertoriés dans la phase d'inventaire est la base de la démarche de réalisation d'une ACV comparative, selon la norme ISO 14040 (2006). Elle est constituée de trois variables distinctes : la fonction, la grandeur et l'horizon temporel.

La fonction des bâtiments étudiés est de loger des ménages et des commerces. La variable « grandeur » est la superficie de plancher (exprimée en m²). La notion d'horizon temporel n'intervient pas dans l'unité déclarée compte tenu de la portée de l'étude qui se limite aux étapes d'extraction et de production (A1-A3).

Dans cette étude, l'unité déclarée commune (ou flux de référence) définie est une surface de plancher de 13 766 m², remplissant de manière adéquate la fonction de logement des ménages et des commerces. Le bâtiment de référence se situe sur un terrain localisé au croisement des rues Eleanor, Ottawa et de la Montagne, à Montréal.

5.4 Frontières du système étudié

Les frontières du système étudié sont représentées à la Figure 15. Le système étudié inclut uniquement l'extraction et la production des matériaux et exclut les étapes de construction, d'opération et de fin de vie du bâtiment. Chaque étape principale est décomposée en modules d'analyse conformément à la norme EN 15978 (2012).

L'étape de production inclut les modules d'extraction de la matière première (A1), de transport de celle-ci vers les usines de transformation (A2) et de fabrication des produits (A3). Les modules de transport des produits fabriqués de l'usine jusqu'au chantier de construction (A4) et de construction proprement dite du bâtiment (A5) ne sont pas considérés.

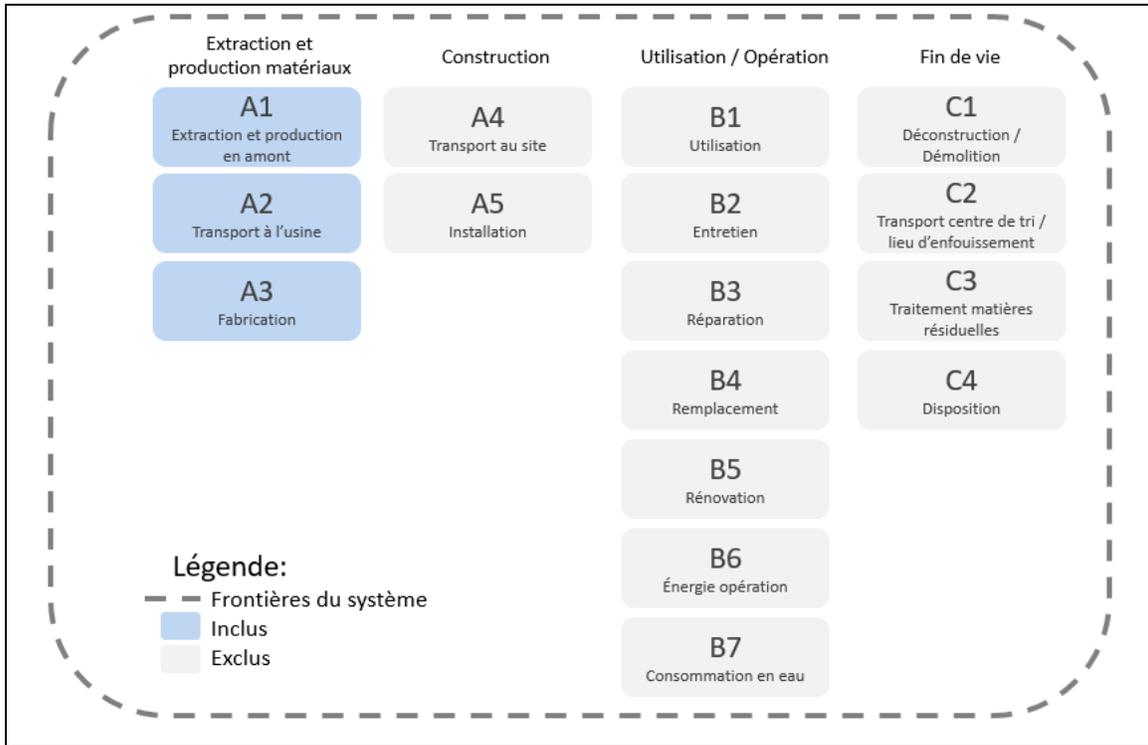


Figure 15. Frontières du système analysé incluant et excluant les différents modules associés (selon EN 15978 : 2012)

La Figure 15 montre les inclusions et exclusions des frontières du système, du point de vue des modules des étapes du cycle de vie. En ce qui concerne les inclusions, les composantes analysées sont présentées au Tableau 2 ci-dessous. Elles se situent principalement au niveau de l'enveloppe et de la structure, mais considèrent aussi les cloisons et les escaliers.

Tableau 2. Composantes des bâtiments incluses dans l'analyse

Position	Composantes (bâtiment bois-bâtiment béton)
Extérieur	Toiture
	Murs
	Soffites
	Parapets
	Fenêtres
	Portes en acier
Intérieur	Dalles
	Colonnes
	Poutres
	Cloisons
	Escaliers en acier
	Portes en acier

L'exclusion des étapes du cycle de vie B, C et D de l'analyse découle de l'impact faible de ces étapes relativement à l'étape A qui traite de l'extraction et de la production. La contribution de l'étape A (extraction et production des matériaux A1-A3) à l'empreinte totale du bâtiment en bois est de 65 %. Les matériaux contribuent à plus de 95 % de la différence entre l'empreinte carbone du bâtiment en béton et celle du bâtiment en bois (Essoua & Lavoie, 2019). Les propositions étudiées dans le cadre de ce projet ne devraient pas affecter de manière significative ces étapes ultérieures du cycle de vie. Ces variations devraient se situer sous les seuils d'exclusion (section 5.5) étant donné que les propositions affectent une faible proportion des matériaux totaux utilisés dans la construction du bâtiment.

L'analyse exclut les finitions intérieures (peinture, vernis et autres) et des fournitures de l'étude, car elles sont tributaires des choix et préférences des occupants et devraient être très similaires, voire équivalentes, entre les bâtiments étudiés. Les infrastructures et biens en capital nécessaires à la production des intrants au système sont aussi exclus de l'analyse parce qu'ils devraient également être constants entre les bâtiments étudiés.

Tableau 3. Composantes des bâtiments exclues de l'analyse (bâtiment bois-bâtiment béton)

Éléments
Murs des fondations
Dalles des fondations
Murs des niveaux sous-sol 1 et sous-sol 2
Dalles des niveaux sous-sol 1 et sous-sol 2
Colonnes et poutres des niveaux sous-sol 1 et sous-sol 2
Fournitures (ameublement, quincailleries, sanitaires)
Finitions intérieures (peinture, planchers et moulures)

5.5 Critères de « cut-off »

Le processus de « cut-off » permet de limiter la quantité de données à collecter et leur modélisation. Il a une influence sur les limites du système étudié et sur les impacts générés. Exprimés en pourcentage (%), les critères de « cut-off » peuvent être calculés sur base massique, énergétique et/ou sur la contribution au niveau de l'impact environnemental (ISO, 2016). La considération erronée d'un critère de « cut-off » présente des risques importants, par exemple sur l'expansion des limites du système (Lenzen, 2000). Plusieurs études indiquent une considération cumulative des trois critères indiqués ci-dessus à un pourcentage de 5 %. Athena (2013), dans son analyse du cycle de vie du CLT produit au Canada, attribue une limite de 1 % au critère de masse et d'énergie, et de 2 % à la contribution au niveau de l'impact environnemental. Une analyse d'un bâtiment en CLT d'Australie utilise des critères de « cut-off » à 1 % massique et 1 % énergétique (Durlinger, Crossin, & Wong, 2013). Il est extrêmement difficile de fixer un critère limite de manière générale en ACV, car ceci est strictement dépendant du système étudié. Dans cette étude, les considérations des critères de « cut-off » sont faites sur une base massique et énergétique. Dans le but de réduire les risques mentionnés ci-dessus, l'analyse se limitera à un pourcentage limite de 1 %.

Dans les limites du système étudié, la similarité entre les processus, les modules ou les étapes du cycle de vie est un critère d'exclusion. En effet, les processus, modules ou étapes du cycle de vie estimés étant identiques sont exclus du système analysé, car ils se caractérisent par des flux intrants et extrants égaux. Dans cette étude, les modules d'analyse et composants du bâtiment exclus de l'étude sont discutés à la section 5.4.

5.6 Qualité et type de données

Dans la réalisation d'une analyse de cycle de vie, les données utilisées doivent respecter un nombre de critères afin d'assurer la qualité de l'analyse et la précision des résultats. Selon la norme ISO 14044 (2006), les données d'inventaire doivent refléter le plus possible le présent et la situation géographique, les technologies doivent être contemporaines, complètes et précises, et les sources doivent être mentionnées. L'ensemble des données des processus élémentaires inventoriés quantifie les intrants et extrants de l'unité déclarée (flux de référence).

En ACV, les données analysées sont de deux types : les données primaires et les données secondaires. Les données primaires sont celles qui n'existent pas au moment où l'étude est lancée. Elles nécessitent une recherche et une enquête/sondage auprès des professionnels pour arriver à des données fiables. La vérification de la qualité des données collectées par enquête et entrevues peut être faite par comparaison avec les données de la documentation existante.

Les données secondaires se caractérisent par leur existence au moment de l'initiation de l'étude. Issues de sources accessibles au public, ces données, sous forme de bases de données, sont développées par différents organismes experts reconnus au niveau international.

L'analyse de la qualité des données primaires et secondaires est présentée à la section 6.3.

5.7 Procédure d'allocation

Selon la norme ISO 14044 (ISO, 2016), il est préférable d'éviter les allocations au cours de l'étape d'inventaire. Les allocations passent par une décomposition des processus élémentaires en sous-processus, dans le but d'aller chercher à un niveau plus détaillé les intrants et extrants, ou en agrandissant les frontières du système incluant les fonctions supplémentaires des coproduits.

Lorsqu'elle est inévitable, il existe différentes procédures d'allocation, en fonction du procédé et des produits qui en découlent. La première option consiste en une répartition des intrants et des extrants du système entre les différents produits ou différentes fonctions, sur la base des relations physiques existantes entre eux (par exemple la relation massique, etc.). En cas d'absence de relation physique, d'autres relations mutuelles entre les produits et les fonctions peuvent être établies ou utilisées comme base de la procédure d'allocation, par exemple l'allocation proportionnelle à leur valeur économique. Il est indispensable, lors de la procédure d'allocation, de s'assurer que la somme des intrants et des extrants des différents produits est égale aux intrants et extrants du processus élémentaire. Les procédures d'allocation appliquées aux principaux matériaux de construction (bois, acier, aluminium et béton) pour les étapes de production et de fin de vie du cycle de vie sont discutées ci-dessous.

Pour la production du CLT, les allocations massiques et économiques peuvent être appliquées. Les allocations massiques réduisent les impacts du CLT, tandis que les allocations économiques les augmentent, en raison du prix élevé du CLT en comparaison à celui des coproduits (sciures ou copeaux) (O'Connor, Podesto, Barry, & Grann, 2013). Sur la base de cette valeur économique négligeable des coproduits par rapport à celle du CLT, ce dernier

est considéré comme un produit unique issu du processus de transformation. Ainsi, aucune allocation n'est effectuée à l'étape de production du CLT (Athena Sustainable Materials Institute, 2013). Il est important de réitérer que les données de cette étape du cycle de vie du CLT sont des données secondaires. Elles proviennent des travaux passés de l'institut Athéna sur la production du CLT et du bois lamellé-collé au Québec.

Dans le cas de l'acier, il existe deux types d'approches : l'approche contenu recyclé (*recycled content approach*) et l'approche recyclage en boucle fermée (*closed loop approach*) en fin de vie. L'approche contenu recyclé (aussi appelée *cut-off approach*) se focalise sur le produit et considère uniquement la matière recyclée à l'entrée d'un procédé de production d'un produit. Elle n'affecte pas le fardeau environnemental de l'acier vierge à la matière recyclée utilisée (World Steel Association, 2011). Cette approche est intéressante car elle permet de mettre l'accent sur l'augmentation de matière recyclée dans la fabrication de nouveaux produits. L'approche recyclage en boucle fermée, quant à elle, est une approche globale du recyclage qui met un accent sur le recyclage en fin de vie. Contrairement à la méthode contenu recyclé, cette méthode affecte le fardeau environnemental de l'acier vierge à l'acier recyclé en fin de vie. En effet, elle considère que l'impact environnemental d'un produit dépend strictement de la quantité ou du taux de recyclage effectué en fin de vie.

Dans un contexte visant la réduction des gaz à effet de serre à court terme, l'approche contenu recyclé est celle retenue pour la modélisation des matériaux en acier. Cette dernière évite de renvoyer les impacts environnementaux liés au cycle de vie de l'acier dans un futur lointain (Athena Sustainable Materials Institute, 2013) (Grann, 2013). Dans le cas de l'acier recyclé, selon une étude menée par l'institut Athéna sur la production d'acier au Canada et aux États-Unis, l'énergie intrinsèque de l'acier recyclé est négligeable comparée à celle de la production d'acier vierge (Athena Sustainable Materials Institute, 2002). Les intrants ou processus utilisés pour modéliser l'étape de production des matériaux en acier proviennent de la base de données « Ecoinvent 3.0.2.0 - Allocation at point of substitution – Unit » ayant été mis à jour dans la version 3.5.

Dans le cas de l'aluminium, le pourcentage d'utilisation d'aluminium recyclé dans le procédé de production de nouveaux produits est élevé. Il peut atteindre jusqu'à 70 %, dont 40 % est issu de résidus de production post-industrielle et 60 % de matière post-consommation. Pour ce matériau, l'approche contenu recyclé est aussi utilisée.

5.8 Méthode d'analyse des impacts

L'attribution des impacts environnementaux à une substance ou un matériau passe par l'application d'une méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie (EICV). Le choix de la méthode utilisée lors de l'ACV a une influence importante sur les résultats, car les facteurs de caractérisation génériques (au niveau d'un continent) ou spécifiques (locaux) utilisés dans le développement des méthodes tiennent compte, entre autres, de la localisation géographique. Ces facteurs de caractérisation transforment une quantité de substance émise en une quantité équivalente de substance de référence propre à la catégorie d'impact considérée (Jolliett, Saade-Sbeih, Shaked, Jolliet, & Crettaz, 2015). Communément utilisée dans les DEPs/RCP nord-américaines, la méthode TRACI (Bare, 2011) a été développée par l'agence américaine de protection environnementale (EPA) et a été utilisée dans des analyses passées (Grann, 2013) (Ivan, 2013).

Il s'agit d'une méthode reconnue en Amérique du Nord, qui inclut les facteurs de caractérisation spécifiques et appropriés à ce contexte. Par conséquent, la méthode d'analyse d'impact TRACI 2.1 v 1.05 a été retenue dans la présente étude⁴. Le logiciel de modélisation est SimaPro version 9.0.0.48.

Les catégories d'impacts considérés dans cette étude sont présentées au Tableau 4 et décrites dans les paragraphes ci-dessous. Les catégories d'impacts sont fournies par le calculateur SimaPro. Dans le cadre d'une analyse, plusieurs méthodes sont utilisées afin de mieux interpréter les résultats (ISO, 2016). À ce titre, la méthode IMPACT 2002+ v 2.15 a été utilisée comme méthode de comparaison des résultats obtenus à partir de la méthode TRACI. Puisque la méthode TRACI permet de caractériser les catégories d'impacts intermédiaires (*midpoints*), celles qui sont considérées avec la méthode Impacts 2002+ correspondent aussi aux catégories intermédiaires, ce qui a permis de comparer les résultats des deux approches. Comme il est mentionné dans la norme ISO 14044, les résultats d'une analyse de cycle de vie sont des expressions relatives et ne peuvent en aucun cas être utilisés à des fins de prédiction.

Bien que la méthode TRACI présente un grand nombre d'indicateurs, le nombre d'indicateurs analysé dans cette étude est limité à cinq. Les indicateurs retenus sont ceux recommandés par la règle de catégorie de produit (en anglais *Product Category Rules (PCR)*) élaborée par UL/FPIInnovations pour les produits du bois (UL, 2019).

Tableau 4. Catégories d'impacts et unités respectives

Catégories d'impacts	Unités
Changements climatiques	kg équivalent CO ₂
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg équivalent CFC - 11
Eutrophisation	kg équivalent N
Acidification	kg équivalent SO ₂
Smog photochimique	kg équivalent O ₃

5.8.1 Changements climatiques

La catégorie « *potentiel de réchauffement global* » (PRG ou en anglais *Global Warming Potential (GWP)*) réfère à la contribution des émissions issues d'activités humaines sur le forçage radiatif dans l'atmosphère (effet de serre). Dans le présent rapport, il s'agit de l'indicateur utilisé pour parler de l'empreinte carbone (ou empreinte GES) des produits et bâtiments. L'augmentation du forçage radiatif se solde par une augmentation ou une baisse de la température à la surface de la Terre. Cette variation de température peut avoir des impacts sur les écosystèmes, la santé humaine et les biens matériels (Guinée, Gorrée, Heijungs, & al., 2002). Le modèle développé par le *Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* en anglais), qui inclut le facteur de caractérisation nommé *Global Warming Potential (GWP)*, est celui utilisé par la plupart des méthodes d'évaluation des impacts. Il exprime la capacité d'un gaz à absorber les radiations infrarouges et donc à contribuer aux changements climatiques. Le potentiel de réchauffement global (PRG) d'une

⁴ La méthode TRACI a été légèrement adaptée afin de permettre la prise en compte des données provenant de déclarations environnementales de produits (DEPs). Des émissions vers l'air et l'eau ont été incluses dans la méthode TRACI pour quatre des cinq indicateurs, soit le potentiel de réchauffement climatique, l'appauvrissement de la couche d'ozone, l'eutrophisation et l'acidification.

substance correspond au ratio entre l'augmentation de l'absorption des radiations infrarouges qu'elle cause par rapport à 1 kg de CO₂ (Hauschild, Goedkoop, Guinée, Hijungs, & al., 2013). La considération du carbone biogénique est fonction de la méthode d'analyse d'impacts considérée. Dans cette étude, la méthode d'analyse des impacts qui a été utilisée est la méthode nord-américaine TRACI, qui attribue la valeur zéro (0) au facteur d'absorption et d'émissions du carbone biogénique. Les flux de carbone biogénique (absorption et émissions) ne sont pas inventoriés, ce qui correspond à la portée de l'étude et est conforme à la norme ISO 14067:2018 section 6.5.2.

5.8.2 Appauvrissement de la couche d'ozone

Le « *potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone* » (ou *Ozone Depletion Potential (ODP)* en anglais) traite de l'amincissement de la couche d'ozone stratosphérique. Il résulte des effets des émissions issues des activités humaines sur la couche d'ozone. Cet appauvrissement permet à plus de rayons ultraviolets de type B d'atteindre la surface de la Terre, entraînant des impacts négatifs sur la santé des êtres vivants, les écosystèmes, les cycles biochimiques et les biens matériels (Guinée, Gorrée, Heijungs, & al., 2002). Cette catégorie fait consensus au niveau de la communauté scientifique internationale. La plupart des méthodes utilisent le modèle de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), qui modélise le changement d'épaisseur de la couche d'ozone causé par l'émission d'une substance par rapport au CFC-11 (trichlorofluorométhane), qui est la substance de référence (Baumann & Tillman, 2004).

5.8.3 Eutrophisation

L'eutrophisation est causée par la présence excessive de nutriments phosphorés (P) et azotés (N) dans l'environnement. L'émission de matières organiques contribue à l'eutrophisation des milieux aquatiques. La présence excessive de nutriments dans les milieux aquatiques et terrestres peut modifier la composition des espèces d'un écosystème et augmenter la production de biomasse (Norris, 2003). L'eutrophisation est une catégorie importante dans l'évaluation de la qualité de nos écosystèmes. La mesure de référence est le kg équivalent azote.

5.8.4 Acidification

Le « *potentiel d'acidification* » (ou *Acidification Potential (AP)* en anglais) d'une substance est mesuré par sa capacité à former des ions H⁺. Les principales substances acidifiantes sont SO₂, NO_x, NH₃ et HCl. Les vecteurs des polluants acides de l'atmosphère vers la surface de la Terre sont la pluie, le brouillard, la neige et la rosée. Le potentiel d'acidification est le facteur de caractérisation. Il se définit comme le nombre d'ions H⁺ produits par kilogramme d'une substance donnée, par rapport à 1 kg de SO₂. L'acidification varie en fonction du milieu et de la substance acidifiante. Le potentiel d'acidification représente donc l'acidification maximale qu'une substance peut causer. Comme l'eutrophisation, l'acidification est un excellent indicateur de la qualité de nos écosystèmes.

5.8.5 Smog photochimique

Le smog photochimique est reconnu comme étant nocif pour la santé humaine et les écosystèmes. Les produits chimiques réactifs (photo-oxydants) tels que l'ozone (O₃), le peroxyde d'hydrogène et divers aldéhydes sont responsables de sa formation au niveau de la troposphère (Norris G. , 2003). La mesure de référence est le kg équivalent O₃.

5.9 Interprétations des résultats

Cette phase de l'analyse permet d'identifier les points sensibles du cycle de vie étudié et de proposer des améliorations. La phase d'interprétation du cycle de vie inclut aussi une évaluation de la qualité et de la robustesse des résultats (Jolliett, Saade-Sbeih, Shaked, Jolliet, & Crettaz, 2015). Cette évaluation se fera par le biais du contrôle de la qualité des résultats et d'une analyse de sensibilité. Pour le contrôle de la qualité, les résultats générés par la méthode TRACI seront comparés à ceux générés par la méthode IMPACT 2002+ v2.15 dans l'analyse de sensibilité (voir section 0).

6. INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE (ICV)

6.1 Inventaire des matériaux du scénario de référence

L'inventaire des matériaux présente l'ensemble des matériaux compris dans la construction du bâtiment analysé. Il inclut les matériaux du plancher du RDC à la toiture du huitième étage. Les matériaux inventoriés comprennent la structure (colonnes, poutres, planchers et toiture), les balcons, l'enveloppe, les cloisons et les escaliers extraits du modèle de données sur le bâtiment (BIM ou *Building Information Modeling* en anglais).

Les quantités correspondent uniquement à celles de l'étape de production de matériaux (A1-A3) et excluent les pertes sur le chantier de construction. Les quantités relatives aux autres étapes et modules de cycle de vie n'ont pas été prises en compte dans cette étude. Les procédés utilisés dans la modélisation correspondent en majeure partie à ceux utilisés dans (Essoua & Lavoie, 2019).

Tableau 5. Inventaire des matériaux des bâtiments de référence (modules A1-A3)

Matériaux	Intrants/processus	Quantité		Unité	Base de données	Localisation géographique	Années
		Arbora C Bois	Arbora C Béton				
Gravier	Gravel, crushed {CA-QC} production Alloc Def, U	74,6	74,6	tonne	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2014
Poussière de pierre	Stone meal {CH} production Alloc Def, U	22,4	22,4	tonne	Ecoinvent v3.6	Suisse	2016
Béton structural	Concrete, 30-32MPa {CA-QC} concrete production 30-32MPa, RNA only Alloc Def, U	483	3 808	m ³	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2016
Béton maigre	Lean concrete {RoW} production, with cement CEM II/A Alloc Def, U	1 651,2	1 362,6	m ³	Ecoinvent v3.6	Mondial	2016
Béton léger	Lightweight concrete block, expanded clay {RoW} production Alloc Def, U	501,6	491,6	tonne	Ecoinvent v3.6	Mondial	2016
Brique	Shale brick {CA-QC} production Alloc Def, U	451,9	428,6	tonne	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2016
Aluminium	Aluminium alloy, ALi {CA-QC} production Alloc Def, U	133,8	128,6	tonne	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2016
Contreplaqué	Plywood, at plywood plant, US SE/kg/US	7,7	7,7	tonne	USLCI	US	2000
Acier	Steel, low-alloyed {CA-QC} steel production, electric, low-alloyed Alloc Def, U	955	1 245	tonne	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2016

Matériaux	Intrants/processus	Quantité		Unité	Base de données	Localisation géographique	Années
		Arbora C Bois	Arbora C Béton				
Isolant polyuréthane	Polyurethane, rigid foam {RoW} production Alloc Def, U	5,7	6,4	tonne	Ecoinvent v3.6	Mondial	2016
Laine de verre	Glass wool mat {CA-QC} production Alloc Def, U	2,5	2,5	tonne	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2016
XPS	Polystyrene, extruded {CA-QC} polystyrene production, extruded, CO ₂ blown Alloc Def, U	8,8	4,3	tonne	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2016
Laine de roche	Stone wool, packed {RoW} stone wool production, packed Alloc Def, U	10,4	10,4	tonne	Ecoinvent v3.6	Mondial	2016
Scellant asphalte	Bitumen seal, polymer EP4 flame retardant {CA-QC} production Alloc Def, U	286	20,9	tonne	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2016
PET	PET film (production only) E	20,9	286	kg	Ecoinvent v3.6	Europe	2016
Gypse 16 mm	Gypsum wallboard product, type X, 0.625 inch (15.875 mm)/m ² /RNA	1 445,4	1 361	m ²	USLCI	A. du Nord	2010
Gypse 13 mm	Gypsum wallboard product, regular, 0.5 inch (12.7 mm)/m ² /RNA	26 282,22	14 155,5	m ²	USLCI	A. du Nord	2010
OSB	Oriented strand board {CA-QC} production Alloc Def, U	41,1	39	m ³	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2006
Double vitre	Glazing, double, U<1.1 W/m ² K {RER} production Alloc Def, U	4 290,6	4 290,6	m ²	Ecoinvent v3.6	Europe	2016
Vitre simple	Flat glass, coated {RER} production Alloc Def, U	3,8	3,8	kg	Ecoinvent v3.6	Europe	2016
Porte interne	Door, inner, wood {RER} production Alloc Def, U	3 943,7	3 943,7	m ²	Ecoinvent v3.6	Europe	2016
Stucco	Stucco {RoW} production Alloc Def, U	443,9	443,9	tonne	Ecoinvent v3.6	Mondial	2016
Bois d'œuvre	Pine wood, timber, production mix, at sawmill, 20 % water content DE S	1502	1502	kg	Ecoinvent v3.6	Europe	2016
Cadre fenêtre ⁵	Window frame, aluminium, U=1.6 W/m ² K {RER} production Alloc Def, U	0	0	m ²	Ecoinvent v3.6	Europe	2016
Colonne	Glued laminated timber, for indoor use {CA-QC} production Alloc Def, U	171,6	0	m ³	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2016
CLT	Glued laminated timber, for indoor use {CA-QC} production Alloc Def, U	2 047	0	m ³	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2016
Poutre	Glued laminated timber, for indoor use {CA-QC} production Alloc Def, U	378,2	0	m ³	Ecoinvent v3.6	Québec, CA	2016

6.2 Inventaire des matériaux des scénarios étudiés

Les prochaines sous-sections décrivent les inventaires des différents scénarios d'écoconception étudiés. Il est à noter qu'uniquement les quantités affectées par les stratégies d'écoconception sont présentées et non pas l'ensemble des quantités inventoriées pour un scénario. Cette décision permettra de mettre en évidence les variations entre scénarios. Ainsi, les quantités ajoutées ou retirées de différents matériaux seront présentées.

⁵ Modélisé comme de l'aluminium.

Les variations de quantités ont été calculées à partir d'un inventaire structuré sur la base des compositions de murs, cloisons, planchers et autres éléments du bâtiment Arbora C bois. La capacité d'identifier clairement quelles compositions seraient affectées par un changement donné dans la conception du bâtiment permet de cibler les matériaux touchés par des choix de conception. Les variations observées sont rapportées sur l'inventaire original (Tableau 5). Le Tableau 6 présente l'inventaire de chaque scénario. Les variations de quantités de matériaux sont mises en évidence (police en rouge) et discutées dans les sous-sections qui suivent.

Tableau 6. Inventaires des scénarios étudiés

					Fermacell	Mur-rideau	Ardoise	Pierre	Gypse	Colombages murs ext.	Colombages cloisons	Isolant bois	Balcons	Plafonds	Planchers surélevés
Matériaux	Description des données secondaires utilisées	Unité	Sc Béton	ScRef bois	CNB2015_1	CNB2015_2	CNB2015_3	CNB2015_4	CNB2020_1	CNB2020_2	CNB2020_3	CNB2025_1	CNB2025_2	CNB2025_3	CNB2025_4
Aluminium	Aluminium alloy, ALI {CA-QC} production Alloc Def, U (adapté électricité Québec)	tonne	68.3	73.5	73.5	73.4	19.1	73.5	73.5	73.5	73.5	73.5	73.5	73.5	73.5
Scellant asphalte	Bitumen seal, polymer EP4 flame retardant {CA-QC} production Alloc Def, U	tonne	286.0	286.0	286.0	286.0	286.0	286.0	286.0	286.0	286.0	286.0	286.0	286.0	286.0
Béton structural	Concrete, 30-32MPa {CA-QC} concrete production 30-32MPa, RNA only Alloc Def, U (adapté électricité Québec)	m3	3 808.0	483.0	483.0	483.0	483.0	483.0	483.0	483.0	483.0	483.0	483.0	483.0	483.0
Porte interne	Door, inner, wood {RER} production Alloc Def, U	m2	3 943.7	3 943.7	3 943.7	3 943.7	3 943.7	3 943.7	3 943.7	3 943.7	3 943.7	3 943.7	3 943.7	3 943.7	3 943.7
Vitre simple	Flat glass, coated {RER} production Alloc Def, U	kg	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
Laine de verre	Glass wool mat {CA-QC} production Alloc Def, U (adapté électricité Québec)	tonne	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	6.5
Double vitre	Glazing, double, U<1.1 W/m2K {RER} production Alloc Def, U	m2	4 290.6	4 290.6	4 290.6	4 290.6	4 290.6	4 290.6	4 290.6	4 290.6	4 290.6	4 290.6	4 290.6	4 290.6	4 290.6
Colonne	Glued laminated timber, for indoor use {CA-QC} production Alloc Def, U	m3	0.0	171.6	171.6	171.6	171.6	171.6	171.6	171.6	171.6	171.6	171.6	171.6	171.6
CLT	Glued laminated timber, for indoor use {CA-QC} production Alloc Def, U	m3	0.0	2 047.0	2 047.0	2 047.0	2 047.0	2 047.0	2 047.0	2 047.0	2 047.0	2 047.0	2 167.9	2 047.0	2 047.0
Poutre	Glued laminated timber, for indoor use {CA-QC} production Alloc Def, U	m3	0.0	378.2	378.2	378.2	378.2	378.2	378.2	378.2	378.2	378.2	378.2	378.2	378.2
Gravier	Gravel, crushed {CA-QC} production Alloc Def, U	tonne	74.6	74.6	74.6	74.6	74.6	74.6	74.6	74.6	74.6	74.6	74.6	74.6	74.6
Gypse 13 mm	Gypsum wallboard product, regular, 0.5 inch (12.7 mm)/m2/RNA	m2	14 155.5	26 282.2	26 282.2	26 282.2	26 282.2	26 282.2	23 540.2	26 282.2	26 282.2	26 282.2	26 282.2	26 282.2	10 252.1
Gypse 16 mm	Gypsum wallboard product, type X, 0.625 inch (15.875 mm)/m2/RNA	m2	1 361.0	1 445.4	1 445.4	1 445.4	1 445.4	1 445.4	1 294.6	1 445.4	1 445.4	1 445.4	1 445.4	1 445.4	1 445.4
Béton maigre	Lean concrete {RoW} production, with cement CEM II/A Alloc Def, U (adapté chaleur Québec)	m3	1 362.6	1 651.2	0.6	1 651.2	1 651.2	1 651.2	1 651.2	1 651.2	1 651.2	1 651.2	1 651.2	1 651.2	1 651.2
Béton léger	Lightweight concrete block, expanded clay {RoW} production Alloc Def, U	tonne	491.6	501.6	501.6	501.6	501.6	501.6	501.6	501.6	501.6	501.6	501.6	501.6	501.6
OSB	Oriented strand board {CA-QC} production Alloc Def, U	m3	39.0	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	97.6
PET	PET film (production only) E	kg	20.6	20.9	17.6	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
Bois d'œuvre	Pine wood, timber, production mix, at saw mill, 20 % water content DE S	kg	1 502.0	1 502.0	1 502.0	1 502.2	1 502.0	1 502.0	1 502.0	1 502.0	1 502.0	1 502.0	1 502.0	1 502.0	6 108.9
Contreplaqué	Plywood, at plywood plant, US SE/kg/US	tonne	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	21.1	7.7	98.4
XPS	Polystyrene, extruded {CA-QC} polystyrene production, extruded, CO2 blown Alloc Def, U	tonne	4.3	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
Isolant polyuréthane	Polyurethane, rigid foam {RoW} production Alloc Def, U (adapté électricité Québec)	tonne	5.7	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
Brique	Shale brick {CA-QC} production Alloc Def, U	tonne	428.6	451.9	451.9	451.9	451.9	230.5	451.9	451.9	451.9	451.9	451.9	451.9	451.9

					Fermacell	Mur-rideau	Ardoise	Pierre	Gypse	Colombages murs ext.	Colombages cloisons	Isolant bois	Balcons	Plafonds	Planchers surélevés
Acier	Steel, low-alloyed {CA-QC} steel production, electric, low-alloyed Alloc Def, U (adapté électricité Québec)	tonne	1 245.0	955.0	955.0	955.0	955.0	955.0	955.0	909.5	706.2	955.0	936.3	929.8	929.8
Poussière de pierre	Stone meal {CH} production Alloc Def, U	tonne	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4
Laine de roche	Stone wool, packed {RoW} stone wool production, packed Alloc Def, U (adapté électricité Québec)	tonne	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	0.0	10.4	10.4	10.4
Stucco	Stucco {RoW} production Alloc Def, U (adapté chaleur Québec)	tonne	443.9	443.9	443.9	443.9	443.9	443.9	443.9	443.9	443.9	443.9	443.9	443.9	443.9
Cadre fenêtre	Window frame, aluminium, U=1.6 W/m2K {RER} production Alloc Def, U	m2	1 189.0	1 189.0	1 189.0	1 189.0	1 189.0	1 189.0	1 189.0	1 189.0	1 189.0	1 189.0	1 189.0	1 189.0	1 189.0
Colombage bois ingénierie	Medium density fiberboard (MDF), at MDF mill/m3/RNA_Athena (adapté)			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.3	116.8	0.0	0.0	7.5	0.0
Colombage bois d'œuvre	Pine wood, timber, production mix, at sawmill, 20 % water content DE S														
Isolant bois	Données FPIinnovations		5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	21.7	5.5	5.5	5.5
Prodema	EPD Prodema		1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Fermacell	EPD Fermacell		0.0	0.0	359.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ardoise	Natural stone plate, cut {QC-CA} production APOS, U Adapté selon (Natural stone council, n.d.)		0.0	0.0	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pierre (revêtement ext)	Natural stone plate, cut {QC-CA} production APOS, U Adapté selon (Natural stone council, n.d.)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	275.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Huile coffrage	Refined maize germ oil, (solvent), at plant/US Mass		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fibrociment (revêtement extérieur)	Fibre cement facing tile {RoW} production APOS, U_		6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	8.7	6.0	6.0
Finition époxydique Monograff	Acrylic polyutethane {RER} production APOS, U		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Membrane d'imperméabilisation intermédiaire E deck slurry	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer resin, at plant/RNA		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Membrane Edeck	Acrylic dispersion, without water, in 65% solution state {RER} acrylic dispersion production, product in 65% solution state APOS, U		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

6.2.1 CNB2015-1 : Remplacement de la chape de béton

Le remplacement des chapes de béton par des panneaux de fibrogypse tels que ceux de Fermacell 2 E 11 (<https://www.fermacell.com/en/products/fibre-gypsum/flooring-elements>) entraîne le remplacement de plus de 1 650 tonnes de béton maigre et de 3,3 tonnes de polyéthylène téréphtalate (PET utilisé en lieu du polythène) par près de 360 tonnes de fibrogypse. Deux couches de 20 mm de fibrogypse sont utilisées sur l'ensemble des dalles de planchers en CLT. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.

6.2.2 CNB2015-2 : Remplacement des meneaux en aluminium du mur-rideau

Le remplacement des meneaux d'aluminium du mur-rideau permet de réduire la quantité d'aluminium employée dans le bâtiment en bois de 0,1 tonne, soit environ 0,14 %. La construction des murs-rideaux en bois est plus massive compte tenu que les meneaux sont pleins. L'utilisation d'un système en bois entraîne une utilisation accrue du bois. Celle-ci augmente de 0,2 tonne. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.

6.2.3 CNB2015-3 : Remplacement des revêtements en aluminium par de l'ardoise

Une part importante de l'aluminium utilisé dans le bâtiment sert au revêtement extérieur. Le remplacement de l'aluminium par de l'ardoise permet d'éliminer 54,4 tonnes d'aluminium, qui sont remplacées par 217,7 tonnes d'ardoise. Ce matériau spécifique a été retenu en raison de sa nature incombustible et compte tenu qu'il s'agit d'un matériau qui, même s'il est non renouvelable, nécessite relativement peu d'étapes de fabrication. Il est à noter que l'installation des plaques d'ardoise requiert des éléments additionnels en aluminium selon les directives du fabricant. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.

6.2.4 CNB2015-4 : Remplacement de la brique par un revêtement extérieur en pierre

Ce scénario permet de réduire l'utilisation de brique de 221 tonnes. Elle est remplacée par 275 tonnes de pierre servant de revêtement alternatif. Le système d'ancrage reste identique. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées. Ce matériau spécifique a été retenu en raison de sa nature incombustible et compte tenu qu'il s'agit d'un matériau qui, même s'il est non renouvelable, nécessite relativement peu d'étapes de fabrication.

6.2.5 CNB2020-1 : Diminuer l'utilisation du gypse dans le bâtiment

Ce scénario prévoit le retrait de quantités de matériaux, dans ce cas-ci le gypse, de l'inventaire du bâtiment bois. Au total, ce sont près de 2 700 m² de gypse qui sont retirés de l'inventaire de base du bâtiment bois. La majorité de ces superficies (95 %) sont composées de gypse de 13 mm, le reste étant principalement du gypse de 16 mm. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.

6.2.6 CNB2020-2 : Remplacement des colombages en acier des murs extérieurs par des colombages en bois d'ingénierie

L'utilisation de colombages en bois d'ingénierie comme substitut aux colombages d'acier conventionnel dans les murs extérieurs permet d'éviter l'utilisation d'un peu plus de 45 tonnes d'acier. Cette réduction est compensée par une utilisation plus intensive des produits de bois d'ingénierie. Les colombages en bois d'ingénierie ajoutent 21,3 tonnes de ce matériau à l'inventaire du bâtiment bois. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.

6.2.7 CNB2020-3 : Remplacement des colombages en acier des cloisons par des colombages en bois d'ingénierie

L'utilisation de colombages en bois d'ingénierie comme substitut au colombage d'acier conventionnel dans les cloisons permet d'éviter l'utilisation de près de 249 tonnes d'acier. Cette réduction est compensée par une utilisation plus intensive des produits de bois d'ingénierie. Les colombages en bois d'ingénierie ajoutent un peu plus de 116,8 tonnes de ce matériau à l'inventaire du bâtiment bois. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.

6.2.8 CNB2025-1 : Remplacement de l'isolant en laine de roche par de la fibre de bois

Le remplacement de l'ensemble de la laine de roche actuellement employée dans le bâtiment (10,4 tonnes) se fait par l'utilisation de 21,7 tonnes d'isolant à base de fibre de bois. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.

6.2.9 CNB2025-2 : Remplacement des balcons en acier par des dalles en CLT

La substitution des balcons en acier actuels, qui sont accrochés mécaniquement au bâtiment, par des balcons de même dimension en CLT a été étudiée à haut niveau. Il est actuellement évalué que ces balcons seraient accrochés au bâtiment à l'aide de ferrures, ce qui permettrait d'éliminer une certaine quantité d'acier des balcons (-18 %) et de l'acier total utilisé dans le bâtiment (-2 %), ce qui est loin de la majorité de l'acier des balcons. Il y aurait lieu de concevoir un système d'attache plus léger / optimisé. Cette analyse permet tout de même d'évaluer cette option à haut niveau.

Le remplacement des balcons en acier par des balcons en CLT ajoute près de 121 tonnes de CLT servant de structure principale. La finition des balcons majore quant à elle de 13 tonnes l'utilisation du contreplaqué et de presque 9 tonnes celle du fibrociment. Le contreplaqué est recouvert de trois types de membranes liquides appliquées au rouleau (ou à l'aide d'une brosse) qui, prises ensemble, représentent un peu plus d'un mètre cube (m³) de composés acrylique ou époxy. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.

6.2.10 CNB2025-3 : Remplacement de l'acier dans les plafonds par du bois d'ingénierie

L'utilisation d'éléments en bois composite au lieu d'éléments en acier dans les plafonds permet de réduire l'utilisation de 25 tonnes d'acier, soit 2,6 % de l'acier total utilisé dans le bâtiment. En remplacement, 7,5 tonnes de bois d'ingénierie sont employées dans le système de plafond suspendu. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.

6.2.11 CNB2025-4 : Construction d'un plancher surélevé sur dalle en CLT

Le remplacement des plafonds suspendus par des planchers surélevés permet aussi de réduire l'utilisation de 25 tonnes d'acier, soit 2,6 % de l'acier total utilisé dans le bâtiment ainsi que de 16 030 m² de gypse de 13 mm. En revanche, l'utilisation de poutrelles en I et de contreplaqué est augmentée. Les poutrelles en I contribuent à augmenter l'utilisation de bois d'œuvre et d'OSB de respectivement 4 607 et 57 tonnes. L'utilisation du contreplaqué augmente quant à elle de près de 91 tonnes. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.

6.3 Qualité des données et modélisation des processus

La qualité des données primaires est un élément déterminant de la qualité des résultats. Cette section décrit la qualité des données primaires et secondaires utilisées. Ces données ne couvrent que les modules A1-A3 qui comprennent l'extraction des matières premières, leur transport à l'usine et leur transformation en matériaux de construction. Les indicateurs de qualité des données, développés par Weidema et Wesnaes (Weidema & Wesnæs, 1996) et présentés au Tableau 7, sont employés pour rendre compte de la qualité des données. Chaque article d'inventaire / données reçoit un pointage allant de 1 à 4 en fonction des caractéristiques analysées. La description des critères d'évaluation est présentée au Tableau 7.

Tableau 7. Indicateurs de la qualité de données

Indicateurs	Description
Technologie	Mesure dans laquelle la donnée reflète la technologie réelle utilisée
Temps	Mesure dans laquelle la donnée reflète le temps (ex. l'année) ou l'âge de l'activité
Géographie	Mesure dans laquelle la donnée reflète la localisation géographique de l'activité (ex. pays ou site)
Complétude	Mesure dans laquelle la donnée est statistiquement représentative de l'activité : <ul style="list-style-type: none"> • Comprend le pourcentage des emplacements où des données sont disponibles et utilisées par rapport au nombre total où cette activité a lieu ; et • Inclut également les fluctuations saisonnières et les variations normales de la donnée.
Fiabilité	Mesure la fiabilité de la source, des méthodes de collecte et des procédures de vérification utilisées

Tableau 8. Critères d'évaluation qualitative de la qualité des données

Pointage de qualité	Technologie	Temps (T)	Géographie	Complétude	Fiabilité
Très bonne (Rang 1)	Même technologie utilisée	T < 3 ans	Même région	Provient de tous les sites pertinents et pour une durée permettant d'éliminer les variations normales	Vérifiée et fondée sur des mesures
Bonne (Rang 2)	Technologie utilisée similaire	T < 6 ans	Région similaire	Provient de 50 % des sites et pour une durée permettant d'éliminer les variations normales	Vérifiée, partiellement fondée sur des hypothèses ou non vérifiée, fondée sur des mesures

Convenable (Rang 3)	Technologie utilisée différente	T < 10 ans	Région différente	Provient de moins de 50 % des sites et pour une durée permettant d'éliminer les variations normales ou provient de plus de 50 % des sites, mais pour une durée plus courte	Non vérifiée, partiellement fondée sur des hypothèses ou estimation qualifiée
Faible (Rang 4)	Technologie utilisée inconnue	T > 10 ans	Région inconnue	Provient de moins de 50 % des sites et pour une durée plus courte ou de représentation inconnue	Estimation non qualifiée

Les données primaires proviennent d'un modèle BIM développé par la firme d'architecture Provencher Roy. Les données secondaires proviennent quant à elles des bases de données Ecoinvent, USLCI et ELCD, qui se fondent elles-mêmes sur des données de l'institut Athéna, Franklin and Associates, etc. Les données secondaires de certains des produits Fermacell (Fermacell, 2016) et Prodema (Prodema, 2012) sont tirées de DEPs. Il est à noter que l'indicateur smog n'est pas compris dans la majorité des DEPs européennes qui utilisent des méthodes d'évaluation des impacts autres que TRACI. Par conséquent, les impacts des produits modélisés à partir de DEPs ne se reflètent pas sur l'indicateur smog.

Au regard des indicateurs de qualité présentés aux Tableau 7 et Tableau 8, l'analyse de la qualité des données utilisées dans cette étude a été effectuée et présentée par modules des étapes de cycle de vie, sous forme de la matrice de Weidema. Les données primaires utilisées dans cette étude sont des données collectées de sources fiables. Elles proviennent de l'interprétation de la base de données du modèle BIM du bâtiment Arbora. La technologie BIM a été utilisée afin d'arrimer le travail des différents professionnels du bâtiment participant au projet. L'utilisation de cette technologie permet de minimiser les informations contradictoires et les erreurs de conception et réalisation. Géographiquement, les données sont circonscrites sur le territoire de la province de Québec. Les données collectées sont récentes; elles ont été obtenues entre 2017 et 2018 et sont de ce fait qualifiées de très bonnes (moins de 3 ans). Ce sont des données représentatives des pratiques courantes de l'industrie de la construction.

La qualité des données secondaires est en général bonne (Tableau 9). Les bases de données consultées sont fiables et présentent en général des données moyennes. Les processus utilisés dans la modélisation proviennent des bases de données Écoinvent et USLCI. Ils datent principalement de 2016 avec quelques exceptions datant des années 2000 (contreplaqué), 2010 (panneaux de gypse) et 2014 (gravier). Plusieurs des données d'arrière-plan datent de la version antérieure de la base de données (v 2.2). Les technologies n'ont pas évolué de manière significative depuis ce temps, il est donc probable que la représentativité technologique soit bonne. La région géographique est plus vaste que celle des données primaires. Certains processus présentent des données moyennes du reste du monde (RoW), tandis que d'autres comme l'hydroélectricité sont des données provinciales (Québec). Les technologies utilisées sont généralement récentes.

Tableau 9. Analyse de la qualité des données primaires et secondaires pour les modules A1-A3

Critères de qualité des données	Données primaires	Données secondaires
Temps	Bonne	Très bonne
Situation géographique	Bonne	Bonne
Technologies	Bonne	Bonne
Précision	Bonne	Bonne
Complétude	Bonne	Bonne

6.4 Effets des incertitudes sur les résultats

En ACV, les incertitudes ont diverses origines. Elles peuvent être associées aux données d'inventaire tout comme à la méthode d'analyse des impacts. Bien que fortement préconisée par les normes qui régissent les ACV, l'analyse des incertitudes est peu détaillée dans les études publiées. Toutefois, différents auteurs soulignent l'importance de la prise en compte des incertitudes dans une étude d'ACV, car elles ont un effet sur la fiabilité et la crédibilité des résultats (Jolliett, Saade-Sbeih, Shaked, Jolliet, & Crettaz, 2015) (Durlinger, Crossin, & Wong, 2013). Dans une analyse de cycle comparative des produits ou services, l'effet des incertitudes sur les résultats affecte l'importance des différences relatives. De fait, des auteurs ont publié à ce sujet des seuils minimaux ou des différences relatives minimales significatifs en fonction de la catégorie d'impacts analysée. Ainsi, pour qu'une différence relative entre deux scénarios soit significative, elle doit être supérieure au seuil minimal indiqué (Humbert, De Schryver, Margni, & Jolliett, 2012). Le choix de TRACI comme méthode d'analyse d'impacts présente un double avantage. D'abord, cette méthode a été développée pour le contexte nord-américain tandis que le second fait référence aux catégories d'impacts qui la caractérisent. En fait, l'utilisation des catégories d'impacts intermédiaires dans une ACV, limite les incertitudes associées à la méthode d'analyse des impacts (Jolliett, Saade-Sbeih, Shaked, Jolliet, & Crettaz, 2015).

Toutefois, il est important de souligner que ces seuils ont été définis selon la méthode d'analyse d'impacts européenne IMPACT 2002+ v2.15. Les méthodes TRACI et IMPACT 2002+ peuvent produire des résultats différents sur une base absolue. Cependant, comparées en valeurs relatives, les différences entre deux scénarios ne sont pas significatives. Sur la base de cette cohérence relative, les différences minimales peuvent être utilisées pour les catégories d'impacts intermédiaires similaires à celles générées avec la méthode TRACI (Tableau 10).

Tableau 10. Écart minimal requis pour qu'une comparaison des pointages d'impacts soit significative

Incertitudes liées à la modélisation d'impact			
Impact 2002+	TRACI	Niveau d'incertitude	Écart minimal requis
Effets cancérigènes	Effets cancérigènes	Élevé	± 90 %
Effets non cancérigènes	Effets non cancérigènes	Élevé	± 90 %
Effets respiratoires (volatiles)		Faible	± 30 %
Effets respiratoires (particules)	Effets respiratoires	Moyen	± 50 %
Rayonnement ionisant	-	Élevé	± 80 %
Destruction de la couche d'ozone	Appauvrissement de la couche d'ozone	Moyen	± 50 %
Écotoxicité aquatique	Écotoxicité	Élevé	± 90 %
Écotoxicité terrestre		Très élevé	± 90 %
Acide terrestre / nutriment	-	Élevé	± 80 %
Occupation de la terre	-	Élevé	± 80 %
Acidification aquatique	Acidification	Faible	± 30 %
Eutrophisation aquatique	Eutrophisation	Faible	± 30 %
Changement climatique	Réchauffement climatique	Faible	± 10 %
Énergie non renouvelable	Épuisement des ressources fossiles	Faible	± 10 %
Extraction des minerais	-	Moyen	± 50 %

Adapté de : (Humbert, De Schryver, Margni, & Jolliett, 2012)

Note : Smog photochimique n'est pas un indicateur d'Impact 2002+ donc il n'a pas été inclus dans le tableau.

7. RÉSULTATS : ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

L'analyse des onze scénarios étudiés selon la méthode d'analyse d'impact TRACI 2.1 v 1.05 permet d'évaluer les impacts environnementaux potentiels de choix de conception en lien avec le bâtiment de grande hauteur en bois Arbora C. De tous les indicateurs disponibles dans TRACI, seuls cinq sont retenus, soit : potentiel de réchauffement climatique, appauvrissement de la couche d'ozone, smog photochimique, acidification et eutrophisation. Il s'agit là des indicateurs les plus communs en lien avec le bâtiment; ils font partie des indicateurs répertoriés dans les déclarations environnementales nord-américaines et LEED v4. La Figure 16 montre des tendances qui varient en fonction des indicateurs.

Du point de vue du réchauffement climatique, il est possible d'observer que les concepts bois présentent des réductions de GES allant de 18,8 % à 26,1 % par rapport au bâtiment béton. Lorsque la comparaison est effectuée avec le bâtiment bois comme scénario de référence, la réduction maximale s'établit à 8,5 % (scénario CNB2015-1 : fermacell). C'est le scénario de remplacement de la chape de béton par des panneaux de fibrogypse qui procure le plus de réductions de GES. La présente section « Résultats : Analyse des impacts environnementaux » offrira une analyse détaillée des résultats obtenus pour cet indicateur. Par conséquent, il n'est pas opportun de creuser davantage ces résultats dans l'immédiat. Les autres indicateurs ne seront pas couverts en détail dans le rapport en raison des objectifs et du contexte entourant la présente étude. Il est donc opportun d'effectuer un rapide survol des résultats obtenus pour ces quatre autres indicateurs.

Au niveau de l'appauvrissement de la couche d'ozone, ce sont les scénarios utilisant le plus de bois, soit le scénario de référence (incluant ou non les matériaux de coffrage), le mur-rideau en bois et les balcons en CLT qui ont le plus d'impact sur l'ozone. Les scénarios exhibant la meilleure performance sont le scénario avec fermacell (CNB2015-1) et l'utilisation du colombage d'ingénierie dans les cloisons (CNB2020-3) qui, tous deux, permettent une réduction de 4 % par rapport au scénario de référence bois. Il est pertinent de souligner que ces variations ne sont pas significatives compte tenu du niveau d'incertitude moyen pour cet indicateur d'impact selon (Humbert, De Schryver, Margni, & Jolliet, 2012).

Les scénarios Fermacell (CNB2015-1) et colombage d'ingénierie dans les cloisons (CNB2020-3) sont aussi ceux ayant les plus faibles impacts du point de vue du smog photochimique. Tous deux offrent des réductions de l'ordre de 6 à 7 %. Le niveau de confiance dans la significativité de ces résultats est inconnu à l'heure actuelle.

Les indicateurs acidification et eutrophisation montrent que la plupart des scénarios sont comparables au scénario de référence bois avec des niveaux d'émissions qui sont à 1 ou 2 % d'écart. Seul scénario digne de mention, le scénario colombage d'ingénierie dans les cloisons (CNB2020-3) montre une réduction supérieure à 10 % pour les deux indicateurs. Cet écart se situe toutefois dans les marges d'incertitude et met en doute la significativité de ce résultat.

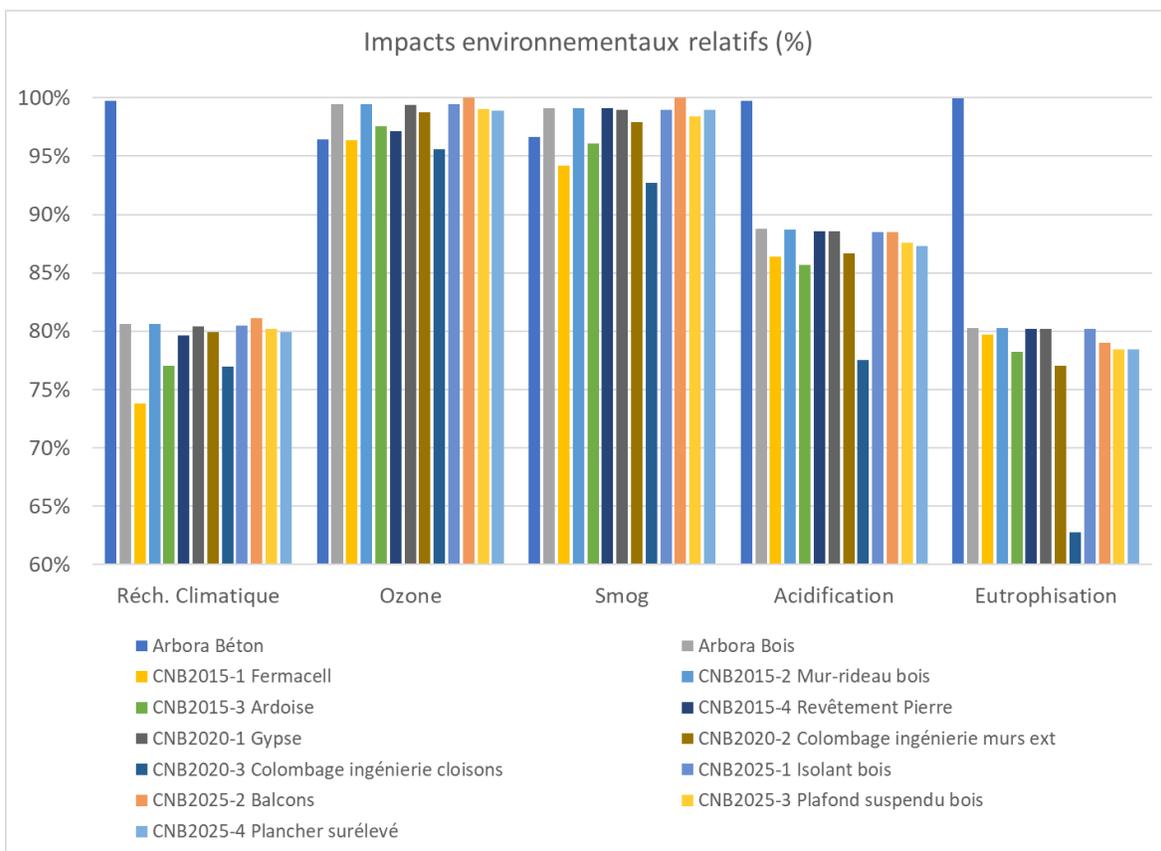


Figure 16. Impacts environnementaux relatifs des scénarios selon la méthode TRACI 2.1 v1.05

La Figure 17 montre les résultats des différents scénarios pour l'indicateur potentiel de réchauffement climatique, le seul qui sera traité dans la section des résultats. Cet indicateur a une pertinence centrale pour le contexte de l'étude en lien avec le développement des connaissances sur les matériaux à faible empreinte carbone.

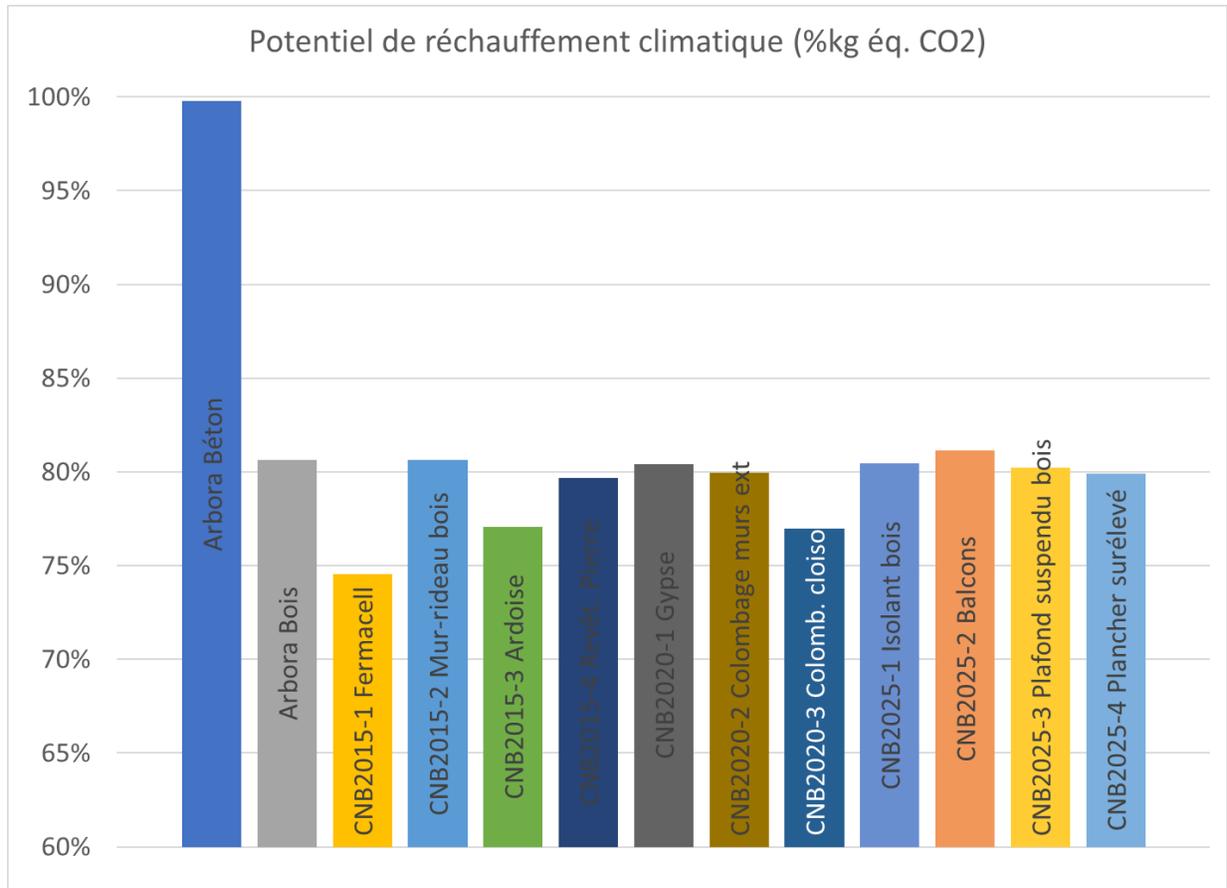


Figure 17. Potentiels de réchauffement climatique relatifs des scénarios

Les émissions de GES du bâtiment Arbora bois sont estimées à 3 065 tonnes éq. CO₂. Ces émissions sont en majeure partie (90 %) attribuables à neuf matériaux. L'acier est le plus grand contributeur avec plus de 22 % des émissions de GES. La même proportion des impacts est attribuable au béton, sous forme de béton structural, béton léger et blocs de béton. Les produits d'ingénierie en bois (lamellé-collé et CLT) représentent plus de 16 % de l'empreinte carbone totale du bâtiment pour l'étape de production des matériaux (A1-A3). Les portes intérieures en bois, le scellant bitumineux et le verre utilisé sur la toiture comptent respectivement pour 6,6 %, 5,9 % et 5,0 % de l'empreinte carbone du bâtiment de référence.

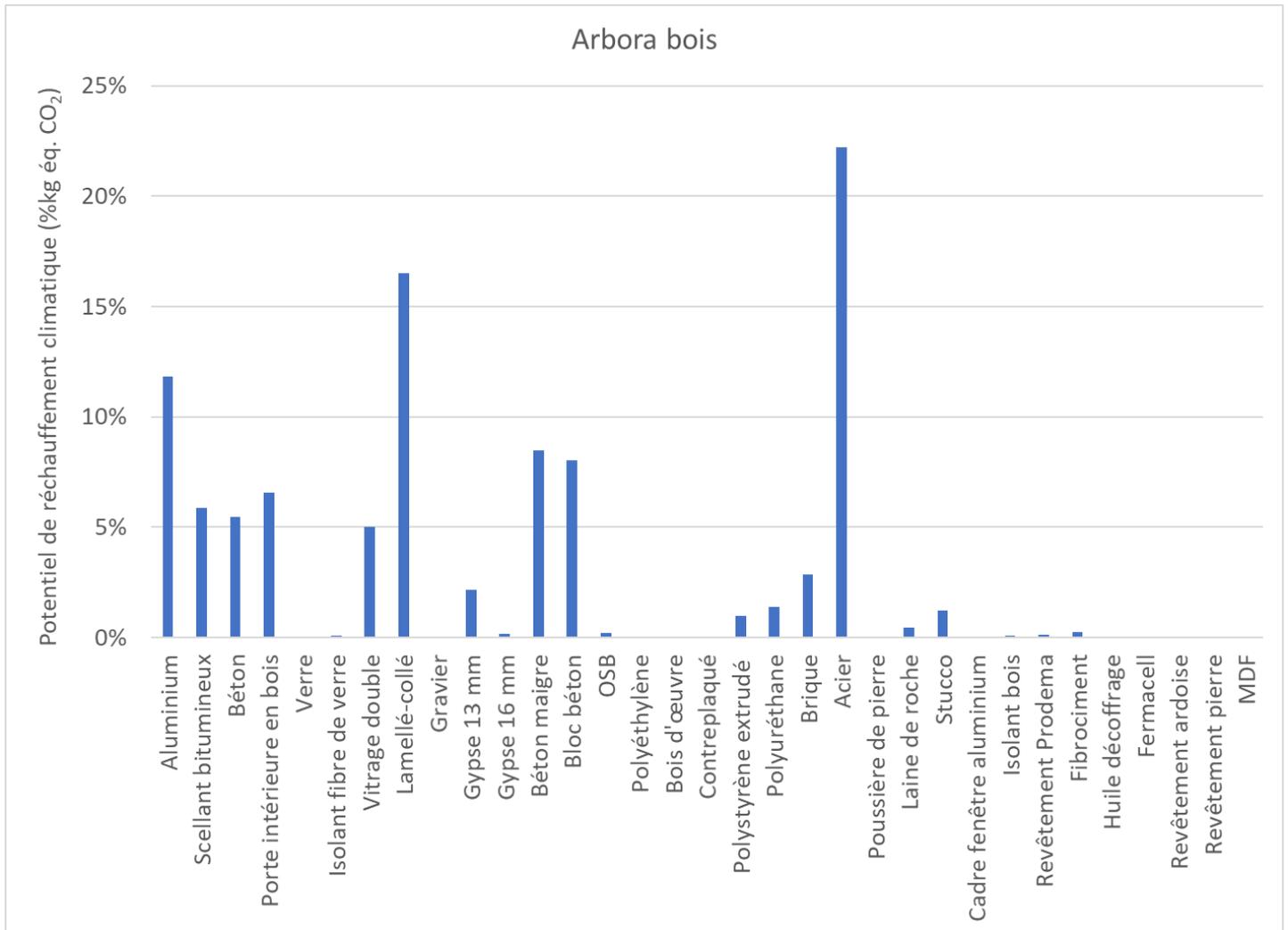


Figure 18. Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario de référence

7.1 Analyse de contribution

7.1.1 CNB2015-1 : Remplacement de la chape de béton

Le remplacement de la chape de béton maigre par des panneaux de fibrogypse permettrait une réduction de l’empreinte carbone totale du bâtiment de 7,6 %. Le remplacement de l’ensemble du béton maigre et une partie (16 %) du polyéthylène expliquent cette réduction des émissions intrinsèques. La Figure 19 montre la distribution de ces émissions par matériau. Il est possible de constater une légère augmentation du poids relatif des autres matériaux à la suite de l’élimination du béton maigre.

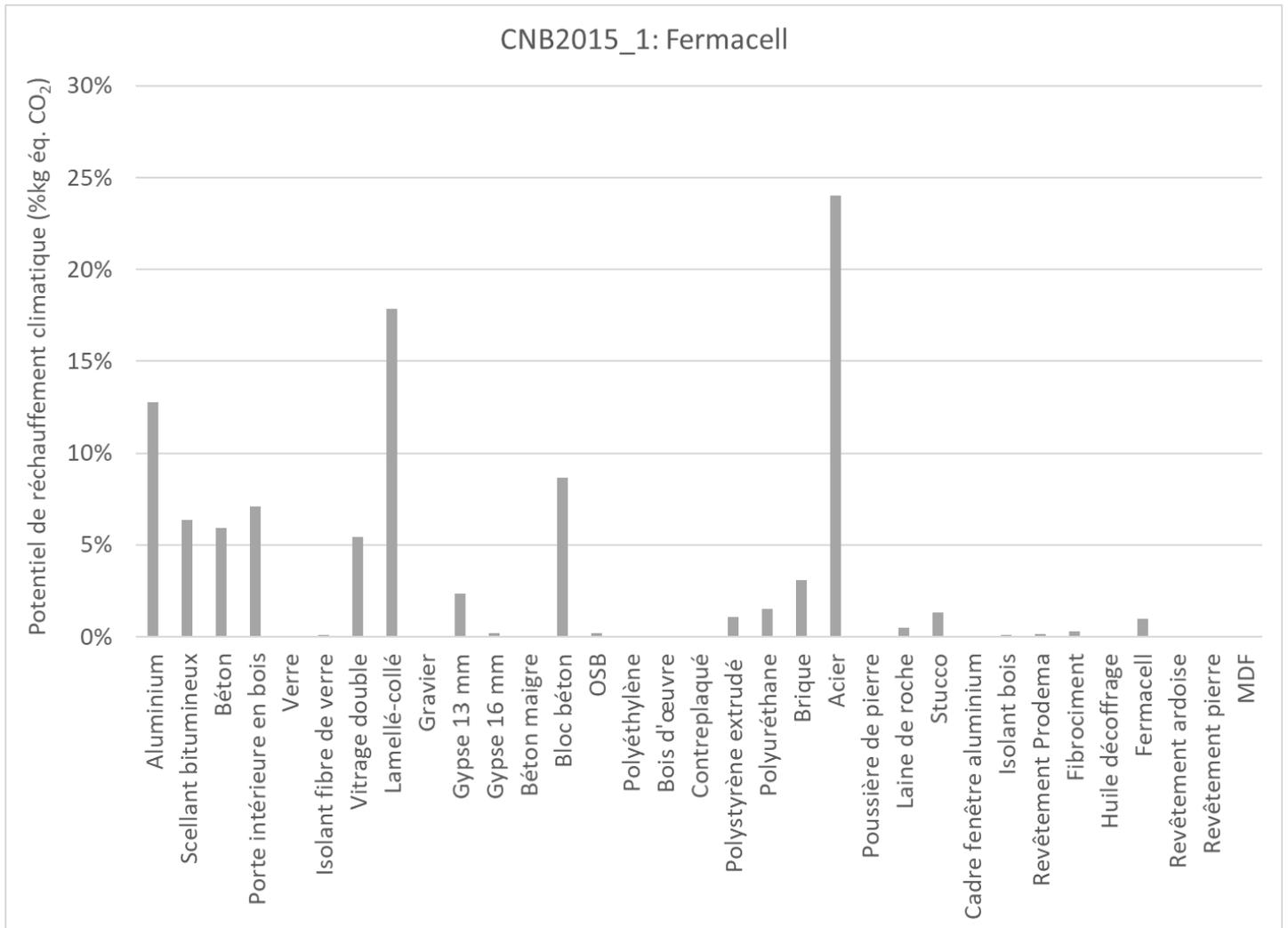


Figure 19. Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2015-1

7.1.2 CNB2015-2 : Meneaux du mur-rideau en bois

Le remplacement des meneaux du mur rideau du rez-de-chaussée (RC) permet de réduire les émissions intrinsèques du bâtiment de 0,2 tonne éq. CO₂, ce qui n'affecte pas de manière significative le bilan carbone du bâtiment. La contribution des matériaux à ce bilan demeure pour ainsi dire inchangée par rapport à la Figure 18. La quantité d'aluminium présente dans les murs-rideaux n'est pas significative par rapport à la quantité totale d'aluminium employée dans la construction du bâtiment. À titre de rappel, l'entretien et le remplacement ne font pas partie de la portée de la présente étude.

7.1.3 CNB2015-3 : Revêtement extérieur en ardoise

L'aluminium contribue de manière importante au bilan carbone du bâtiment; il explique près de 12 % du potentiel de réchauffement climatique du scénario de référence. Une part importante de l'aluminium entrant dans le bâtiment est utilisée en revêtement extérieur. La Figure 20 illustre ce que le remplacement de 75 % de l'aluminium dans le bâtiment par des panneaux d'ardoise génère comme réduction de l'empreinte carbone. L'aluminium remplacé se trouve dans les murs extérieurs et les parapets. L'aluminium restant se trouve dans les fenêtres du bâtiment et, dans une moindre mesure, dans les murs-rideaux et plafonds suspendus. L'ajout de profilés en aluminium fabriqués par le manufacturier servant à l'installation des panneaux d'ardoise amoindrit la réduction de la quantité d'aluminium. Au total, l'installation de l'ardoise engendre une réduction de près de 41 % du poids carbone de l'aluminium dans le bâtiment. Les émissions de GES issues de l'aluminium passent de 362 tonnes éq. CO₂ dans le scénario référence à 214 tonnes éq. CO₂ dans le scénario CNB2015-3 soit une différence de 4,4 % par rapport au scénario de référence.

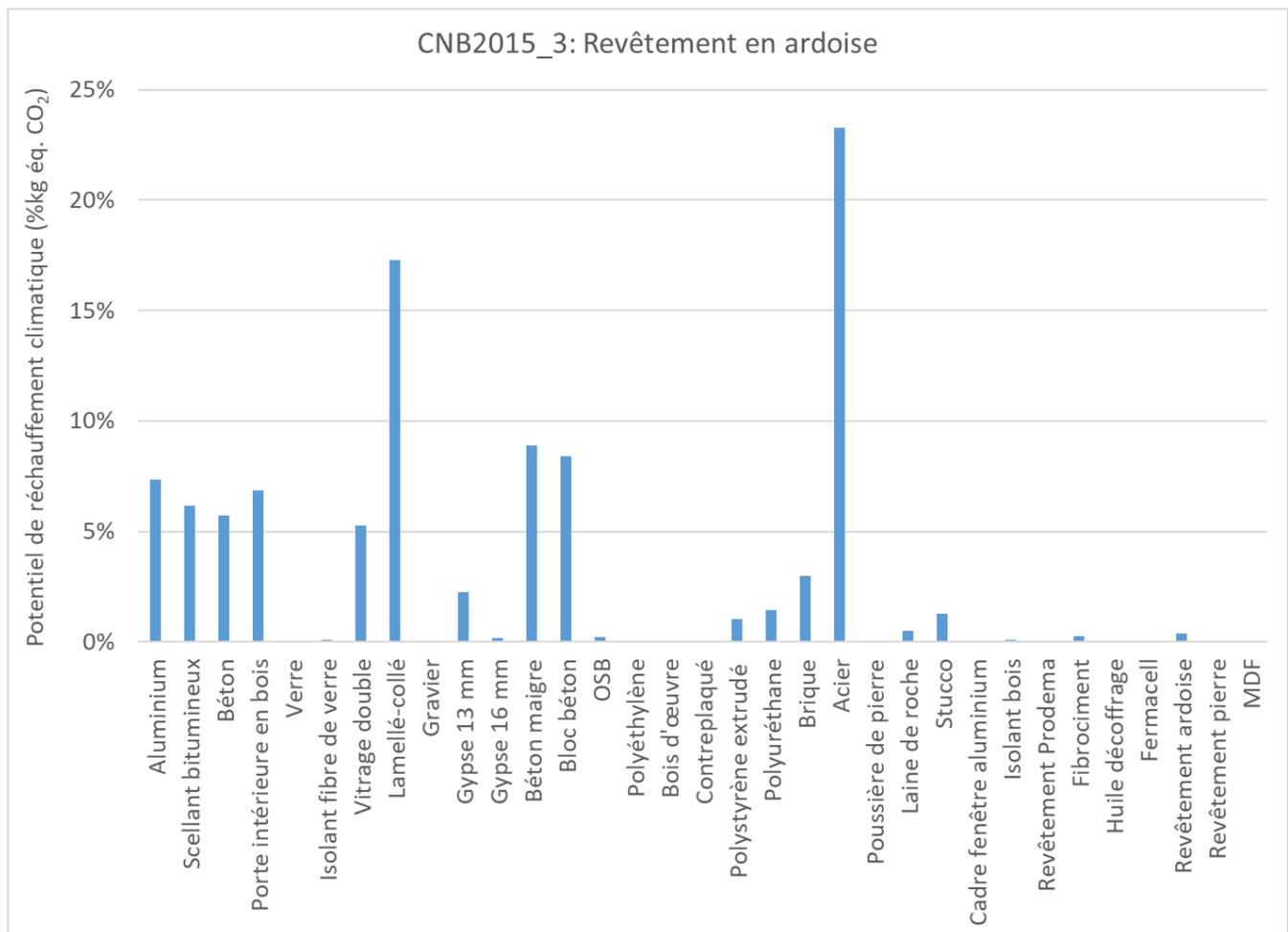


Figure 20. Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2015-3

7.1.4 CNB2015-4 : Revêtement extérieur en pierre

Le remplacement de 50 % de la brique utilisée dans les murs extérieurs permet une réduction de 1,2 % (37 tonnes éq. CO₂) de l'empreinte carbone du bâtiment. La répartition des émissions par matériau demeure essentiellement inchangée par rapport au scénario de référence.

7.1.5 CNB2020-1 : Utilisation réduite du gypse pour laisser du bois apparent

Le gypse dans toutes ses formes représente un peu moins de 4 % des émissions GES du bâtiment. Le retrait d'une certaine quantité de gypse selon les paramètres qui devraient être permis dans le CNB 2020 permet de réduire les émissions d'un peu plus de 7 tonnes éq. CO₂. (soit 0,2 %) relativement au bâtiment en bois. La répartition des émissions par matériau demeure essentiellement inchangée par rapport au scénario de référence (Figure 19).

7.1.6 CNB2020-2 : Colombages d'ingénierie dans les murs extérieurs

Le bâtiment Arbora C comporte environ neuf fois plus de cloisons (voir 7.1.7) que de murs extérieurs (sur une base de superficie). Le remplacement des colombages dans les murs extérieurs par des colombages équivalents en bois d'ingénierie permet de réduire la quantité totale d'acier utilisée dans le bâtiment de 5 %. Ce changement dans la conception du bâtiment entraîne une réduction de 0,8 % de l'empreinte carbone totale relativement au bâtiment bois (Figure 19).

7.1.7 CNB2020-3 : Colombages d'ingénierie dans les cloisons

En remplaçant tous les colombages de cloisons par des colombages en bois d'ingénierie, la quantité totale d'acier entrant dans le bâtiment chute de 26 %. Les émissions intrinsèques baissent quant à elles de 4,5 %. La contribution de l'acier à l'empreinte de chaque bâtiment passe de 22,2 % (Figure 18) à 17,2 % (Figure 21).

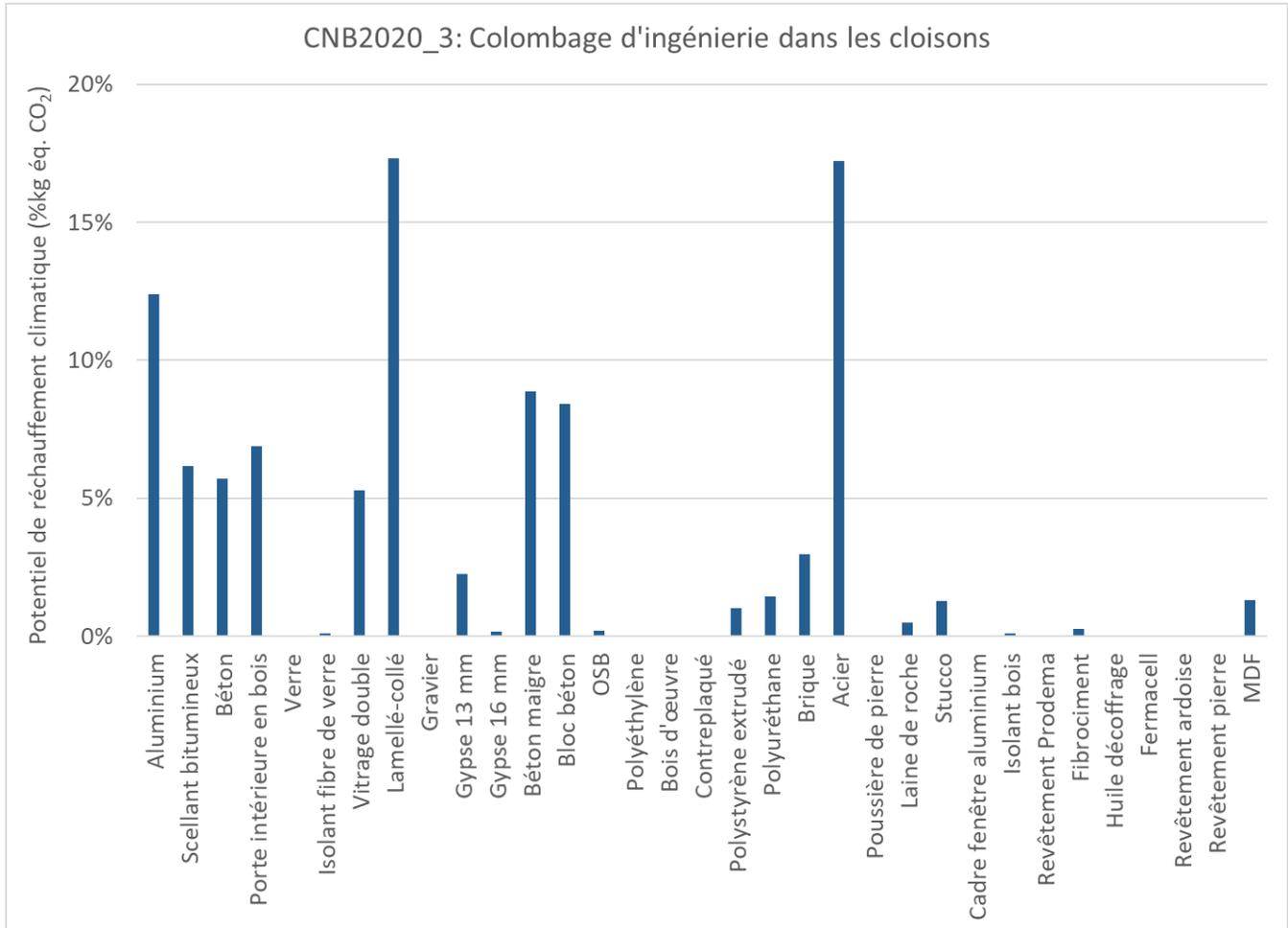


Figure 21. Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2020-3

7.1.8 CNB2025-1 : Isolant en bois

Le remplacement de l'isolant en laine de roche par de l'isolant en bois permet de réduire les émissions de 6 tonnes éq. CO₂, soit une réduction inférieure à 1 % de l'empreinte totale du bâtiment Arbora C en bois. La répartition des émissions par matériau demeure essentiellement inchangée par rapport au scénario de référence (Figure 19).

7.1.9 CNB2025-2 : Balcons en lamellé-croisé (CLT)

Le remplacement des balcons en acier par des balcons en CLT permet de réduire l'utilisation de l'acier dans une certaine mesure, puisque l'installation des dalles de CLT nécessite l'utilisation d'imposantes attaches en acier. Par conséquent, ce scénario ne montre pas de réduction de GES; au contraire, on note une augmentation des émissions de 16 tonnes éq. CO₂, soit 0,5 % par rapport à Arbora bois.

Il est à noter que les quantités estimées pour ces attaches ne sont pas optimisées; elles proviennent d'un des premiers projets en CLT réalisés au Québec. La conception à neuf d'un système de balcon en CLT pour Arbora aurait nécessité des travaux de recherche et de conception architecturale dépassant le cadre de la présente étude. Il va sans dire que la construction de ces balcons requiert l'emploi de quantités additionnelles de CLT, un produit qui a sa propre empreinte carbone. La Figure 22 montre la contribution des différents matériaux à l'empreinte carbone de cette version du bâtiment. On note entre autres une légère baisse des émissions issues de l'acier (-2 %) qui n'est pas surprenante compte tenu de l'importance de ce matériau dans l'ensemble du bâtiment. Également, la finition de la partie inférieure du balcon avec du fibrociment nécessite l'usage de fourrures en acier, ce qui limite l'efficacité de ce choix de conception dans la réduction de l'acier utilisé.

La contribution du CLT aux émissions de GES augmente quant à elle de 0,7 %. Les quantités additionnelles de fibrociment employées n'affectent pas de manière significative la contribution de ce matériau aux émissions intrinsèques de Arbora bois.

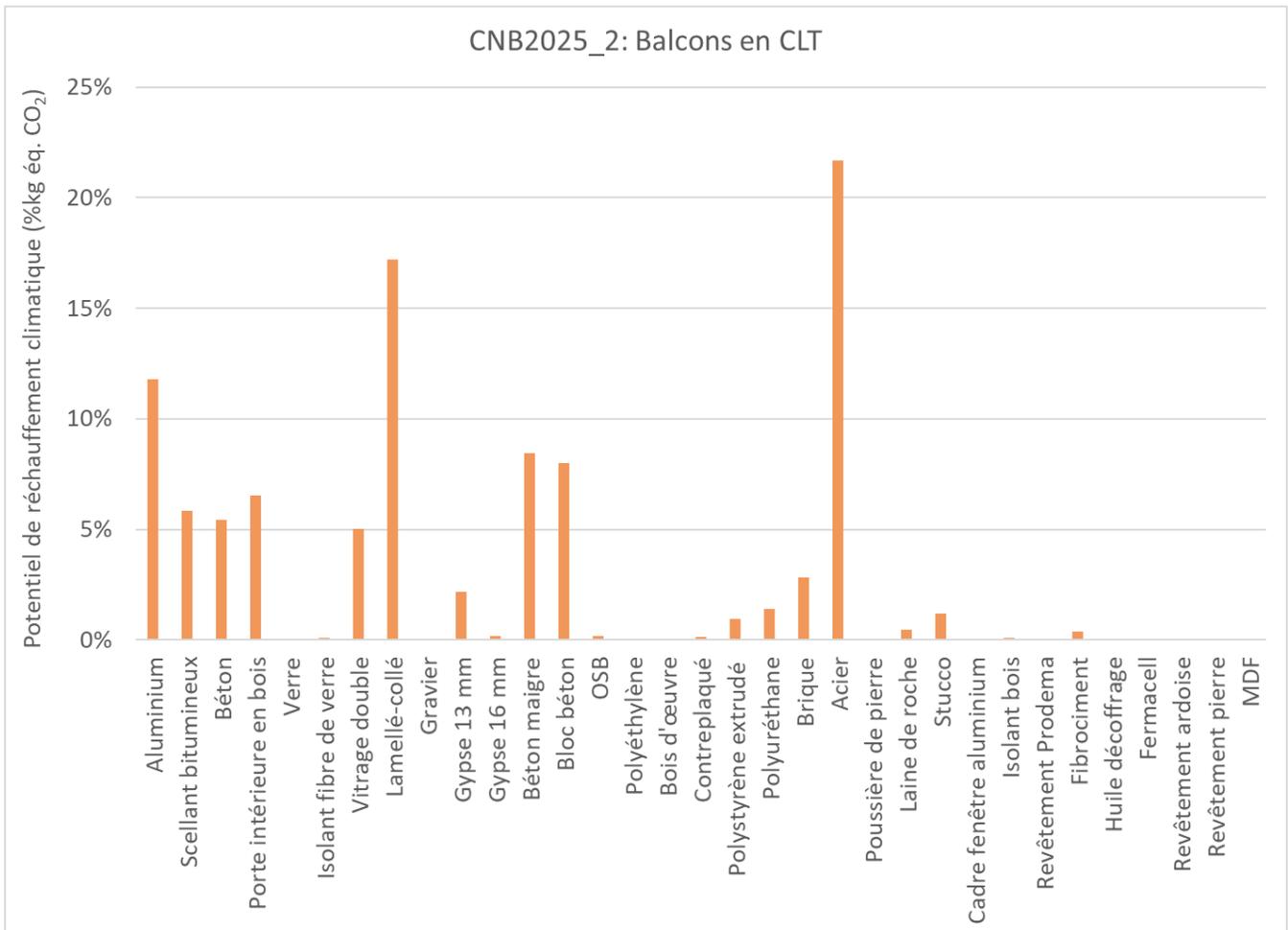


Figure 22. Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2025-2

7.1.10 CNB2025-3 : Bois d'ingénierie dans les plafonds

Le remplacement de la structure de plafond en acier par des lattes et profilés en bois d'ingénierie permet de réduire l'empreinte carbone du bâtiment de 0,4 %, soit 15,5 tonnes éq. CO₂. D'un côté, le retrait des éléments d'acier enlève 18 tonnes éq. CO₂ de l'empreinte carbone du bâtiment, de l'autre l'utilisation des équivalents en bois en ajoute 2,5 tonnes éq. CO₂. La Figure 23 représente la nouvelle distribution des émissions avec un plafond en bois d'ingénierie.

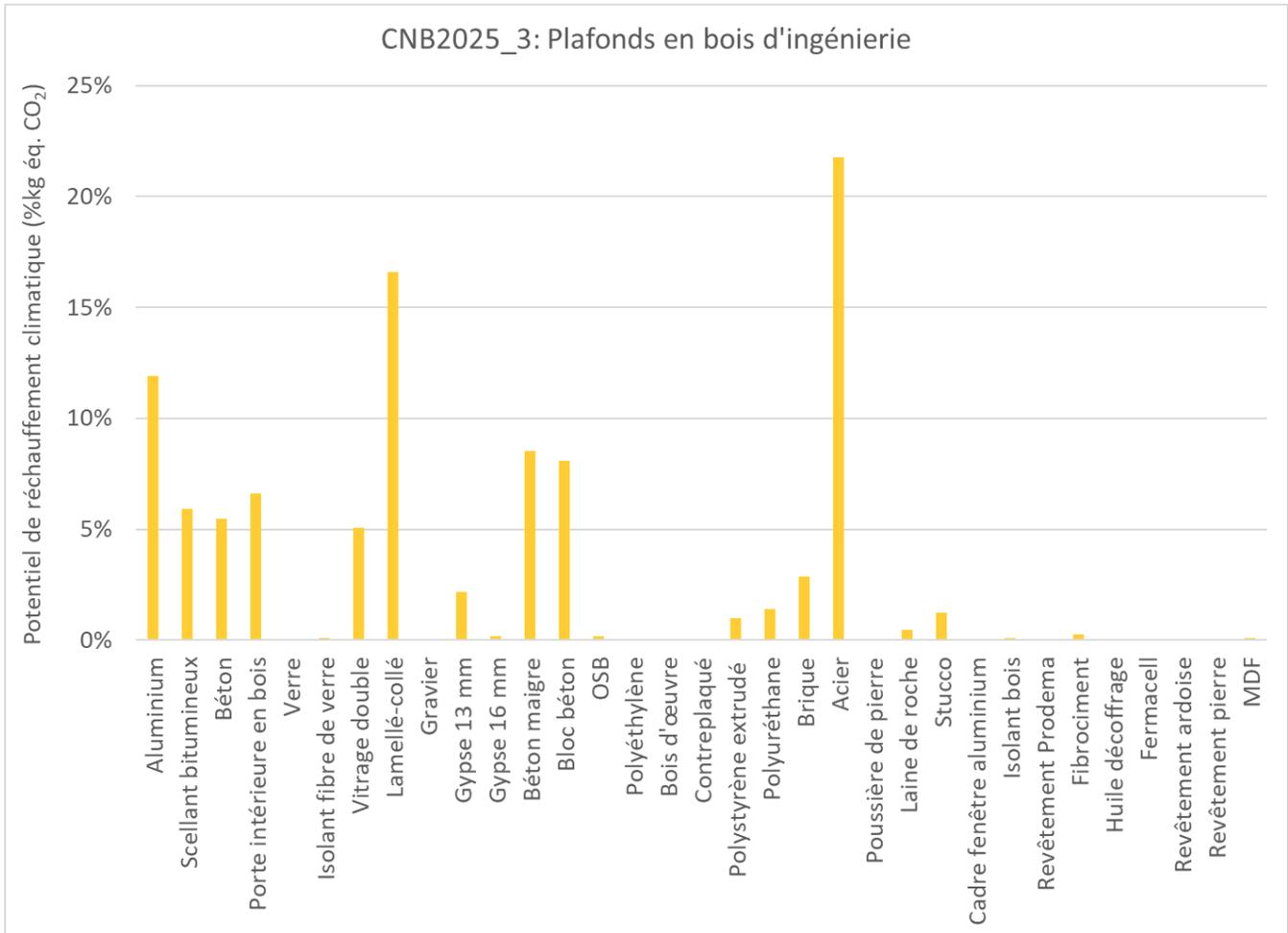


Figure 23. Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2025-3

7.1.11 CNB2025-4 : Plancher surélevé en bois

Le remplacement du système de plafond par un plancher surélevé permet d'éliminer une quantité importante de gypse et une certaine quantité d'acier. L'exposition complète des plafonds permet de réduire les émissions de 59 tonnes éq. CO₂. Or, la construction des planchers ajoute approximativement 31 tonnes éq. CO₂, ce qui résulte en une réduction nette de 27,5 tonnes éq. CO₂. Au total, ce choix de conception permet de réduire l'empreinte carbone du bâtiment bois de près de 1 %. La contribution des matériaux est présentée à la Figure 24.

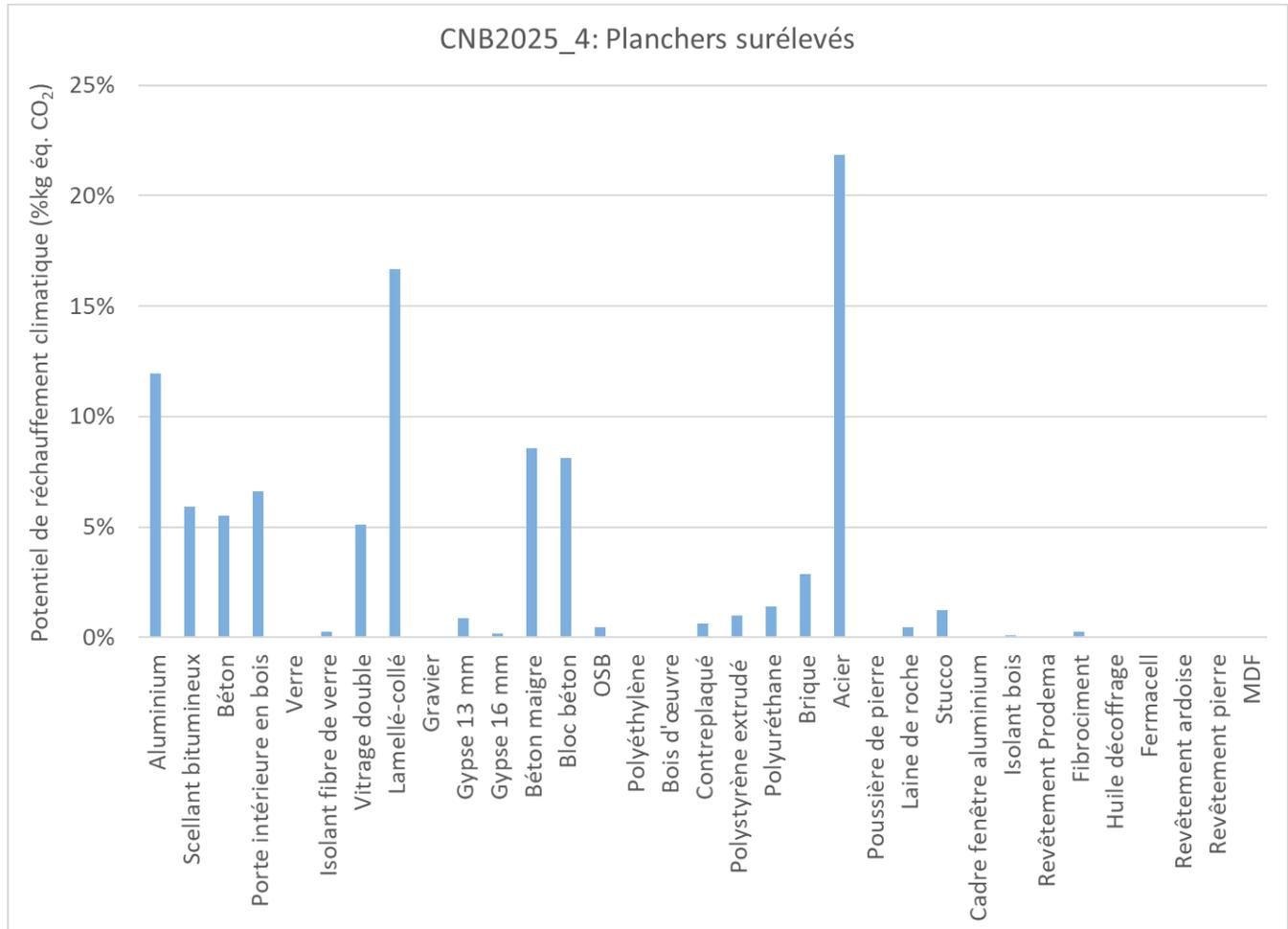


Figure 24. Contribution relative des matériaux au potentiel de réchauffement climatique du scénario CNB2025-4

8. ANALYSES DE SENSIBILITÉ

La norme ISO 14040 requiert la réalisation d'analyses de sensibilité dans le but d'évaluer l'impact de choix méthodologiques et de données pouvant affecter les résultats et conclusions de l'étude. Dans le cas du présent projet, il n'apparaît pas pertinent de réaliser ce type d'analyse pour chacun des scénarios étudiés étant donné qu'une grande proportion des scénarios étudiés ne résulte pas en réductions significatives d'émissions intrinsèques. Il est toutefois pertinent d'évaluer l'impact de ces choix sur les résultats de l'étude. Il est à noter que les choix de conception étudiés dans la présente section ne sont pas de la même nature que ceux étudiés dans les analyses de sensibilité qui portent sur des aspects de modélisation et non des décisions de conception structurale ou architecturale. La nuance devrait être comprise par le lecteur.

Quelques analyses de sensibilité sont proposées. Tout d'abord, il convient d'évaluer l'impact des données utilisées pour modéliser le scénario CNB2025-2, qui visait à réduire l'utilisation totale de l'acier dans le bâtiment en substituant les balcons en acier par des balcons en bois. Ensuite, un des scénarios portant sur un produit innovant de construction, les colombages et profilés d'ingénierie, mérite une attention particulière en raison des données utilisées. Ces données sont sujettes à de l'incertitude en vertu du niveau de maturité de l'innovation. Ce produit est l'objet d'un processus de R et D servant à peaufiner les procédés servant à sa fabrication. L'intégration des impacts liés aux matériaux de coffrages a aussi été étudiée afin de cerner l'impact de l'exclusion des modules A4 et A5 sur les résultats. Une analyse de sensibilité porte sur le retrait de 35 % du gypse présent dans le bâtiment. Finalement, un choix méthodologique significatif de toute ACV est la sélection de la méthode d'impacts. Il convient d'évaluer la fiabilité des résultats obtenus en les comparant avec ceux obtenus avec IMPACT 2002+.

8.1 CNB2025-2 : Balcons avec attaches allégées

Il a été mentionné à la section 7.1.9 que les données ayant permis de faire l'estimation des ferrures servant à soutenir les balcons datent de quelques années, soit au moment où le CLT était introduit aux professionnels de l'industrie de la construction. De l'avis de ces professionnels, il a été noté qu'un effort de conception afin d'alléger les balcons en faisant une utilisation plus efficiente des matériaux serait approprié. La décision actuelle d'employer des balcons en acier s'explique en partie par l'exigence des guides techniques et des autorités ayant juridiction de découpler les balcons et dalles de plancher pour des raisons de durabilité des matériaux dans une perspective de réduction des risques/précaution.

L'impact d'une utilisation réduite de l'acier dans cette application a été analysé. Cette quantité a été réduite de moitié afin d'évaluer l'impact de la qualité des données en particulier avec l'aspect temps dans une optique de l'évolution de la pratique du génie civil appliqué au bois.

Les résultats montrent une légère réduction de 1 % de l'empreinte carbone. La variation la plus importante observée sur les cinq indicateurs est de 6 % et porte sur l'indicateur eutrophisation (Figure 25). Ce résultat s'explique par le traitement des matières résiduelles sulfurées provenant de la transformation de l'acier. Fait notable, la diminution de la quantité d'acier permet au scénario CNB2025-2 d'atteindre des valeurs inférieures au scénario de référence sur tous les indicateurs.

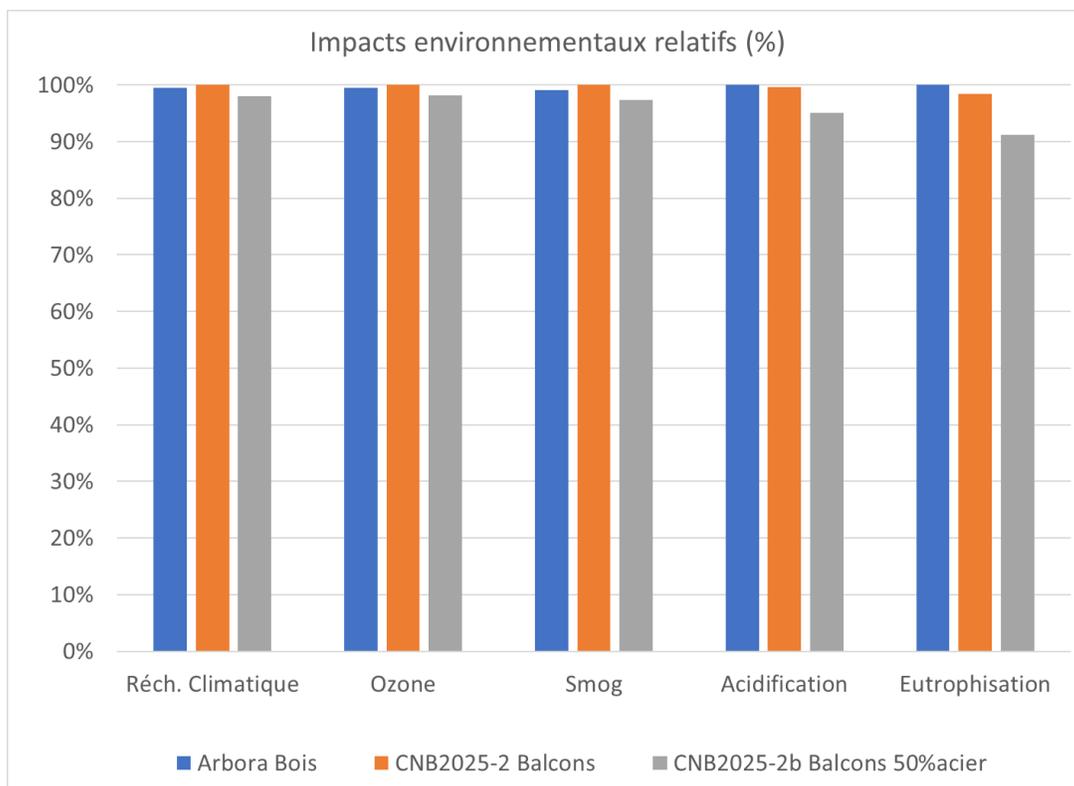


Figure 25. Analyse de sensibilité des attaches de balcons allégées

8.2 CNB2020-3 : Remplacement des colombages d'acier par des colombages en bois d'œuvre

L'évaluation de la qualité des données ayant servi à modéliser les colombages d'ingénierie dans les cloisons permet de mieux évaluer le potentiel de cette technologie lorsqu'elle sera mature pour être déployée dans l'industrie. Le bois d'œuvre a une empreinte carbone plus faible que le MDF ayant été utilisé pour modéliser le produit innovant. Son utilisation pourrait éventuellement être permise dans le CNB au même titre que le produit fondé sur la technologie MDF.

Les résultats (Figure 26) montrent que la modélisation des colombages sur la base du bois de sciage réduit légèrement les impacts sur l'ensemble des indicateurs. Ceci n'est pas surprenant en soi; la production du bois d'œuvre nécessite moins d'intrants sous la forme d'énergie et résines. Les réductions observées oscillent entre 0 % et 3 % selon les indicateurs retenus.

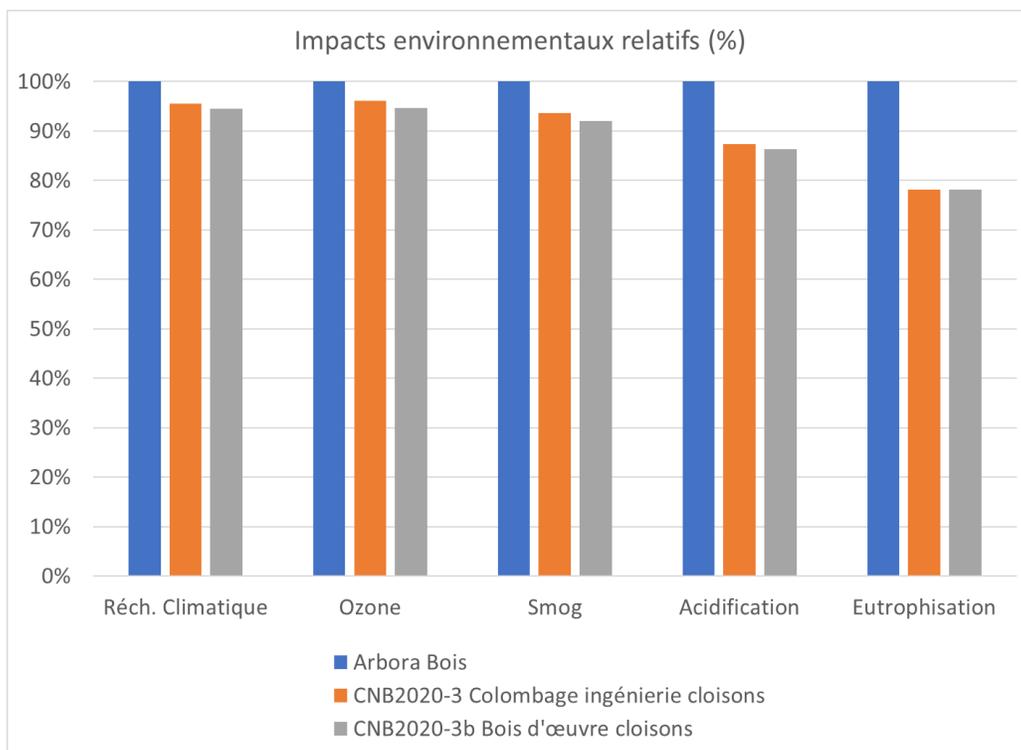


Figure 26. Analyse de sensibilité de l'utilisation des colombages en bois d'œuvre

8.3 CNB2020-1 : Réduction de 35% du gypse utilisé dans le bâtiment

Cette analyse étend l'analyse du scénario CNB2020-1, qui permettait le retrait d'une quantité relativement petite du gypse total du projet Arbora (~10 %). La proportion de 35 % a été retenue parce qu'il s'agit de la superficie maximale d'éléments qu'il serait possible de laisser apparent dans les logements selon le futur CNB 2020. La réduction touche toutes les épaisseurs et tous les types de gypses. Dans la pratique, il est certain que cette proportion ne serait pas atteinte puisqu'il est actuellement prévu que les espaces communs ne puissent pas exposer leurs éléments structuraux en bois. En ce sens, l'analyse de sensibilité illustre le potentiel atteignable dans le BGHB Arbora C.

Les résultats de l'analyse montrent une baisse additionnelle de 1 % de l'empreinte GES du bâtiment bois par rapport au scénario CNB2020-1. La sensibilité du scénario CNB2020-1 est par conséquent relativement faible.

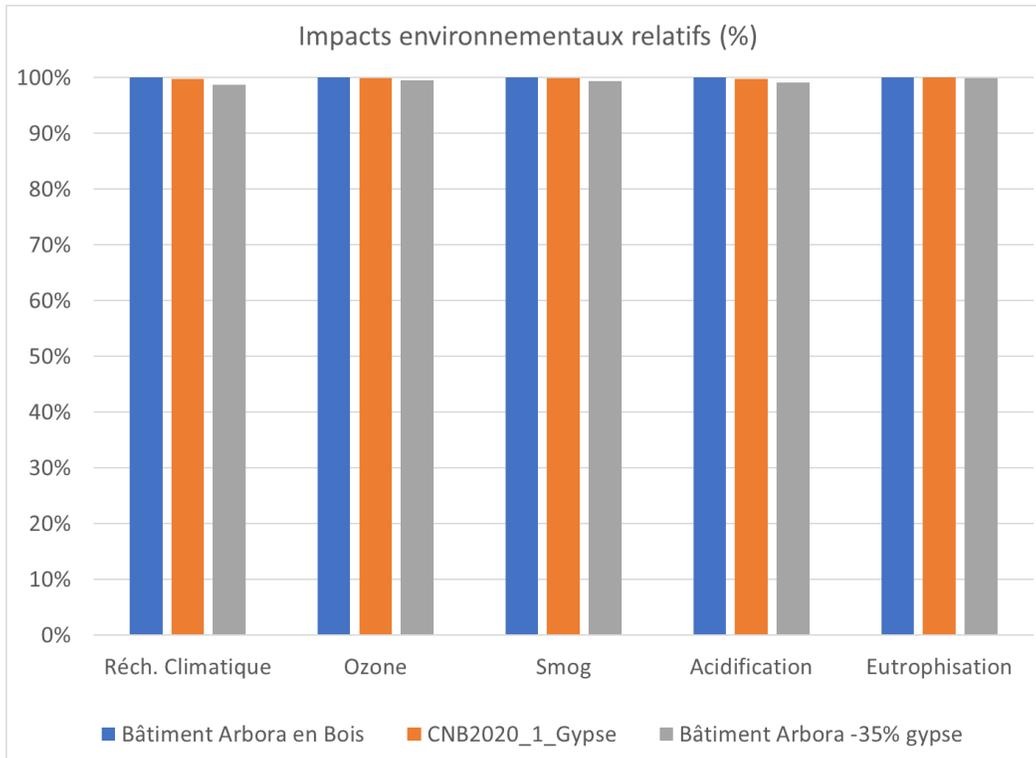


Figure 27 Analyse de sensibilité du retrait de 35 % du gypse dans le bâtiment de référence en bois

8.4 Scénario CNB2015 - 5 : Intégration du contreplaqué et de l’huile de décoffrage à l’analyse

Cette analyse comptabilise certains des matériaux utilisés pour le coffrage des éléments structuraux en béton (colonnes, poutres, dalles, murs de refends et autres) dans l’inventaire de cycle de vie des bâtiments. Les matériaux visés sont le contreplaqué et l’huile de décoffrage. Le contreplaqué est utilisé environ huit fois avant d’être éliminé tandis que l’huile est appliquée sur la surface du contreplaqué à chaque utilisation pour faciliter le décoffrage. Les poteaux en acier et traverses en aluminium (Figure 28) servant à tenir le contreplaqué en place lors du coulage du béton sont exclus de l’analyse en raison du nombre élevé d’utilisations de ces éléments.

Il est à noter que le bâtiment en bois comporte aussi des éléments en béton obtenus par le procédé de coffrage. Le bâtiment en béton utilise beaucoup plus de contreplaqué et d’huile en vertu de l’ampleur et de la quantité des ouvrages réalisés à partir de coffrages.

Ce scénario diffère des autres scénarios étudiés. Il élargit la portée de l'analyse pour ajouter les quantités des matériaux initialement non considérés, soit le contreplaqué et l'huile de décoffrage. D'autres activités de même nature auraient pu être évaluées, par exemple les pertes matérielles occasionnées sur le chantier, les activités de transport et de manutention, l'opération de l'équipement servant au montage de la structure, etc. Celle-ci a été spécifiquement étudiée en raison de l'hypothèse d'écart dans la consommation des matériaux et la capacité d'évaluer des quantités de manière assez précise. La consommation de contreplaqué et d'huile est présente autant dans l'inventaire du bâtiment bois que dans le bâtiment en béton. Au total, le bâtiment bois se voit ajouter 3,1 tonnes de contreplaqué et 194 litres d'huile végétale à son inventaire. Ceci est relativement peu comparativement aux quantités ajoutées au bâtiment béton, soit respectivement 34,7 tonnes et 1 892 litres. Les quantités des autres matériaux utilisés dans le bâtiment demeurent inchangées.



Figure 28. Système de coffrage de béton utilisant du contreplaqué

L'intégration des matériaux de coffrage a une incidence marginale ($< 0,5\%$) sur l'empreinte carbone des bâtiments : d'une part, l'empreinte carbone du bâtiment bois augmente de 0,8 tonne éq. CO_2 alors que, d'autre part, celle du bâtiment en béton augmente de 9 tonnes éq. CO_2 pour une différence nette de 8 tonnes éq. CO_2 .

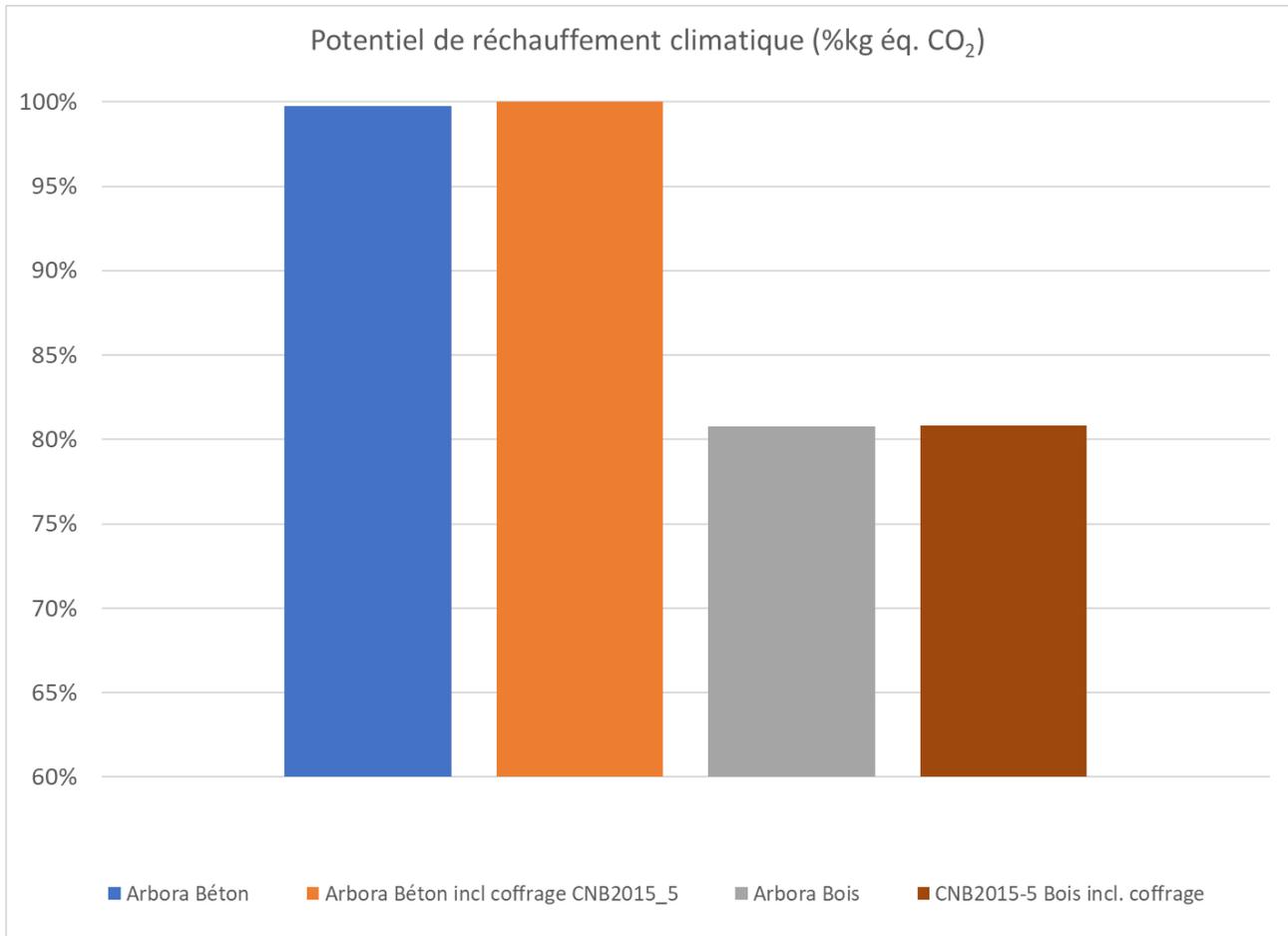


Figure 29. Analyse de sensibilité de l'intégration des matériaux de coffrage à l'empreinte des bâtiments bois et béton

8.5 Résultats selon la méthode IMPACT 2002+

L'analyse des douze scénarios étudiés selon une méthode alternative adaptée au contexte européen ne permet pas d'identifier des changements importants au niveau des conclusions de l'étude. La Figure 30 montre que les scénarios CNB2015-1 (fermacell), CNB2015-3 (ardoise) et CNB2020-3 (colombages d'ingénierie dans les cloisons) demeurent les plus avantageux au point de vue des émissions intrinsèques de GES.

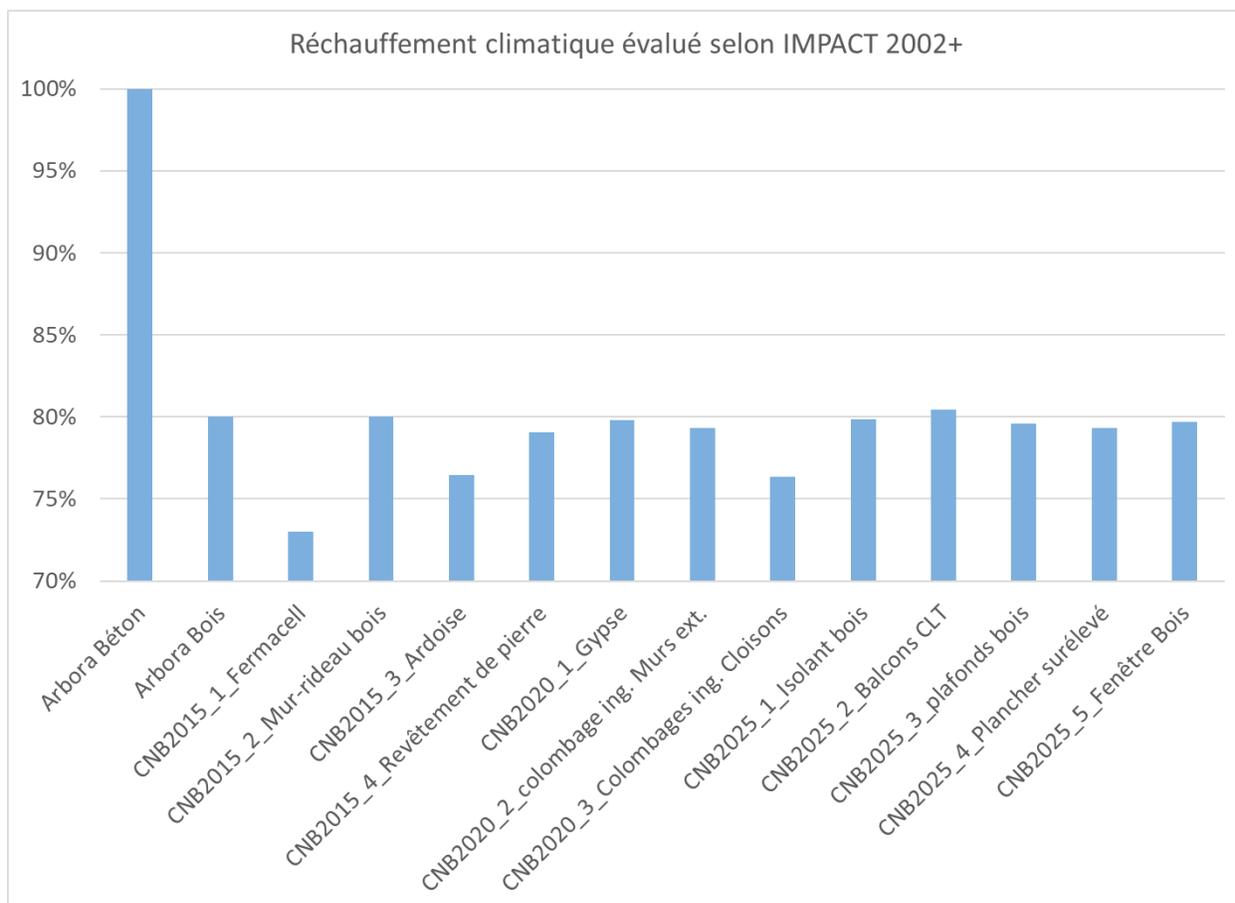


Figure 30. Impacts sur le potentiel de réchauffement climatique relatif des scénarios selon la méthode IMPACT 2002+ v2.15

Les tendances observées au niveau des autres indicateurs semblent également se confirmer (Figure 31). Des variations de 0 % à 5 % sont observées au chapitre de l'indicateur ozone. Le scénario colombages d'ingénierie dans les murs extérieurs engendre des réductions d'émissions moindres pour les indicateurs acidification et eutrophisation que ce qui a été observé avec la méthode TRACI (Figure 16).

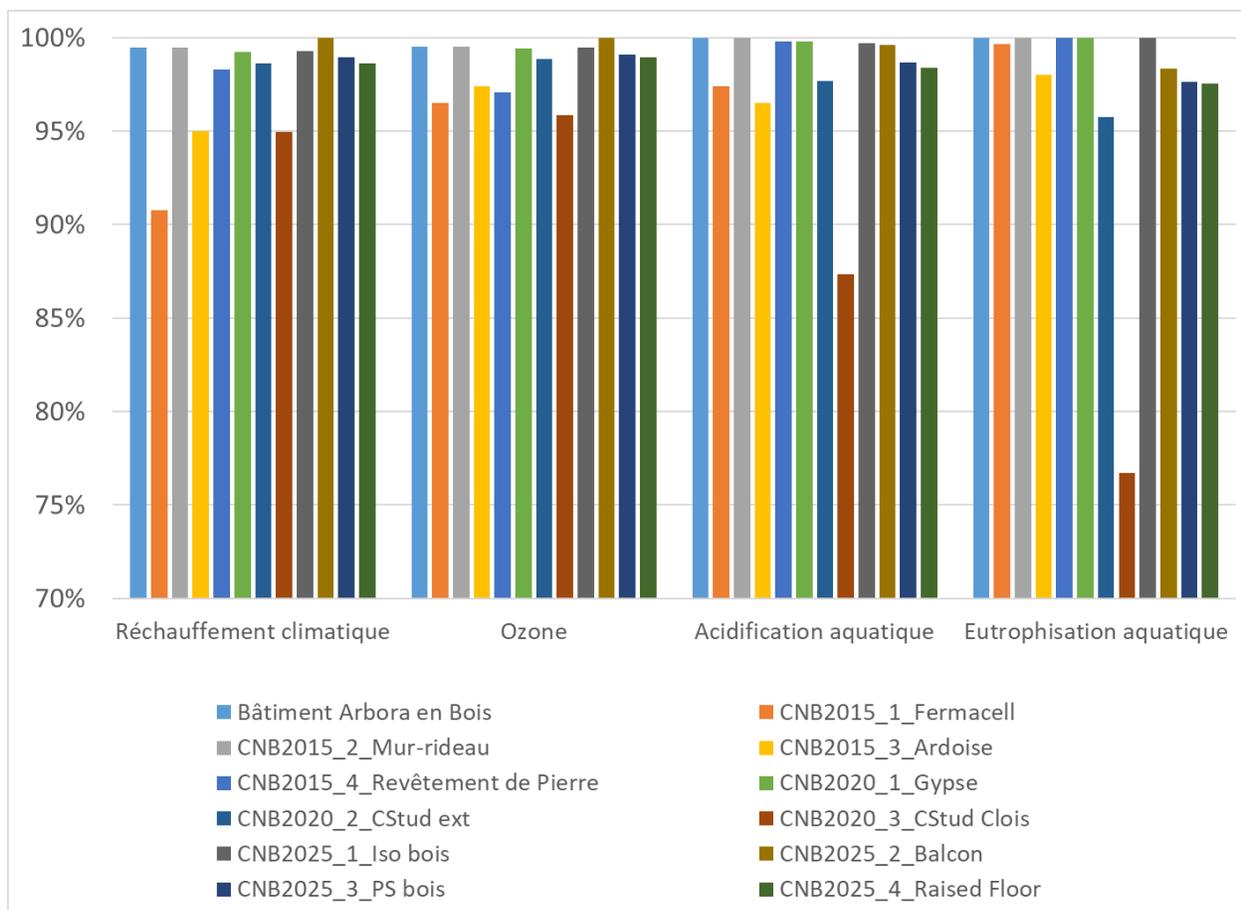


Figure 31. Impacts environnementaux relatifs des scénarios selon la méthode IMPACT 2002+ v2.15

9. DISCUSSION

9.1 Comparaison des différents scénarios

Les résultats de l'étude montrent que les choix de conception les plus porteurs dans l'optique de réduire les émissions de GES issus des matériaux utilisés dans les bâtiments de grande hauteur en bois sont ceux qui concernent la chape de béton (CNB2015-1), l'utilisation des colombages en bois / bois d'ingénierie (CNB2020-3) ainsi que le remplacement des revêtements extérieurs en aluminium (CNB2015-3).

Tableau 11. Empreinte carbone des scénarios étudiés

Scénario	Changement climatique (kg éq. CO ₂)	Variation relative au scénario Arbora bois	Rang GES
CNB2015_1_Fermacell	2 833 108	-7,6 %	1
CNB2020_3_CStud Clois	2 925 867	-4,5 %	2
CNB2015_3_Ardoise	2 928 830	-4,4 %	3
CNB2015_4_Revêtement de Pierre	3 028 090	-1,2 %	4
CNB2025_4_Raised Floor	3 037 380	-0,9 %	5
CNB2020_2_CStud ext	3 039 473	-0,8 %	6
*CNB2025_3_PS bois	3 049 421	-0,5 %	7
CNB2020_1_Gypse	3 057 478	-0,2 %	8
CNB2025_1_Iso bois	3 058 553	-0,2 %	9
CNB2015_2_Mur-rideau	3 064 652	0,0 %	10
Bâtiment Arbora en Bois	3 064 923	0,0 %	11
*CNB2025_2_Balcon	3 084 732	0,6 %	12
Total (*excl. CNB2025-2 et CNB2025-3)		-19,9 %	

L'empreinte carbone associée aux différents choix de conception étudiés (scénarios) montre qu'une majorité des scénarios ont une incidence mineure sur les émissions intrinsèques. En particulier, les scénarios classés aux rangs 5 à 14 ont moins de 1 % d'impact par rapport aux GES et se situent sous le seuil de représentativité. Au cumulatif, les réductions cumulées de tous ces scénarios totalisent 3,3 %⁶. L'ensemble des scénarios offre une réduction approchant les 20 %, un résultat se situant au-delà du seuil de représentativité de 10 % (Tableau 10). Cela étant dit, il est pertinent de souligner que les scénarios CNB2025-3 et CNB2025-4 sont incompatibles tels que définis. Donc, pour arriver à cumuler les bénéfices GES, un travail de reconception serait requis.

Le total de réduction des scénarios étudiés, excluant les options CNB2025-2 et CNB2025-3, est de 19,9 % par rapport au scénario Arbora bois. Ainsi, selon une intégration quasi complète de l'ensemble des solutions étudiées, l'empreinte carbone du bâtiment bois s'établirait à 65 % de celle du bâtiment Arbora C s'il avait été construit en béton. Rappelons-nous que l'écart GES initial séparant les deux bâtiments est de 19,2 % (Figure 17). En enlevant 19,9 % des émissions de GES du bâtiment initial, on obtient un total de 2 454 tonnes éq. CO₂ c,e qui représente 65 % des 3 793 tonnes éq. CO₂ du bâtiment en béton. Ceci correspond à une réduction totale de 35 % par rapport au bâtiment de référence en béton. Cette réduction est évidemment sujette à un certain niveau d'incertitude compte tenu de l'évaluation sommaire (± 25 %) des quantités de béton et d'armatures d'acier qui auraient été utilisées si le bâtiment Arbora C avait été construit de manière conventionnelle. En tenir compte résulterait en une empreinte carbone oscillant entre 60 % et 70 % de l'empreinte du bâtiment fonctionnellement équivalent en béton. Certains des choix de conception étudiés pourraient également être effectués dans le bâtiment en béton.

⁶ Excluant le scénario balcons CNB2025-2.

10. CONCLUSIONS

L'objectif du projet était « d'évaluer l'impact des choix de conception de bâtiments de grande hauteur en bois (BGHB) sur leur empreinte carbone » et « d'identifier des pistes d'amélioration des bâtiments conçus dans le futur » dans un contexte d'innovation.

À la lumière des analyses effectuées, il est possible de constater que les choix de conception, qui incluent le choix des matériaux, ont un impact sur l'empreinte carbone des bâtiments⁷. Le projet a permis d'évaluer que l'empreinte carbone du bâtiment Arbora C en bois, qui était 19 % moins élevée que celle du bâtiment équivalent en béton, aurait pu être 35 % moins élevée si des choix d'écoconception supplémentaires avaient été effectués. Ce résultat laisse présager que le développement et l'utilisation de produits innovants à faible empreinte carbone ainsi que le développement des codes du bâtiment peuvent jouer un rôle déterminant dans la réduction des émissions intrinsèques de l'environnement bâti et, par conséquent, des GES du secteur manufacturier.

Or, il convient de souligner que le choix de conception le plus déterminant sur l'empreinte carbone des bâtiments de grande hauteur est le choix du type de structure, plus précisément des matériaux structuraux. Ceci s'explique par les quantités requises de matériaux ainsi que l'empreinte carbone unitaire de ces matériaux. L'enveloppe du bâtiment, qui relève des disciplines architecturales, a aussi un rôle important à jouer dans la réduction de l'empreinte carbone des bâtiments. La réduction de l'empreinte carbone des bâtiments de grande hauteur attribuable au choix de structure est estimée à 19 %, alors qu'elle peut dépasser les 20 % en fonction des choix de conception d'enveloppe et de finitions, soit plus que le choix de type de structure. Par conséquent, l'atteinte des objectifs de réductions des émissions est une responsabilité partagée. Des solutions optimales (ou du moins plus optimales) seront permises lorsque le travail des différentes disciplines (génie civil, architecture, plomberie, électricité, communications, climatisation et ventilation, etc.) sera connu des autres. Cette multidisciplinarité est encouragée par l'entremise de pratiques de conception intégrée, de systèmes d'évaluation tels que LEED, Living Building Challenge, etc. et de plateformes technologiques adéquates (e.g. BIM).

Au-delà de la capacité de combiner les choix de conception, les résultats attirent l'attention sur le fait que d'autres scénarios auraient pu être considérés. Il convient de souligner que l'analyse a été réalisée sur un des bâtiments de grande hauteur, nommément Arbora C. D'autres possibilités de remplacement de matériaux auraient été possibles sur d'autres bâtiments simplement en fonction des volumes et dimensions de ces derniers. De la même manière, des règles d'urbanisme plus ou moins restrictives à l'égard du bois auraient une incidence sur les possibilités offertes. Parmi les options qui n'ont pas été étudiées, l'utilisation de profilés en bois d'ingénierie en remplacement de barres d'acier en « Z » (ou même de profilés d'aluminium) semble prometteuse. Environ 4 % de l'acier total du bâtiment est contenu dans des profilés de ce type, soit plus de la moitié de l'acier compris dans les murs extérieurs (estimé sur la base de l'inventaire). Une solution de rechange à l'utilisation d'une structure en acier imposante pour soutenir des revêtements extérieurs tels que brique ou pierre serait aussi potentiellement bénéfique (20 % de l'acier total). Ces efforts vont dans le même sens que le scénario CNB2025-2 portant sur les balcons.

⁷ Les choix de conception et de matériaux auront aussi une incidence sur des étapes du cycle de vie qui n'ont pas été considérées dans la présente étude (par exemple, l'énergie d'opération, l'entretien, les pertes occasionnées sur le chantier et le traitement des matières résiduelles en fin de vie). La portée de l'étude a été établie de manière à cibler la phase du cycle de vie ayant le plus d'impacts sur l'indicateur de changement climatique tel que soulevé dans (Essoua & Lavoie, 2019).

11. RECOMMANDATIONS

À l'issue de ce projet, les principales recommandations offertes sont d'appuyer le développement et l'utilisation de produits et systèmes de construction innovants dans l'objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre issues de la fabrication des matériaux de construction. D'une part, les solutions bâtiment bois doivent être développées et commercialisées dans la mesure où elles offrent des performances comparables aux solutions connues actuelles et ne compromettent pas la sécurité des occupants. Le financement de la recherche privée, universitaire et gouvernementale en partenariat avec l'industrie est, en ce sens, un besoin continu afin que les solutions émergent sur les marchés en temps opportun. D'autre part, le Code national du bâtiment (CNB) doit continuer d'évoluer et permettre l'utilisation des solutions bois en minimisant les exigences et processus administratifs. Le rôle de FPInnovations et d'autres organisations pour favoriser le développement des codes en ce sens est primordial. Une fois que le code permettra une utilisation plus répandue du bois, notamment en favorisant l'évaluation des systèmes en fonction de leur performance, les instances municipales et provinciales devront adopter ce code. L'utilisation de produits et systèmes en bois ou à faible empreinte carbone pourra aussi être encouragée par une offre de formation provenant des fabricants et d'organisations sectorielles.

La mise en place d'incitatifs financiers et politiques soutenant la réduction des émissions par l'entremise des matériaux spécifiés dans les bâtiments entraînerait la réduction des émissions de GES du secteur manufacturier. Des analyses réglementaires permettant d'évaluer l'ampleur des réductions atteintes en fonction des incitatifs offerts serait pertinentes. Plusieurs options sont disponibles aux autorités pour atteindre l'effet souhaité, notamment l'imposition d'un prix sur les émissions de GES, l'approvisionnement en produits à faible empreinte carbone ou issus de pays/régions ayant des réseaux électriques à faible intensité carbonique, etc. À l'inverse, une évolution des préférences et attentes esthétiques et architecturales des clients et consommateurs pour des bâtiments adaptés à leur environnement et utilisant des matériaux renouvelables peut engendrer des changements auprès des décideurs publics.

La capacité d'évaluer l'impact des choix de conception en avant-projet ou du moins tôt dans le processus de conception serait grandement bénéfique. Idéalement, les professionnels de l'industrie de la construction auraient des cibles d'intensité carbonique propres à leur région géographique. Déjà, des efforts en ce sens sont amorcés (Athena Sustainable Materials Institute, 2020) (NRC, 2019) et il est à prévoir que ces cibles ou objectifs seront disponibles à moyen terme. Dans la même veine, les professionnels de l'industrie devraient être formés sur l'application de l'analyse du cycle de vie et l'empreinte carbone dans le contexte du bâtiment en expliquant la pertinence et l'application concrète des méthodes, outils (e.g. Gestimat, REVIT, autres) et pratiques. Les outils permettant d'évaluer l'empreinte carbone des bâtiments au stade de la conception doivent être connus et utilisés par les architectes et ingénieurs.

La disponibilité de données d'analyse de cycle de vie (ACV) ou des inventaires de cycle de vie (ICV) de bâtiments québécois est actuellement assez limitée. Réaliser des ACV, développer des ICV ou colliger des ICV de bâtiments ayant des structures en bois, acier et béton permettrait de valider les conclusions de la présente étude tout en contribuant au développement de cibles de performance (étalonnage de bâtiments).

La rareté des données québécoises n'est pas uniquement ressentie au niveau des bâtiments. Les données spécifiques aux fabricants sont rarement disponibles dans les bases de données, ce qui limite leur inclusion dans les analyses. Il est pertinent de souligner que le Québec bénéficie d'une électricité propre et que la chaîne de valeur des produits forestiers est relativement peu intensive du point de vue des émissions de GES. La publication de déclarations environnementales de produits (DEPs) est un pas dans la bonne direction et peut pallier certains manques dans les bases de données, mais il ne s'agit pas d'une panacée. Le transfert des données dans les bases de données ACV accélérerait l'adoption des critères carbone dans la conception des bâtiments et dans les appels d'offres publics, par exemple. Appuyer le développement et la mise à jour des règles de catégories de produits (RCP) afin de permettre la comparaison inter-matériaux tel qu'il est stipulé par ISO 21930 serait aussi un pas dans la bonne direction, à défaut d'intégrer les données de produits dans les bases de données ACV. Actuellement, un nombre limité de fabricants produisent des ACV de leurs produits et diffusent leurs résultats dans des déclarations environnementales de produits (DEPs), et ce, pour diverses raisons (e.g. coûts engagés, manque d'incitatifs réglementaires, etc.). Des mesures d'accompagnement permettraient aux plus petits fabricants d'adhérer à la tendance mondiale en faveur de la transparence au sujet de la performance environnementale des matériaux.

12. LIMITES DE L'ÉTUDE

La présente étude a des limites inhérentes qu'il vaut la peine de souligner afin qu'elles demeurent à l'esprit du lecteur. Tout d'abord, il s'agit d'une étude de cas d'un bâtiment de grande hauteur en bois. Il est possible que l'empreinte d'un autre bâtiment diffère de celle d'Arbora C et que les conclusions changent dans une certaine mesure. La portée de l'étude qui s'est concentrée sur l'étape de production des matériaux (A1-A3) a des implications. Notamment, il est possible que les choix de conception affectent la durée de vie des produits en service ainsi que la consommation d'énergie d'opération. Nous avons travaillé avec l'hypothèse que la performance des systèmes étudiés dans chaque proposition est équivalente ou supérieure au système qui est remplacé. Dans la réalité, il est difficile de prédire avec beaucoup de certitude le comportement de ces systèmes, d'autant plus qu'ils dépendent d'une foule de facteurs comme la qualité d'exécution. Nous tenions à mettre l'accent sur les choix de conception puisqu'il s'agit de l'étape du cycle de vie ayant le plus d'impact, mais il est clair que d'autres étapes auront des impacts importants dans une ACV. Finalement, comme toute ACV, la qualité des données primaires et secondaires pourra avoir une incidence sur les résultats obtenus. L'utilisation de DEPs pour faire une approximation des résultats de certains scénarios est sujette à un certain nombre d'incertitudes et mériterait une analyse plus poussée. Néanmoins, la modélisation à partir de ces données permet d'indiquer si ces solutions pourraient ou non être d'intérêt dans une perspective d'écoconception.

13. BIBLIOGRAPHIE

- ASMI. (2019). *Reducing embodied environmental impacts of buildings; Policy options and technical infrastructure*.
- Athena Sustainable Materials Institute . (2013). *Life cycle assessment of MBMA primary and secondary structural steel and wall and roof panel production*. . <http://www.athenasmi.org/wp-content/uploads/2016/09/MBMA-Final-Report-April-2>.
- Athena Sustainable Materials Institute. (2002). *Cradle-to-gate life cycle inventory: Canadian and US steel production by mill type*.
- Athena Sustainable Materials Institute. (2013). *A life cycle assessment of Cross-Laminated timber produced in Canada*. . <http://www.athenasmi.org/wp-content/uploads/2013/10/CtoG-LCA-Canadian-CLT.pdf>.
- Athena Sustainable Materials Institute. (2020). *Whole-building LCA guidelines and benchmarking initiative*.
- Bare, J. (2011). TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other Environmental impacts 2.0. . *Clean Technologies and Environmental Policy*, 13(5), pp. 687–696.
- Baumann, H., & Tillman, A.-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application*. .
- CSA. (2006). *CSA Z782-06. Guideline for Design for Disassembly and Adaptability in Buildings*.
- Cupagroup. (s.d.). *Natural slate rainscreen systems*.
- Durlinger, B., Crossin, E., & Wong, J. (2013). *Life cycle assessment of a cross laminated timber building*.
- Essoua, G., & Lavoie, P. (2019). *Analyse de cycle de vie (ACV) environnementale comparative de la construction de bâtiments de grande hauteur en bois massif et en béton* .
- Fermacell. (2013). *The orange book version 5*.
- Fermacell. (2016). *fermacell Gypsum fiberboard; Environmental Product Declaration as per ISO 14025 and EN 15804*.
- FPIInnovations. (2019). *Canadian CLT Handbook*.
- Global Alliance for Buildings and Construction. (2019). *2019 Global Status Report for Buildings and Construction; Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector*.
- Grann, B. (2013). *A comparative life cycle assessment of two multistory residential building: Cross-laminated timber vs concrete slab and column with gauge steel walls*. .
- Guinée, J., Gorrée, M., Heijungs, R., & al., e. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards*. . Kluwer Academic Publishers, Centre of Environmental Sciences, Leiden University.
- Hauschild, M. Z., Goedkoop, M., Guinée, J., Hijungs, R., & al., e. (2013). Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, pp. 683-697.

- Humbert, S., De Schryver, A., Margni, M., & Jolliett, O. (2012). *Impact 2002+ User guide draft for version Q2.2 (version adapted by Quantis)*.
- ISO. (2016). *14044:2016. Environmental Management - Lifecycle assessment - Requirements and guidelines*.
- ISO. (2018). *ISO 14067:2018. Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification*. .
- ISO. (2020). *ISO 20887:2020. Développement durable dans les bâtiments et ouvrages de génie civil — Conception pour la démontabilité et l'adaptabilité — Principes, exigences et recommandations*.
- Ivan, L. P. (2013). *Life cycle assessment overview and application: Comparison of structural frame alternatives for office buildings*. Theses and dissertations, Ryerson University.
- Jolliett, O., Saade-Sbeih, M., Shaked, S., Jolliet, A., & Crettaz, P. (2015). *Environmental Life Cycle Assessment*. CRC Press.
- Lenzen, M. (2000). Errors in conventional and Input-Output—based Life—Cycle inventories. *Journal of industrial ecology*, pp. 127-148.
- MELCC. (2019). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2017 et leur évolution depuis 1990*.
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs. (2012). *Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques*.
- Natural stone council. (n.d.). *Life Cycle Inventory*. Récupéré sur <https://naturalstonecouncil.org/category/life-cycle-inventory>
- Norris, G. (2003). Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 6, no. 3-4, pp. 79-101.
- Norris, G. A. (2003). Impact Characterization in the Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts. Methods for Acidification, Eutrophication, and Ozone Formation. . *Journal of Industrial Ecology*, vol. 6, n° 3-4, , p. p. 7.
- NRC. (2019, Août 28). *Low-carbon assets through life cycle assessment initiative*. Récupéré sur <https://nrc.canada.ca/en/research-development/research-collaboration/programs/low-carbon-assets-through-life-cycle-assessment-initiative>
- O'Connor, J., Podesto, L., Barry, A., & Grann, B. (2013). *Chapter 11 - Environmental performance of cross-laminated timber. In CLT Handbook (U.S.)*.
- Pomponi, F., & Moncaster, A. (2016). Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment; What does the evidence say? *Journal of Environmental Management*, pp. 687-700.
- Prodema. (2012). *Environmental Product Declaration of «ProdEx»*.
- Ressources Naturelles Canada. (2018). *Le bois pour convertir notre environnement bâti au vert*. Récupéré sur <https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/forets-foresterie/industrie-commerce->

forestiere/demandes-en-produits-forestiers/bois-convertir-notre-environnement-bati-vert/16835?_ga=2.146790708.1652978770.1584965860-1530136736.1584965860

- Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., . . . Mundaca, L. (2018). *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*.
- Saade, M. R., Guest, G., & Amor, B. (2020). Comparative whole building LCAs: How far are our expectations from the documented evidence? *Building and Environment*.
- UL . (2019). *UL Environment Standard 10010-9: Product Category Rule (PCR) Guidance for Building-Related Products and Services Part B: Structural and Architectural Wood Products EPD Requirements*.
- Weidema, B. P., & Wesnæs, M. S. (1996). Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators. *Journal of Cleaner Production*, vol. 4, issue 3-4, pp. 167-174.
- World Steel Association. (2011). *Methodology report: Life cycle inventory study for steel products*.

**ANNEXE I -
TABLEAUX ADDITIONNELS : IMPACTS EN VALEURS ABSOLUES**

Catégorie d'impact	Unité	Bâtiment Arbora en béton	Bâtiment Arbora en bois	CNB2015_1 Fermacell	CNB2015_2_ Mur-rideau	CNB2015_3 Ardoise	CNB2015_4 Revêt. pierre
Appauvrissement en ozone	kg CFC-11 eq	5.17E-01	5.33E-01	5.16E-01	5.33E-01	5.22E-01	5.20E-01
Réchauffement planétaire	kg CO2 eq	3 792 680	3 064 923	2 833 108	3 064 652	2 928 830	3 028 090
Smog	kg O3 eq	294 202	301 636	286 667	301 615	292 547	301 598
Acidification	kg SO2 eq	33 871	30 134	29 387	30 132	29 089	30 073
Eutrophication	kg N eq	63 576	51 037	50 718	51 035	49 764	51 019

Catégorie d'impact	Unité	Bâtiment Arbora en béton	Bâtiment Arbora en bois	CNB2020_1 Gypse	CNB2020_2_ CStud ext	CNB2020_3 CStud Clois	CNB2025_1 Iso bois	CNB2025_2 Balcon	CNB2025_3 PS bois	CNB2025_4 Raised Floor
Appauvrissement en ozone	kg CFC-11 eq	5.17E-01	5.33E-01	5.32E-01	5.29E-01	5.12E-01	5.33E-01	5.35E-01	5.30E-01	5.30E-01
Réchauffement planétaire	kg CO2 eq	3 792 680	3 064 923	3 057 478	3 039 473	2 925 867	3 058 553	3 084 732	3 049 421	3 037 380
Smog	kg O3 eq	294 202	301 636	301 346	298 087	282 247	301 172	304 389	299 482	301 146
Acidification	kg SO2 eq	33 871	30 134	30 077	29 436	26 315	30 050	30 045	29 734	29 646
Eutrophication	kg N eq	63 576	51 037	51 028	49 003	39 915	51 000	50 273	49 909	49 909

ANNEXE II - TABLEAUX ADDITIONNELS : ANALYSES DE CONTRIBUTION

Global warming potential, kg eq. CO2, par scénario									
Aluminium alloy, AlU [CA-QC] produ Aluminium	Arbora bois	Arbora béton	CNB2015_1	CNB2015_2	CNB2015_3	CNB2015_4			
Bitumen seal, polymer EP4 flame reté Scellant bitumineux	362 281	348 199	362 281	362 010	362 010	214 964	362 281		
Concrete, 30-32MPa [CA-QC] concr Béton	179 875	179 875	179 875	179 875	179 875	179 875	179 875	179 875	179 875
Door, inner, wood [RER] production Porte Intérieure en bois	166 968	1 316 387	166 968	166 968	166 968	166 968	166 968	166 968	166 968
Flat glass, coated [RER] production Verre	201 015	201 015	201 015	201 015	201 015	201 015	201 015	201 015	201 015
Glass wool mat [CA-QC] production Isolant fibre de verre	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Glazing, double, U<1.1 W/m2K [RoW, Vitrage double	3 146	3 146	3 146	3 146	3 146	3 146	3 146	3 146	3 146
Glued laminated timber, for indoor u.lamellé-collé	154 257	154 257	154 257	154 257	154 257	154 257	154 257	154 257	154 257
Gravel, crushed [CA-QC] production Gravier	505 780	0	505 780	505 780	505 780	505 780	505 780	505 780	505 780
Gypsum wallboard product, regular, Gypse 13 mm	295	295	295	295	295	295	295	295	295
Gypsum wallboard product, type X, 0 Gypse 16 mm	66 426	35 777	66 426	66 426	66 426	66 426	66 426	66 426	66 426
Lean concrete [RoW] production, w/Béton maigre	4 938	4 650	4 938	4 938	4 938	4 938	4 938	4 938	4 938
Lightweight concrete block, expande/Bloc béton	259 677	214 290	94	259 677	259 677	259 677	259 677	259 677	259 677
Oriented strand board [CA-QC] proc OSB	245 926	241 023	245 926	245 926	245 926	245 926	245 926	245 926	245 926
PET film (production only) E_Arbora Polyéthylène	5 727	5 434	5 727	5 727	5 727	5 727	5 727	5 727	5 727
Pine wood, timber, production mix, a Bois d'œuvre	114	112	96	114	114	114	114	114	114
Plywood, at plywood plant US SE/Kg/Contreplaqué	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Polystyrene, extruded [CA-QC] poly:Polystyrène extrudé	1 520	1 520	1 520	1 520	1 520	1 520	1 520	1 520	1 520
Polyurethane, rigid foam [RoW] pro Polyuréthane	29 756	15 540	29 756	29 756	29 756	29 756	29 756	29 756	29 756
Shale brick [CA-QC] production AP Brique	42 501	37 852	42 501	42 501	42 501	42 501	42 501	42 501	42 501
Steel, low-alloyed [CA-QC] steel pro: Acier	86 913	82 431	86 913	86 913	86 913	86 913	86 913	86 913	86 913
Stone meal [CH] production APOS, Poussière de pierre	680 593	887 266	680 593	680 593	680 593	680 593	680 593	680 593	680 593
Stone wool, packed [RoW] stone w/Laine de roche	1 266	1 266	1 266	1 266	1 266	1 266	1 266	1 266	1 266
Stucco [RoW] production APOS, U, Stucco	14 047	14 047	14 047	14 047	14 047	14 047	14 047	14 047	14 047
Window frame, aluminium, U=1.6 W, Cadre fenêtre aluminium	36 947	36 947	36 947	36 947	36 947	36 947	36 947	36 947	36 947
EPD Wood Panel Insulation - Isolant aluminium	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prodema EPD	2 606	0	2 606	2 606	2 606	2 606	2 606	2 606	2 606
Fibre cement facing tile [RoW] prod Fibrociment	4 403	4 403	4 403	4 403	4 403	4 403	4 403	4 403	4 403
Refined maize germ oil, (solvent), at Huile décoffrage	7 906	7 906	7 906	7 906	7 906	7 906	7 906	7 906	7 906
Ferrocement	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ardoise_Natural stone plate, cut [QC, Revêtement ardoise	0	0	0	0	0	11 224	0	0	0
Pierre_Natural stone plate, cut [QC-C, Revêtement pierre	0	0	0	0	0	0	0	0	5 748
Medium density fiberboard (MDF), a MDF	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Somme	3 064 923	3 792 680	2 833 108	3 064 652	3 064 652	2 928 830	3 028 090		

CNB2020_1	CNB2020_2	CNB2020_3	CNB2025_1	CNB2025_2	CNB2025_2b	CNB2025_3	CNB2025_4
362 281	362 281	362 281	362 281	362 281	362 281	362 281	362 281
179 875	179 875	179 875	179 875	179 875	179 875	179 875	179 875
166 968	166 968	166 968	166 968	166 968	166 968	166 968	166 968
201 015	201 015	201 015	201 015	201 015	201 015	201 015	201 015
4	4	4	4	4	4	4	4
3 146	3 146	3 146	3 146	3 146	3 146	3 146	3 146
154 257	154 257	154 257	154 257	154 257	154 257	154 257	154 257
505 780	505 780	505 780	505 780	529 328	529 328	505 780	505 780
295	295	295	295	295	295	295	295
59 496	66 426	66 426	66 426	66 426	66 426	66 426	25 911
4 423	4 938	4 938	4 938	4 938	4 938	4 938	4 938
259 677	259 677	259 677	259 677	259 677	259 677	259 677	259 677
245 926	245 926	245 926	245 926	245 926	245 926	245 926	245 926
5 727	5 727	5 727	5 727	5 727	5 727	5 727	13 599
114	114	114	114	114	114	114	114
38	38	38	38	38	38	38	153
1 520	1 520	1 520	1 520	4 166	4 166	1 520	19 429
29 756	29 756	29 756	29 756	29 756	29 756	29 756	29 756
42 501	42 501	42 501	42 501	42 501	42 501	42 501	42 501
86 913	86 913	86 913	86 913	86 913	86 913	86 913	86 913
680 593	648 167	503 283	680 593	667 266	608 828	662 634	662 634
1 266	1 266	1 266	1 266	1 266	1 266	1 266	1 266
14 047	14 047	14 047	0	14 047	14 047	14 047	14 047
36 947	36 947	36 947	36 947	36 947	36 947	36 947	36 947
0	0	0	0	0	0	0	0
2 606	2 606	2 606	10 282	2 606	2 606	2 606	2 606
4 403	4 403	4 403	4 403	4 403	4 403	4 403	4 403
7 906	7 906	7 906	7 906	11 463	11 463	7 906	7 906
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	6 976	38 255	0	0	0	2 456	0
3 057 478	3 039 473	2 925 867	3 058 553	3 081 347	3 022 909	3 049 420	3 037 379

Global warming potential, kg éq. CO2, par scénario	Arbora bois	Arbora béton	CNB2015_1	CNB2015_2	CNB2015_3	CNB2015_4
Aluminium alloy, AlU [CA-QC] prod. Aluminium	11.8%	9.2%	12.8%	11.8%	7.3%	12.0%
Bitumen seal, polymer EP4 flame ret. Scellant bitumineux	5.9%	4.7%	6.3%	5.9%	6.1%	5.9%
Concrete, 30-32MPa [CA-QC] concréte Béton	5.4%	34.7%	5.9%	5.4%	5.7%	5.5%
Door, inner, wood [RER] production Porte intérieure en bois	6.6%	5.3%	7.1%	6.6%	6.9%	6.6%
Flat glass, coated [RER] production Verre	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Glass wool mat [CA-QC] production Isolant fibre de verre	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Glazing, double, U<1.1 W/m2K [Row, Vitrage double	5.0%	4.1%	5.4%	5.0%	5.3%	5.1%
Glued laminated timber, for indoor u Lamellé-collé	16.5%	0.0%	17.9%	16.5%	17.3%	16.7%
Gravel, crushed [CA-QC] production Gravier	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Gypsum wallboard product, regular, Gypse 13 mm	2.2%	0.9%	2.3%	2.2%	2.3%	2.2%
Gypsum wallboard product, type X, 0 Gypse 16 mm	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
Lean concrete [Row] production, w Béton maigre	8.5%	5.7%	0.0%	8.5%	8.9%	8.6%
Lightweight concrete block, expande Bloc béton	8.0%	6.4%	8.7%	8.0%	8.4%	8.1%
Oriented strand board [CA-QC] proc OSB	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
PET film (production only) E, Arbora Polyéthylène	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Pine wood, timber, production mix, a Bois d'œuvre	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Plywood, at plywood plant, US SE/kg Contreplaqué	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%
Polystyrene, extruded [CA-QC] Poly Polystyrène extrudé	1.0%	0.4%	1.1%	1.0%	1.0%	1.0%
Polyurethane, rigid foam [Row] pro Polyuréthane	1.4%	1.0%	1.5%	1.4%	1.5%	1.4%
Shale brick [CA-QC] production AR Brique	2.8%	2.2%	3.1%	2.8%	3.0%	1.5%
Steel, low-alloyed [CA-QC] steel pro Acier	22.2%	23.4%	24.0%	22.2%	23.2%	22.5%
Stone meal [CH] production APOS, Pousière de pierre	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Stone wool, packed [Row] stone w laine de roche	0.5%	0.4%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
Stucco [Row] production APOS, U Stucco	1.2%	1.0%	1.3%	1.2%	1.3%	1.2%
Window frame, aluminium, U=1.6 W/Cadre fenêtre aluminium	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
EPD Wood Panel Insulation - Isolant Prodema	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Prodema EPD	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%
Fibre cement facing tile [Row] prod Fibrociment	0.3%	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
Refined maize germ oil, (solvent), at Huile décoffrage	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Fermacell EPD	0.0%	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Ardoise, Natural stone plate, cut [QC, Revêtement ardoise	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%
Pierre, Natural stone plate, cut [QC-C Revêtement pierre	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%
Medium density fiberboard (MDF), a MDF	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

CNB2020_1	CNB2020_2	CNB2020_3	CNB2025_1	CNB2025_2	CNB2025_2b	CNB2025_3	CNB2025_4
11.8%	11.9%	12.4%	11.8%	11.8%	12.0%	11.9%	11.9%
5.9%	5.9%	6.1%	5.9%	5.8%	6.0%	5.9%	5.9%
5.5%	5.5%	5.7%	5.5%	5.4%	5.5%	5.5%	5.5%
6.6%	6.6%	6.9%	6.6%	6.5%	6.6%	6.6%	6.6%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.3%
5.0%	5.1%	5.3%	5.0%	5.0%	5.1%	5.1%	5.1%
16.5%	16.6%	17.3%	16.5%	17.2%	17.5%	16.6%	16.7%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1.9%	2.2%	2.3%	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%	0.9%
0.1%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
8.5%	8.5%	8.9%	8.5%	8.4%	8.6%	8.5%	8.5%
8.0%	8.1%	8.4%	8.0%	8.0%	8.1%	8.1%	8.1%
0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.4%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.6%
1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
1.4%	1.4%	1.5%	1.4%	1.4%	1.4%	1.4%	1.4%
2.8%	2.9%	3.0%	2.8%	2.8%	2.9%	2.9%	2.9%
22.3%	21.3%	17.2%	22.3%	21.7%	20.1%	21.7%	21.8%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
1.2%	1.2%	1.3%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.1%	0.1%	0.1%	0.3%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.4%	0.4%	0.3%	0.3%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%



info@fpinnovations.ca
www.fpinnovations.ca

NOS BUREAUX

Pointe-Claire
570, boul. Saint-Jean
Pointe-Claire (Qc)
Canada H9R 3J9
514 630-4100

Vancouver
2665, East Mall
Vancouver (C.-B.)
Canada V6T 1Z4
604 224-3221

Québec
1055, rue du P.E.P.S.
Québec (Qc)
Canada G1V 4C7
418 659-2647