

GUIDE DE CONCEPTION PRÉFABRICATION À FAIBLE EMPREINTE CARBONE



© Leo Fabrizio

ESTIA
Mai 2025

Charlotte Jianoux
Flourentzos Flourentzou

INTRODUCTION

I. QU'EST-CE QU'UN BATIMENT BAS CARBONE ?

1. Emissions carbone du bâtiment
2. Articles 117 et 118 de la LCI genevoise
3. Normes, labels et outils actuels
4. Benchmark des émissions indirectes
5. Bilan des émissions de 10 bâtiments à faible impact carbone

II. CONCEPT BAS CARBONE SUR UN BATIMENT DE REFERENCE

1. Approche et objectifs de l'étude
2. Bâtiment de référence
3. Les éléments préfabriqués du bâtiment de référence
4. Analyse carbone détaillée du bâtiment de référence
5. Poids carbone des éléments préfabriqués PRELCO

III. OPTIMISATION DE LA COMPOSITION DES ELEMENTS PREFABRIQUES

1. Optimisation des types d'isolant
2. Optimisation des épaisseurs d'isolant
3. Optimisation des recettes de béton
4. Optimisation des quantités de béton et d'armatures

IV. AVANTAGES ET AUTRES LEVIERS D'AMELIORATION DES ELEMENTS PREFABRIQUES

1. Durée de vie
2. Réduction de l'empreinte carbone
3. Développement durable et économie circulaire
4. Explorations en cours

V. SYNTHESSES

1. Bilan du système PRELCO optimisé
 - a) Variante de façade PRELCO optimisée
 - b) Comparaison à d'autres systèmes constructifs
2. Études complémentaires des pistes d'optimisation
 - a) Volume et facteur de forme
 - b) Impact des sous-sols
 - c) Réflexion sur la surface vitrée
 - d) Optimisation des dalles d'étage
 - e) Impact des installations techniques

VI. CONCLUSION

1. Axes d'optimisation bas carbone PRELCO
2. Atteindre la valeur cible ambitieuse avec la façade préfabriquée

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'évolution réglementaire genevoise, Estia a été mandatée par PRELCO pour analyser son système de préfabrication, le comparer à d'autres solutions existantes et identifier des pistes d'optimisation afin de réduire son empreinte carbone.

Cette démarche vise à répondre aux exigences des articles 117 et 118 de la Loi sur les constructions et Installations diverses (LCI) genevoise.



© Thomas Jantscher



© Fausto Pluchinotta

Un concept bas carbone se construit grâce à l'intelligence collective, où chaque acteur joue un rôle dans le bilan carbone global.

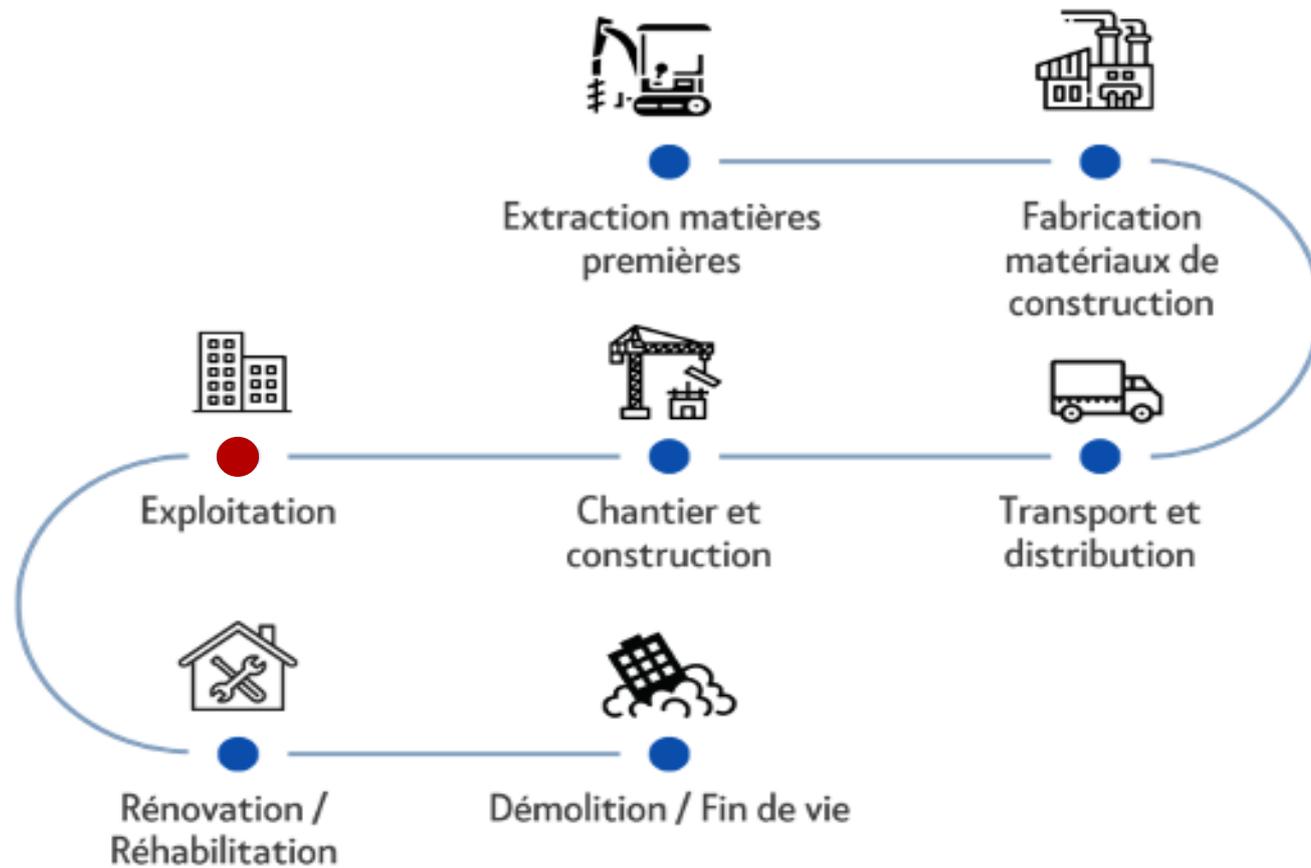
I. QU'EST-CE QU'UN BATIMENT BAS CARBONE ?



© SSE Genève

1. Emissions carbone du bâtiment
2. Articles 117 et 118 de la LCI genevoise
3. Normes, labels et outils actuels
4. Benchmark des émissions indirectes
5. Bilan carbone de 10 bâtiments à faible impact carbone

1. Emissions carbone du bâtiment (CO₂_{eq})



● Emissions directes / opérationnelles

● Emissions indirectes / construction

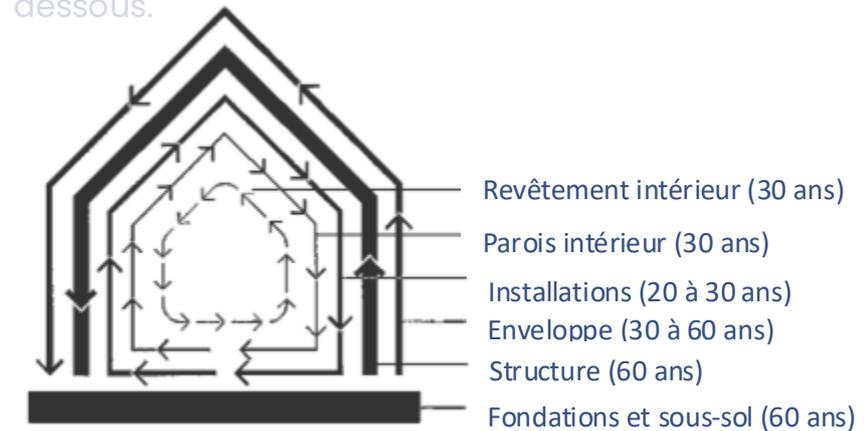
KgCO₂_{eq}/m².an

Unité de référence des écobilans, en kgCO₂_{eq} par m² de surface de référence énergétique et divisé par 60 ans. Le périmètre du bilan englobe l'entièreté du bâtiment, y compris les parties chauffées et non chauffées (locaux techniques et sous-sol). Par simplicité nous adoptons la notation **kgCO₂/m²a**.

Cadre spatial

Les durées de vie des éléments sont définies par la

SIA 2032. La durée d'utilisation du bâtiment est fixée à **60 ans**, celles des éléments du bâtiment dépendent de leur fonction comme illustré ci-dessous.



Shearing Layers Diagram, Stewart Brand
Représentation des différences de cycle de vie des éléments du bâtiment.

→ Un écobilan calcule les émissions indirectes des matériaux de construction en kgCO₂/m²a sur une durée de vie de 60 ans.

2. Articles 117 et 118 de la LCI genevoise

Loi modifiant la loi sur les constructions et les installations diverses (LCI) (Empreinte carbone des matériaux de construction) (12869)

L 5 05

du 10 décembre 2021

Le GRAND CONSEIL de la République et canton de Genève
décrète ce qui suit :

Art. 1 Modifications

La loi sur les constructions et les installations diverses, du 14 avril 1988 (LCI – L 5 05), est modifiée comme suit :

Titre IIIA Empreinte carbone des matériaux de construction (nouveau)

Art. 117 Principes (nouveau)

¹ Toute construction ou rénovation importante doit être conçue et réalisée à base de matériaux propres à minimiser son empreinte carbone.

² En premier lieu, il y a lieu de privilégier, dans la mesure du possible, le réemploi des matériaux de construction existants.

³ A défaut, il faut privilégier les matériaux de construction recyclés ou à faible empreinte carbone.

Art. 118 Prescriptions applicables (nouveau)

¹ L'empreinte carbone de chaque matériau d'une construction ou d'une rénovation importante correspond au bilan des émissions de gaz à effet de serre de ce matériau, et cela durant l'ensemble de son cycle de vie.

² Le calcul de l'empreinte carbone se fait selon l'état de la technique. Le Conseil d'Etat fixe par voie réglementaire les modalités précises de ce calcul, en concertation avec les milieux professionnels intéressés.

L 12869

2/2

³ Le Conseil d'Etat peut définir, par voie réglementaire, des seuils d'empreinte carbone maximale à respecter par matériau de construction, après concertation des milieux professionnels intéressés.

Art. 2 Entrée en vigueur

Le Conseil d'Etat fixe la date d'entrée en vigueur de la présente loi.

10.12.2021

L'article 117 de la LCI genevoise fixe l'objectif général (minimiser l'empreinte carbone des constructions et rénovations d'importance) et hiérarchise les moyens d'y parvenir : réemploi, recyclage, et enfin utilisation de matériaux à faible empreinte carbone.

L'article 118 précise que l'empreinte carbone se mesure par un bilan des émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie selon l'état de la technique et oriente la voie réglementaire vers des seuils d'empreinte maximale par matériau.



→ La construction à faible empreinte carbone va profondément modifier la manière de concevoir et construire.

3. Normes, labels et outils actuels



Le cahier technique SIA 2032 définit le périmètre spatial et temporel.



La SIA 2040 a évolué vers la norme SIA 390/1 et fixe les objectifs et nouvelles modalités de calcul.



La SIA 390/1 définit des valeurs cibles de base et valeurs cible ambitieuses d'émissions.



Minergie®, SNBS® et les autres labels ont leur propre interprétation des normes.

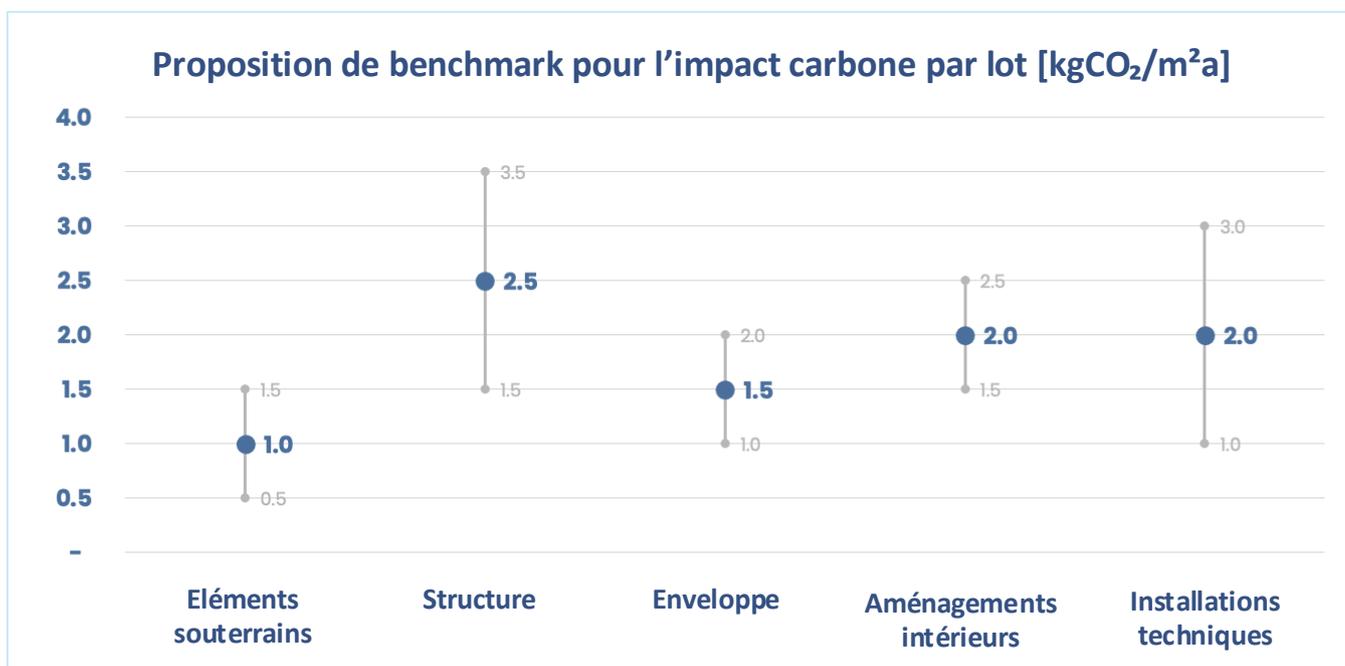
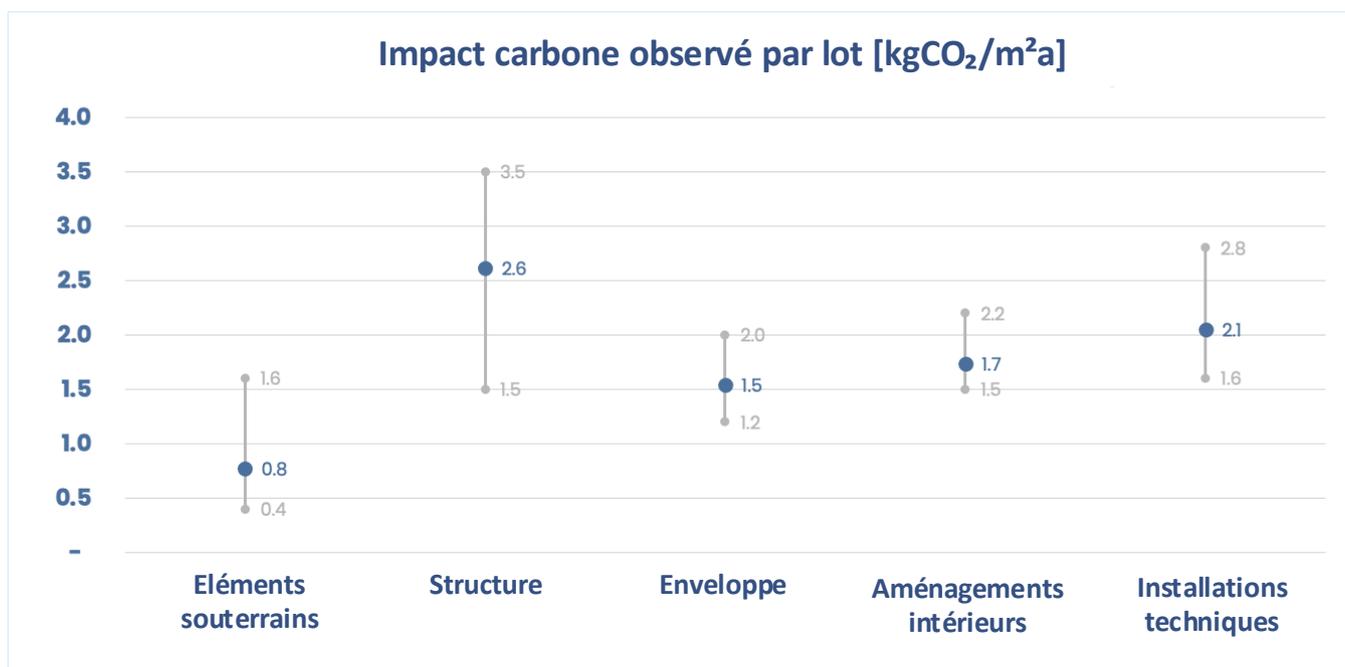


La base des données KBOB définit des valeurs de référence d'émissions pour les matériaux, composants du bâtiment et combustibles.

- Fiche technique SIA 2032 : Elle définit le cadre spatial et temporel de l'approvisionnement des matières premières jusqu'à leur élimination. La SIA considère uniquement l'indicateur des émissions de gaz à effet de serre (CO₂eq.) SIA 2032 définit les éléments de construction inclus bilan et les durées de vie réglementaires.
- SIA 390/1 : La voie du climat – Bilan des gaz à effet de serre et de l'énergie des bâtiments remplace la SIA 2040, fixe des objectifs de réduction carbone importants liés au bâtiment et la mobilité. Les émissions directes dues au fonctionnement des bâtiments neufs pour la catégorie ouvrage « habitation », avec prescriptions d'occupation se limitent à 4 kgCO₂/m²a, et **les émissions indirectes dues aux travaux à 9 kgCO₂/m²a**. Pour la rénovation les valeurs correspondantes sont de 6 et 5 kgCO₂/m²a. La norme définit des valeurs **cibles ambitieuses** plus exigeantes : 1 kgCO₂/m²a pour l'exploitation et **7 kgCO₂/m²a pour la construction**).
- SIA 390/1 sur les valeurs négatives : Les émissions négatives stockées sous forme de carbone biogène dans les matériaux de construction à base de matières premières renouvelables et dans les matériaux de construction minéraux et organiques ne sont considérées comme imputables que s'il existe une obligation (juridiquement contraignante) de stockage permanent pour ces matériaux.
- KBOB : Base de données CO₂ pertinente pour la Suisse sur les matériaux de construction et la technique du bâtiment (fabrication, élimination) ainsi que sur l'énergie et les transports.

→ Objectifs progressifs des normes pour atteindre le zéro émission net en 2050. La norme SIA 390/1 indique une valeur cible de base pour la construction de logement de 9 kgCO₂/m²a et une valeur cible ambitieuse de 7 kgCO₂/m²a.

4. Benchmark des émissions indirectes



Pour permettre d'optimiser les études de bilan carbone, Estia a développé un benchmark des impacts carbone indirects des bâtiments par lot. Bien que l'échantillon statistique soit réduit (10 bâtiments, principalement de programmes de logement ou mixte), nous observons une répartition stable entre les groupes.

- Nous proposons des valeurs de référence indicatives pour chaque groupe comme base de discussion afin de responsabiliser les parties prenantes de la conception dans un processus d'optimisation.
- Bien qu'il soit difficile d'atteindre les valeurs minimales dans chaque groupe, il est possible d'obtenir une valeur meilleure que la valeur médiane indicative. Si les impacts d'un groupe sont plus élevés, les choix de conception dans d'autres groupes doivent compenser.
- La somme des valeurs de référence correspond à la valeur cible de base de la norme SIA 390/1, soit
9 kgCO₂/m²a.
- Sous-sol et abords, **1** kgCO₂/m²a : un seul niveau souterrain, parking souterrain réduit.
- Structure, **2.5** kgCO₂/m²a : structure en béton optimisée, structure mixte non optimisée.
- Enveloppe, **1.5** kgCO₂/m²a : MOPEC standard, murs extérieurs revêtus.
- Aménagements intérieurs, **2** kgCO₂/m²a : aménagements intérieurs résidentiels standards.
- Installations techniques, **2** kgCO₂/m²a : MOPEC standard sobre pour chaleur décarbonée.

→ Le benchmark propose un ensemble de valeurs de référence comme base de discussion pour la responsabilisation des choix des parties prenantes de la conception (ingénieur civil, ingénieurs CVSE, maître d'ouvrage, architecte).

5. Bilan des émissions de 10 bâtiments à faible empreinte carbone.



Prog.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Prog.	Ecole	Résid. Mixt	Résid. Ecole.	Résid.	Résid Mixt	Résid.	Résid.	Résid.	Résid.	Résid Ecole.
SRE m ² FF	5500	9000 1.01	5500 0.94	3500 1.11	3300	6500	4000	4500	5000	14000
	Béton bois	Béton préfa	Béton bois	Béton	Béton paille	Béton préfa	Béton brique	Béton brique	Béton brique	Béton

Estia a mené des études comparatives d'écobilan pour des bâtiments suisses construits ces dernières années. Les bâtiments sont souvent plus proches de la valeur cible de base SIA 390/1 de 9 kgCO₂/m²a que de la valeur cible ambitieuse de 7 kgCO₂/m²a. Cela pourrait être attribué à un **"effet budget"** avec des bâtiments qui remplissent systématiquement le budget carbone maximal défini par le maître d'ouvrage. La plupart des bâtiments étudiés suivent soit la norme Sméo (B2-B9), avec une valeur limite fixée à 9 kgCO₂/m²a, soit Minergie ECO avec un budget carbone plus élevé (B1 et B10).

Les plus grandes différences entre les valeurs globales des écobilans viennent de sources structurelles et typologiques qui rendent l'objectif plus difficile à atteindre pour certains bâtiments. Par exemple, les éléments souterrains de plus grande surface, en particulier pour le bâtiment B1, présentent une intensité de carbone plus élevée. La portée plus élevée des structures porteuses des bâtiments scolaires peut avoir un impact important sur les émissions du lot structure.

Le manque d'optimisation des émissions de carbone dans la structure porteuse des bâtiments B1, B4, B9 et B10 est souligné et peut être mieux compris grâce à une analyse détaillée des bâtiments.

On observe un impact similaire pour les installations, les aménagements intérieurs et l'enveloppe (~2 kgCO₂/m²a), alors que la structure de la plupart des bâtiments a un impact global important.

L'analyse transversale des bâtiments nous amène à constater que les choix faits dans un lot (structure, enveloppe, aménagement intérieur et installation) ont souvent un impact sur les émissions de CO₂ d'un autre lot (ex. : B3, dont l'impact structurel est plus faible mais possède l'enveloppe avec l'impact le plus élevé de l'échantillon).

→ L'atteinte de la valeur cible de base est possible avec différents principes constructifs. La construction en béton préfabriqué « bas carbone » PRELCO (bâtiments B2 et B6) s'en sort aussi bien que d'autres principes constructifs.

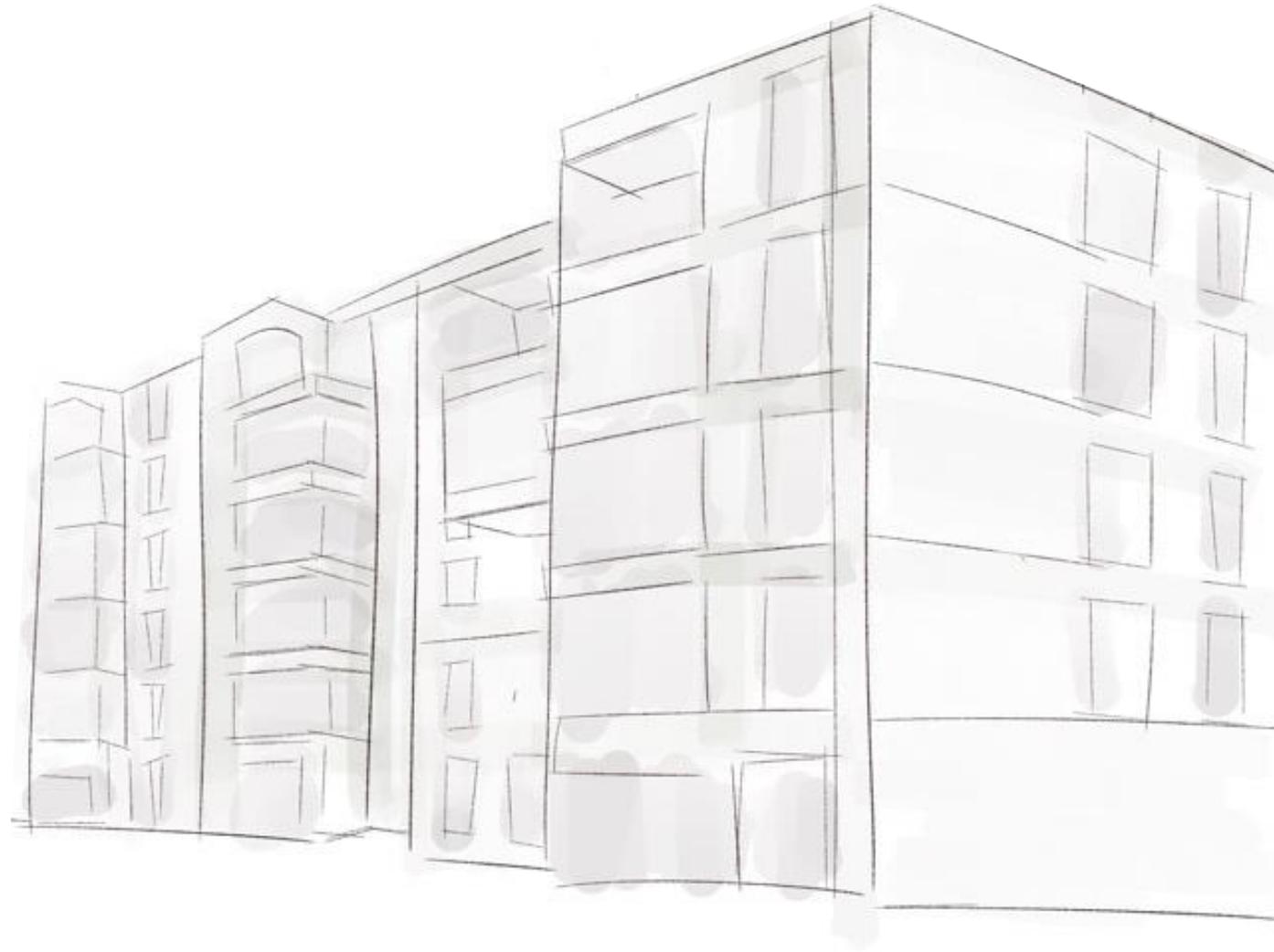
II. CONCEPT BAS CARBONE SUR UN BATIMENT DE REFERENCE



© Vincent Jendly

1. Approche et objectifs de l'étude
2. Bâtiment de référence
3. Les éléments préfabriqués du bâtiment de référence
4. Analyse carbone détaillée du bâtiment de référence
5. Poids carbone des éléments préfabriqués PRELCO

1. Approche et objectifs de l'étude



La valeur cible ambitieuse SIA de **7 kgCO₂/m²a** n'a été atteinte par aucun des bâtiments analysés dans les benchmarks d'ESTIA. Cette étude vise à analyser les principaux **leviers de réduction de l'impact carbone qui permettraient à un bâtiment en façade préfabriquée sandwich d'atteindre la valeur cible ambitieuse SIA.**

Pour cette étude, une construction de référence a été modélisée sur la base du bâtiment B2 en opérant quelques simplifications sans toucher les choix architecturaux principaux.

Il s'agit d'une barre de logement de **4188 m²** de SRE (surface de référence énergétique) avec 5 étages. Le bâtiment comprend un sous-sol sur toute sa surface et une toiture plate équipée de 225 m² de panneaux solaires.

Les façades sont entièrement en modules préfabriqués PRELCO. Chaque logement dispose d'une terrasse d'au moins 6.30 m².

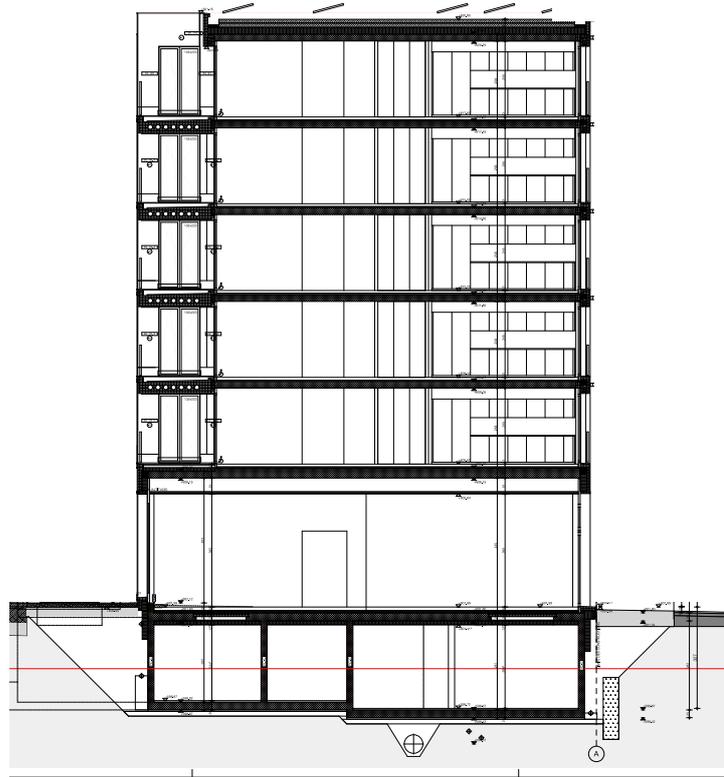
La construction du bâtiment génère des émissions carbone indirectes de **8.6** inférieures à la valeur cible de base SIA de **9 kgCO₂/m²a**.

Deux stratégies d'optimisation ont été explorées pour permettre au bâtiment d'atteindre la valeur cible ambitieuse SIA de 7 kgCO₂/m²a :

- L'optimisation de la façade préfabriquée (béton, isolant, taux d'armature, granulats, ciment, épaisseurs, ...)
- L'optimisation des autres lots (dalles, surfaces vitrées, sobriété des installations, ...).

→ Les stratégies d'optimisation des différents lots ont été testées sur un bâtiment de référence utilisant le système PRELCO.

2. Bâtiment de référence



Activité : Logement

SRE : 4118 m²

Facteur de forme : 1

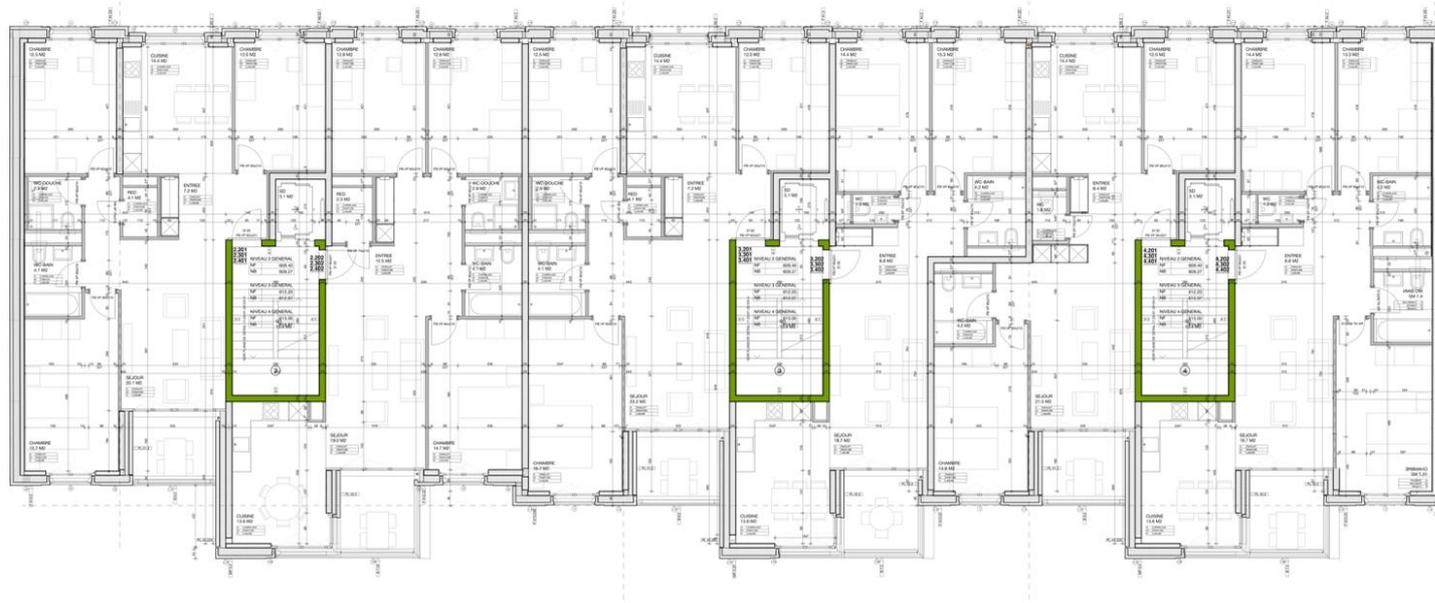
Surface vitrée : 27 %

Matériau structural : Façade porteuse béton préfabriqué et murs béton intérieur (espacement 3.70m) et dalles de béton

Nombre d'étages : 5 + 1 sous-sol

Épaisseur des murs : 30 - 45 cm

Épaisseur des dalles : 35 - 50 cm



Les dimensions du bâtiment existant ont été modifiées pour définir un bâtiment de référence simplifié avec une typologie de barre, comme le montre le plan du projet à gauche.

Les compositions utilisées sont inspirées du bâtiment réel et résumées dans le tableau ci-dessous :

Gros œuvre	Murs extérieurs	Béton préfabriqué PRELCO
	Dalles	Béton armé CEN 22 cm et 26 cm pour la dalle du rez
	Murs intérieurs	Murs porteur béton armé 20 cm
Enveloppe	Fenêtres	Triple vitrage cadre bois métal
	Façade PRELCO (type 1)	Béton préfabriqué porteur, polyuréthane, parement en béton préfabriqué
	Façade PRELCO loggia et bande coupe-feu type 2)	Béton préfabriqué porteur, laine de roche, parement en béton préfabriqué
	Pied de façade	XPS
	Isolation dalles et toit	Polyuréthane
Aménagements intérieurs	Revêtements sols	Plancher bois et carrelage dans les salles de bains et cuisines, terrazzo dans les circulation et espaces communs
	Revêtements murs et plafonds	Plâtre ou carrelage dans les cuisines et salles de bains
Installations	Chauffage ECS	PAC air eau
	Ventilation	Double flux
	PV	224 m ² de panneaux photovoltaïques en toiture

→ Le bâtiment de référence est représentatif d'une construction en béton préfabriqué standard.

3. Les éléments préfabriqués du bâtiment de référence



Les panneaux préfabriqués du bâtiment de référence sont composés de trois parties :

1. Un parement en béton armé de 8 cm (nervures décoratives épaisseurs variables de 8 à 10 cm)
2. Des isolants encapsulés : polyuréthane et laine de roche
3. Un élément porteur intérieur en béton armé, variant de 18 cm au rez-de-chaussée à 14 cm aux derniers étages

La façade sandwich intègre des performances thermiques, de résistance au feu et de stabilité structurelle.

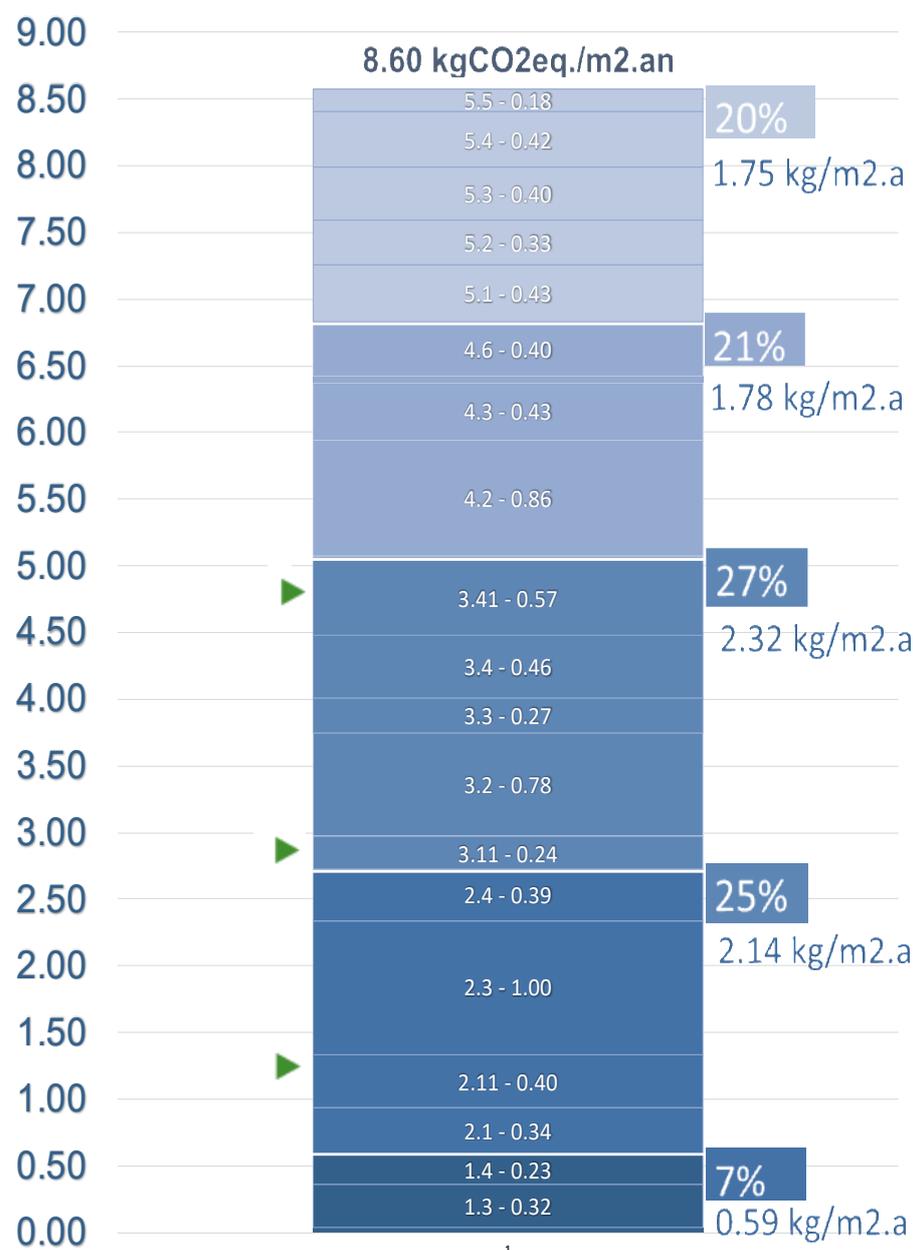
Ce système composite ne nécessite pas l'ajout de multiples couches techniques intermédiaires telles qu'un pare-vapeur, une étanchéité ou des couches de Fermacell à forte teneur en CO₂.

La façade préfabriquée en béton intègre également certains éléments, ajoutés dans d'autres procédés constructifs, tels que les encadrements, les embrasures, les tablettes de fenêtres et les caissons de stores, permettant ainsi de réduire les surfaces métalliques.

La partie porteuse du système remplace aussi les systèmes de contreventement en acier, un des facteurs péjorant des bilans carbone des façades en bois.

→ La façade préfabriquée se distingue par ses performances statiques, thermiques, acoustiques et de résistance au feu, sans nécessité d'ajouts qui auraient pour conséquence de péjorer son bilan.

4. Analyse carbone détaillée du bâtiment de référence



Lot 5. Installations techniques	
5.1 Installations électriques	
5.2 Installations chauffage et réfrigération	
5.3 Installations de ventilation et de conditionnement d'air	
5.4 Installations Sanitaires	
5.5. Panneaux photovoltaïques	
5.6 Installations de transport	
Lot 4. Aménagements intérieurs	
4.1 Cloisons portes	
4.2 Revêtement de sols	
4.3 Revêtement de parois	
4.4 Revêtement de plafonds	
4.5 Equipement fixes	
4.6 Isolation Phonique	
Lot 3. Enveloppe	
3.1 Revêtements de façades	
3.2 Ouvertures	
3.3 Revêtements de Toiture	
3.4 Isolation thermique	
Lot 2. Structure (hors sol)	
2.1 Parois porteuses	
2.2 Piliers	
2.3 Structure horizontale	
2.4 Toiture	
Lot 1 Souterrains et Aménagements extérieurs	
1.1 Fouilles	
1.2 Fondations	
1.3 Radier	
1.4 Revêtements et murs contre terre	
1.5 Abords de bâtiments	

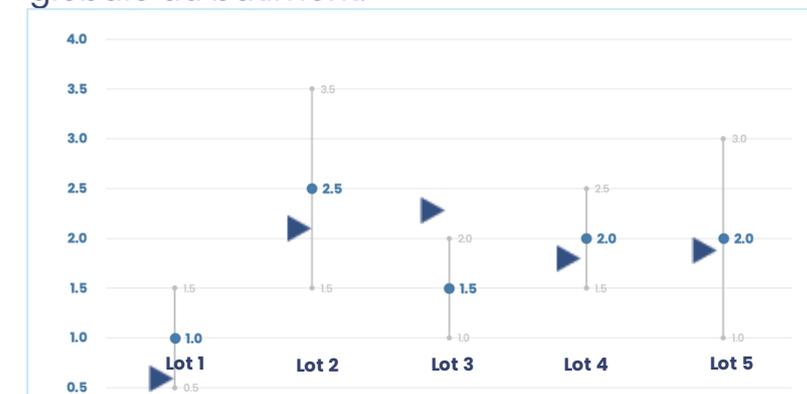
Le lot façade est au-dessus de la valeur benchmark. Ce dépassement dirige l'attention vers le sous-lot isolation (3.4) représentant une grande partie des émissions.

Les éléments PRELCO (flèches vertes) font partie de deux lots différents : le lot structure et le lot enveloppe.

L'impact CO₂ total des façades PRELCO représente 15 % des émissions indirectes totales du bâtiment.

Pour atteindre la valeur cible ambitieuse en CO₂, il faut non seulement optimiser les éléments PRELCO, mais aussi considérer leur influence sur le poids carbone des autres lots, en particulier la dalle, qui reste l'élément le plus émissif.

Dans cette étude, nous examinerons les combinaisons vertueuses permettant de diminuer simultanément l'impact des éléments PRELCO ainsi que celui des autres catégories, afin de réduire significativement l'empreinte carbone globale du bâtiment.

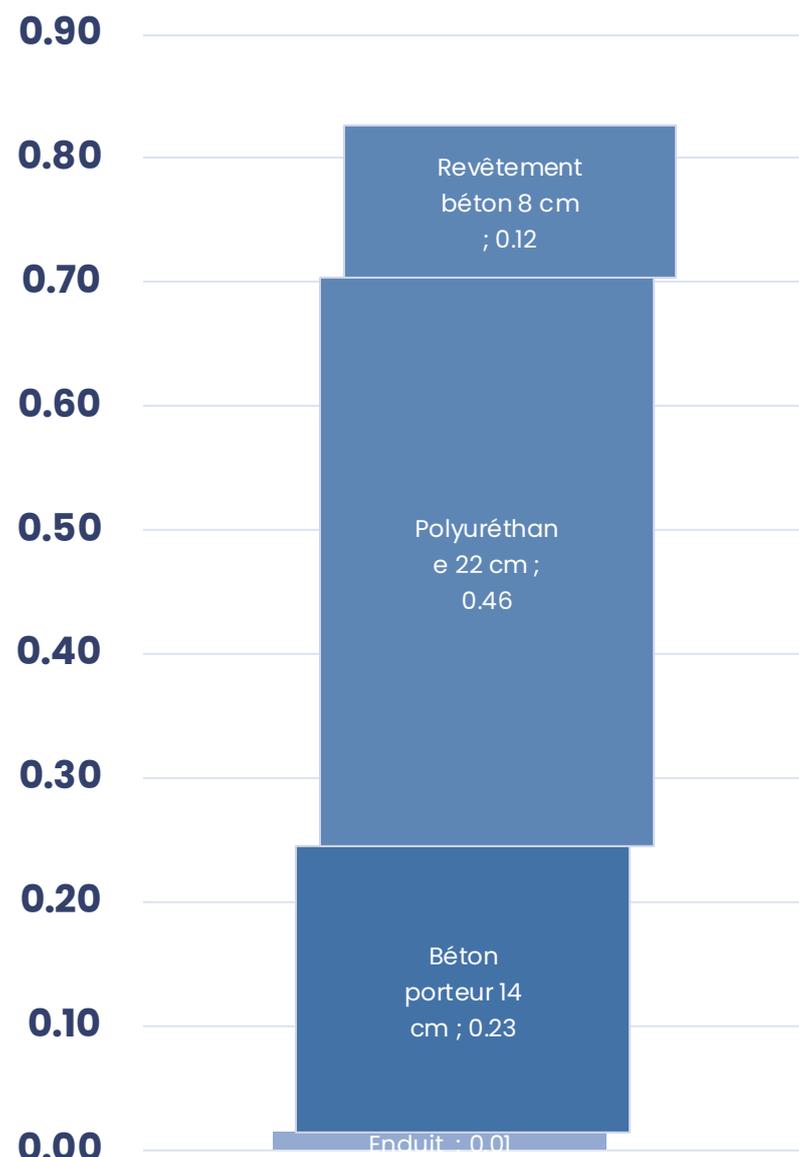


Positionnement dans le benchmark par lot

→ L'analyse du poids relatif de chaque lot oriente vers des pistes d'optimisation pour l'ensemble du projet.

5. Poids carbone des éléments préfabriqués PRELCO

**Revêtement₂ détaillée façade type 1
polyuréthane (1'234 m²)
[kgCO₂/m²a]**



Lot 5. Installations techniques
5.1 Installations électriques
5.2 Installations chauffage et réfrigération
5.3 Installations due ventilation et de conditionnement d'air
5.4 Installations Sanitaires
5.5. Panneaux photovoltaïques
5.6 Installations de transport
Lot 4. Aménagements intérieurs
4.1 Cloisons portes
4.2 Revêtement de sols
4.3 Revêtement de parois
4.4 Revêtement de plafonds
4.5 Equipement fixes
4.6 Isolation Phonique
Lot 3. Enveloppe
3.1* Revêtements de façades
3.2 Ouvertures
3.3 Revêtements de Toiture
3.4* Isolation thermique
Lot 2. Structure (hors sol)
2.1 * Parois porteuses
2.2 Piliers
2.3 Structure horizontale
2.4 Toiture
Lot 1 Souterrains et Aménagements extérieurs
1.1 Fouilles
1.2 Fondations
1.3 Radier
1.4 Revêtements de murs contre terre
1.5 Abords de bâtiments

Les éléments PRELCO font partie des deux lots « structure » et « enveloppe ». Dans le graphique à gauche, nous pouvons déjà observer que l'élément ayant le plus fort impact carbone dans la façade PRELCO type 1 pour ce bâtiment est l'isolant.

L'impact élevé s'explique par l'épaisseur des isolants utilisés, mais aussi par l'intensité énergétique de leur production. Le polyuréthane a été choisi sur les façades principales en raison de sa bonne résistance à la compression et de sa conductivité thermique très faible. Les épaisseurs utilisées varient entre 18 cm et 27 cm, visant des valeurs U proches de 0.1 W/m²K.

Les valeurs CO₂ des isolants utilisés dans cette étude sont celles de la KBOB. La durée de vie par défaut de l'isolant est celle de la SIA 2032, soit 30 ans. Cette valeur par défaut sera discutée dans la suite du rapport vis-à-vis de l'allongement des durées de vie de l'isolant encapsulé entre 2 couches de béton.

Les calculs des éléments en béton ont été réalisés avec un CEM II, un ciment moins émetteur que le CEM I standard, mais qui reste optimisable.

L'optimisation des éléments PRELCO, tant dans leur dimensionnement que dans le choix des matériaux, sera étudiée dans les prochains chapitres.

→ Plus de la moitié des émissions indirectes de la façade principale du projet de référence est due à l'isolant en polyuréthane. Le potentiel d'optimisation est important.

III. OPTIMISATION DE LA COMPOSITION DES ELEMENTS PREFABRIQUES

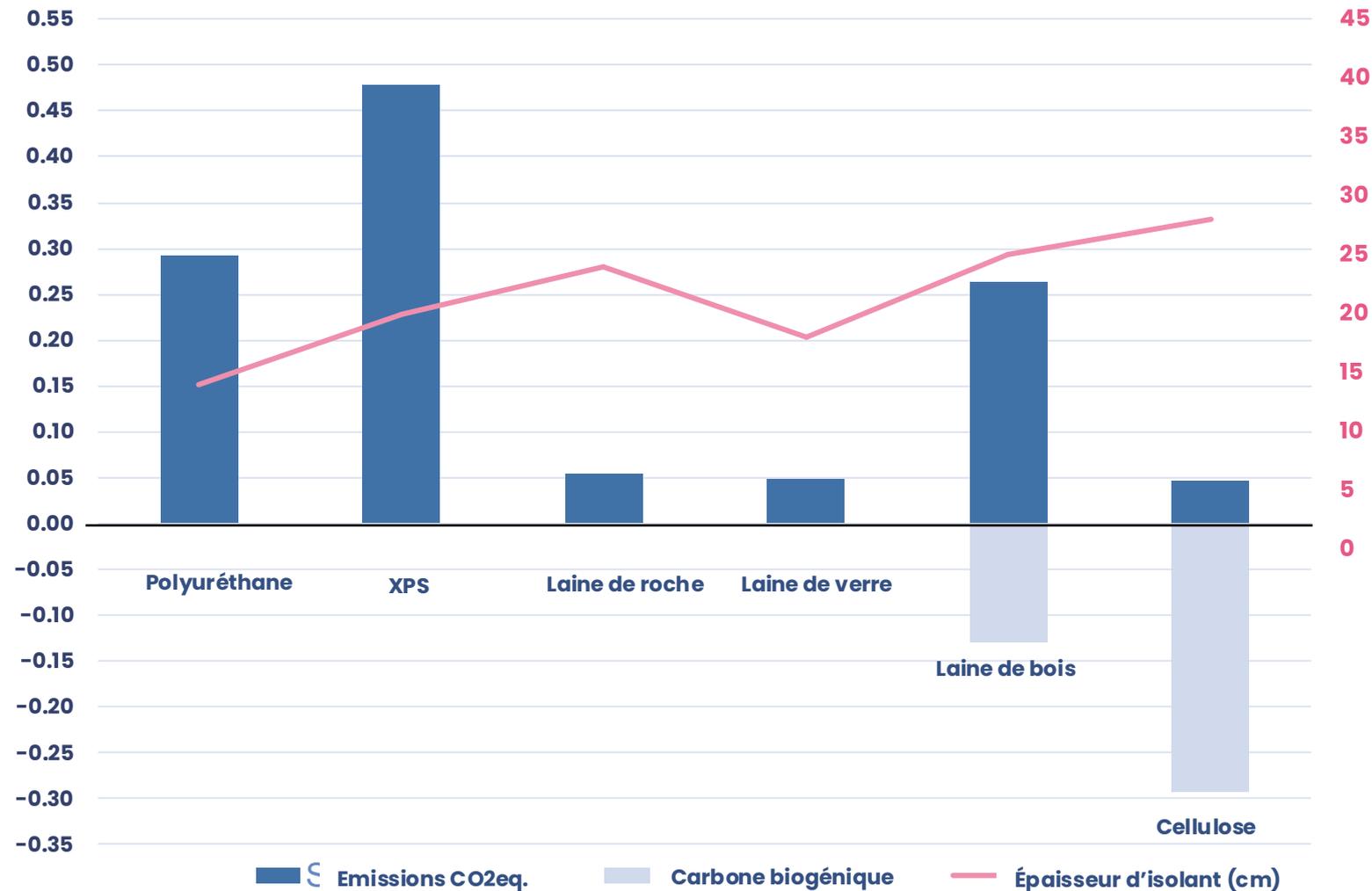


© Leo Fabrizio

1. Optimisation des types d'isolant
2. Optimisation des épaisseurs des isolants
3. Optimisation des recettes de béton
 - Ciment
 - Granulats
4. Optimisation des quantités de béton et d'armatures

1. Optimisation des types d'isolant

Variation de l'isolant de la façade PRELCO sur le bâtiment référence
($U=0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$)
 $\text{KgCO}_2/\text{m}^2\text{a}$



Le graphique à gauche compare les impacts carbone indirects de l'isolant principal des façades à U_{mur} équivalent. Les données utilisées dans le graphique proviennent des valeurs dites « industrie » de la KBOB.

Les industries ayant optimisé leurs processus de fabrication peuvent déclarer et certifier les émissions de CO_2 de leurs produits, et ainsi utiliser des valeurs inférieures aux valeurs par défaut de la KBOB. Les émissions des isolants sont comptées 2 fois sur 60 ans selon la SIA 2032. Le système PRELCO encapsule l'isolant entre deux couches de béton étanches, prolongeant la durée de vie de l'isolant jusqu'à celle de l'ensemble, ce qui réduit de moitié l'impact par défaut sur le graphique de gauche.

Il est important de souligner que le polyuréthane offre une grande résistance thermique avec des épaisseurs réduites, une facilité de mise en œuvre appréciées par les architectes et les techniciens. Sa résistance à la compression permet de l'intégrer facilement au processus de préfabrication. L'intégration de matériaux moins denses, tels que la cellulose, reste un défi.

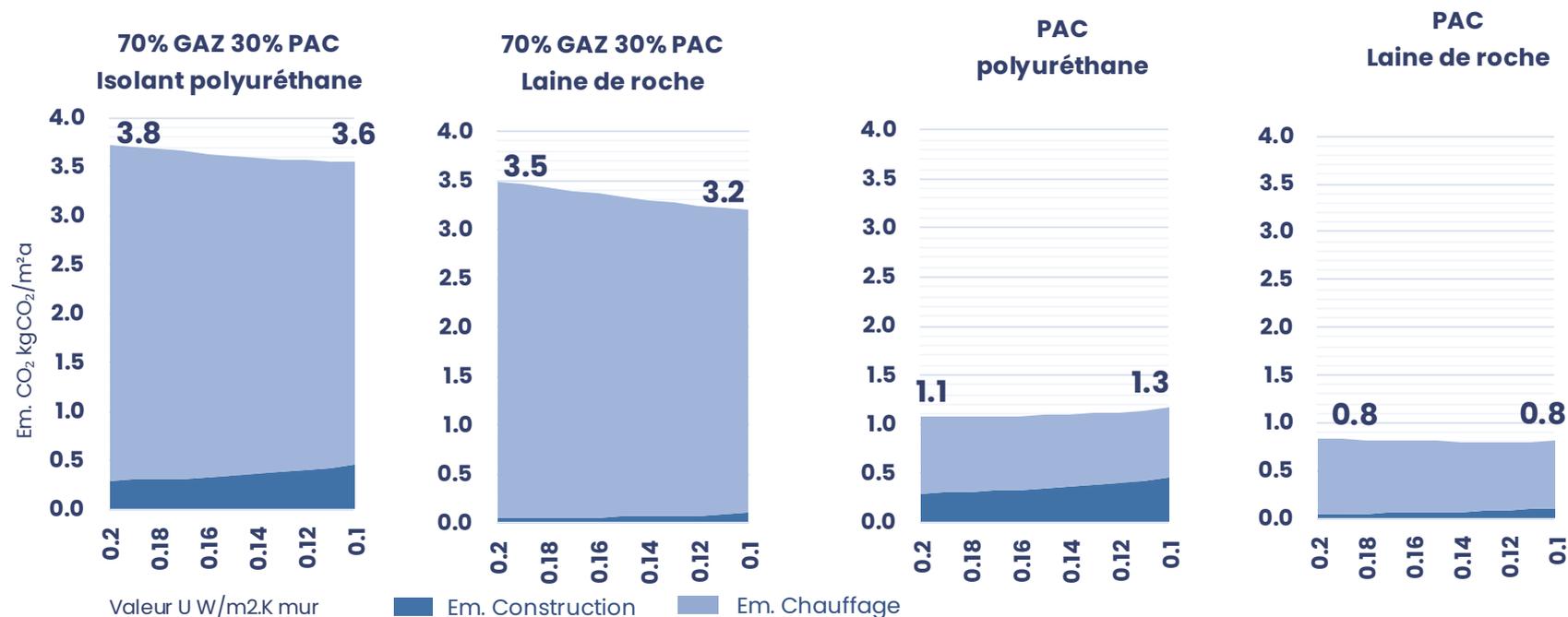
TYPÉ D'ISOLANT	Polyuréthane	Laine de roche	Laine de verre	Laine de bois	XPS
Épaisseur (cm) pour $U_{\text{mur}}=0.1$	20	36	32	38	32
Épaisseur (cm) $U_{\text{mur}}=0.15$	14	24	20	25	20
Épaisseur (cm) $U_{\text{mur}}=0.2$	10	18	18	19	18

Tableau comparatif des épaisseurs d'isolant en fonction du U de la façade

Étude de l'influence du type d'isolant sur les impacts du projet

→ Le choix de l'isolant dépend de ses performances thermiques, de sa résistance à la compression et au feu, mais aussi désormais de sa valeur environnementale.

2. Optimisation des épaisseurs des isolants



Étude de influence de l'épaisseur d'isolant et du type de vecteur énergétique sur les émissions carbone directes et indirectes du bâtiment de logement

Dans le bilan carbone d'un mur, considéré comme un élément constitutif de l'enveloppe thermique du bâtiment, il est important d'adopter une approche transversale entre les émissions de production des matériaux utilisés et les variations des émissions d'exploitation liées au chauffage que ces variantes engendrent.

Ci-dessus, des scénarios présentent des variations d'épaisseur et de nature de l'isolant en fonction du vecteur énergétique de chauffage.

Ces études permettent de comparer les réductions d'émissions directes, liées à la diminution des consommations d'énergie, avec les augmentations des quantités d'isolant.

Le scénario le plus efficace pour le bâtiment de référence, afin de limiter les émissions, est celui combinant une pompe à chaleur (PAC) et la laine de roche.

Cependant, pour ce dernier scénario, le taux de variation est particulièrement faible entre un $U = 0.1$ et un $U = 0.2$ ($\pm 0.06 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{a}$).

Il est intéressant de noter que l'utilisation d'un vecteur énergétique décarboné pourrait justifier la mise en place d'épaisseurs d'isolant plus faibles. Par exemple, dans le cas du polyuréthane associé à une pompe à chaleur (PAC), l'impact total le plus bas est obtenu avec une façade comportant 14 cm d'isolant ($U = 0.2$), soit environ $0.2 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{a}$ de moins qu'avec une façade de 22 cm d'isolant.

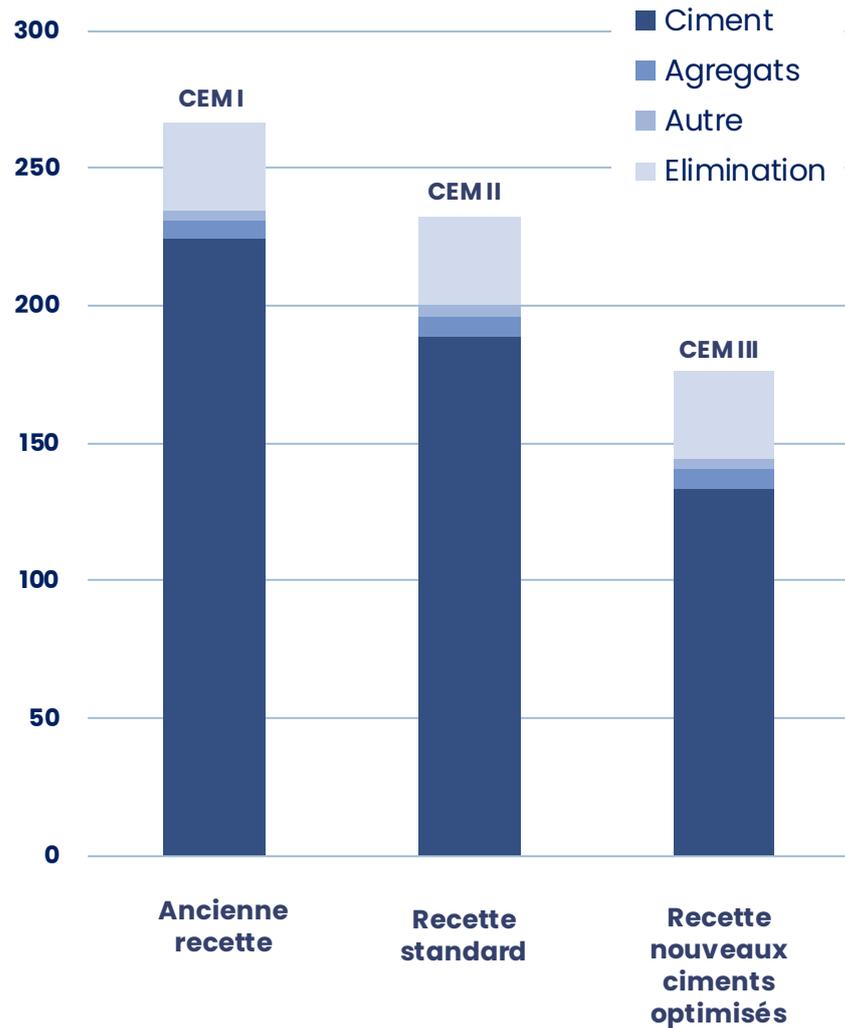
Cette observation incite à réaliser des études plus approfondies, au cas par cas, lors du choix de l'isolant, et à se tourner également vers d'autres indicateurs, tels que la disponibilité des ressources énergétiques et matérielles.

Point d'attention : L'industrie des isolants est l'une des industries où la compétitivité pour la réduction des émissions carbone des matériaux est la plus élevée. En effet, en augmentant le taux de matériaux recyclés et l'efficacité de production, les valeurs de CO_2 évoluent très fréquemment. Elles sont mises à jour et consultables sur la base de données KBOB.

→ Une valeur U trop performante n'améliore pas forcément le bilan carbone global. La valeur optimale dépend aussi du vecteur énergétique et de la performance globale du bâtiment.

3. Optimisation des recettes du béton - Ciment

Impact des différentes recettes de bétons
[kgCO₂/m³ de béton]



Étude des impacts par m³ de béton. (Calculateur béton KBOB 2022)

Le ciment est l'élément dont la production est la plus émettrice dans la composition du béton. 60 % des émissions du ciment sont réalisées lors du chauffage du calcaire pour produire le clinker et 40 % proviennent des combustibles utilisés dans les fours à ciment (AMCC 2022).

Les recettes PRELCO suivent de près les innovations des cimentiers et effectuent la transition vers des ciments avec un taux de clinker de plus en plus réduit et produits de manière plus écologique.

La recette standard PRELCO utilise le CEM II, une évolution qui permet une réduction de 13 % des émissions de CO₂ par m³ par rapport à un béton équivalent produit avec un CEM I.

Des ciments de plus en plus optimisés, notamment ceux incorporant du laitier de haut fourneau (ciment H-UKR), permettent de réduire significativement la part de clinker. Cependant, ces alternatives restent limitées.

D'autres formulations, telles que le ciment LC3 (à base d'argiles calcinées et de calcaire), développées notamment à l'EPFL, offrent des perspectives intéressantes et prometteuses.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des sites de production, couplée à l'usage d'énergies renouvelables, constitue également un levier important pour réduire les émissions de CO₂.

Cependant, les données par défaut actuelles de la base KBOB en Suisse – limitées à trois valeurs selon le type d'ouvrage – ne permettent pas de refléter les gains liés à ces optimisations. Les outils de calcul doivent évoluer afin de mieux intégrer et valoriser les variations de composition des bétons.



Usine de production de ciment H-UKR © Hoffmann

→ Environ 80% de l'impact carbone du béton est dû au ciment.

3. Optimisation des recettes du béton - Ciment

Le bâtiment de référence utilise le béton comme matériau principal de conception. Il est présent dans les façades préfabriquées, mais aussi dans les dalles, les parois contre terre du sous-sol, les cages d'escalier, ainsi que dans tous les murs porteurs coulés in situ aux étages. Lorsqu'il est possible, le béton est laissé dans son aspect brut, comme illustré sur les deux photographies ci-dessous. Cette esthétique est appréciée pour sa sobriété et constitue une solution valorisable dans le bilan carbone en limitant les revêtements supplémentaires.



© Vincent Jendly

- Façade du bâtiment de référence PRELCO

Dans le bâtiment de référence, l'impact des éléments en béton représente environ 2.6 kgCO₂/m²a sur les 8.6 kgCO₂/m²a du bâtiment. L'optimisation de la composition du béton est d'autant plus importante qu'il est omniprésent dans les éléments principaux du bâtiment et s'étend sur de très grandes surfaces : horizontales pour les dalles et verticales pour les façades et les murs porteurs intérieurs.

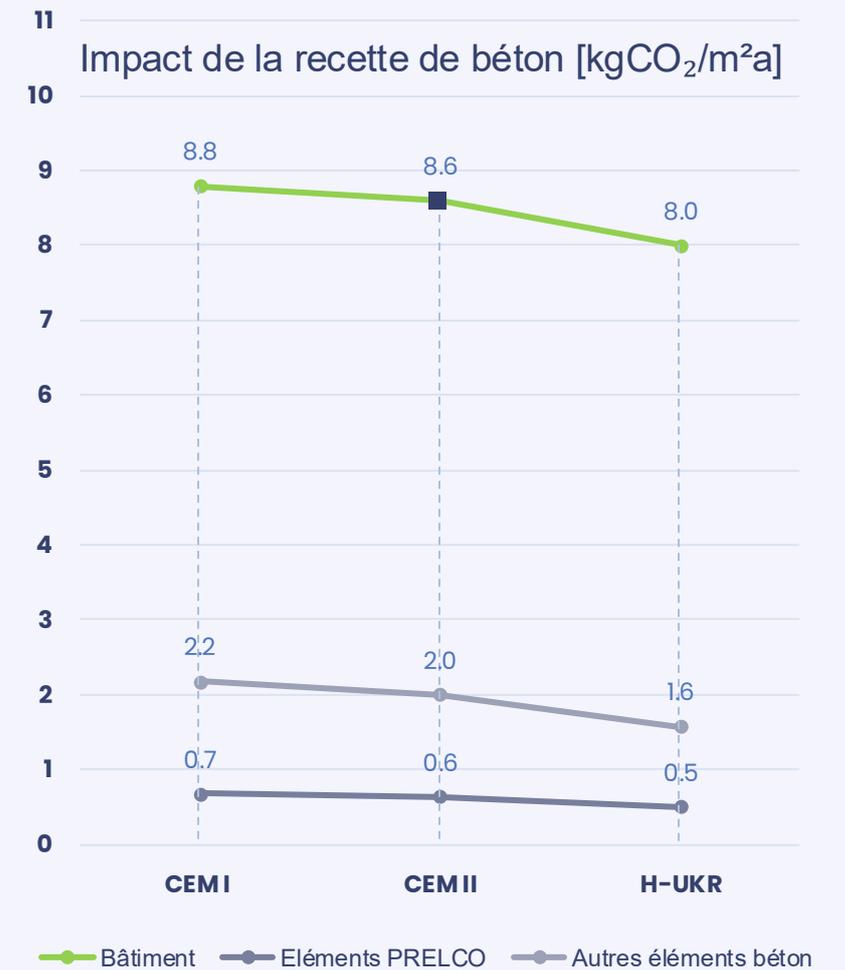
L'exemple de droite montre que substituer le CEM I par du CEM II ou par un ciment à base de laitier dans les formulations de béton permet de réduire



© Vincent Jendly

- Murs porteurs intérieurs et cage d'escalier en béton brut

Vers la valeur cible ambitieuse



-0.6 possible vers la valeur cible ambitieuse

- Étude de l'influence de la recette du béton sur les impacts du projet de référence

→ De petites optimisations sur le béton peuvent avoir de grands impacts sur le bâtiment.

3. Optimisation des recettes du béton - Granulats



© Philippe Weissbrodt

L'utilisation de granulats recyclés a un impact limité sur les résultats en termes d'émissions de CO₂ (page 19), mais elle contribue à la préservation des ressources géosourcées.

Une grande partie des granulats utilisés dans les recettes de PRELCO provient de sources de recyclage de proximité.

L'entreprise cherche à mettre en valeur l'esthétique de ce recyclage en intégrant différents matériaux revalorisés, tels que la pierre ou le verre, dans les parements de façades.

Leurs bonnes propriétés mécaniques permettent également de les utiliser dans la structure porteuse des éléments sandwich.

Le choix de granulats locaux limite les distances de transport.

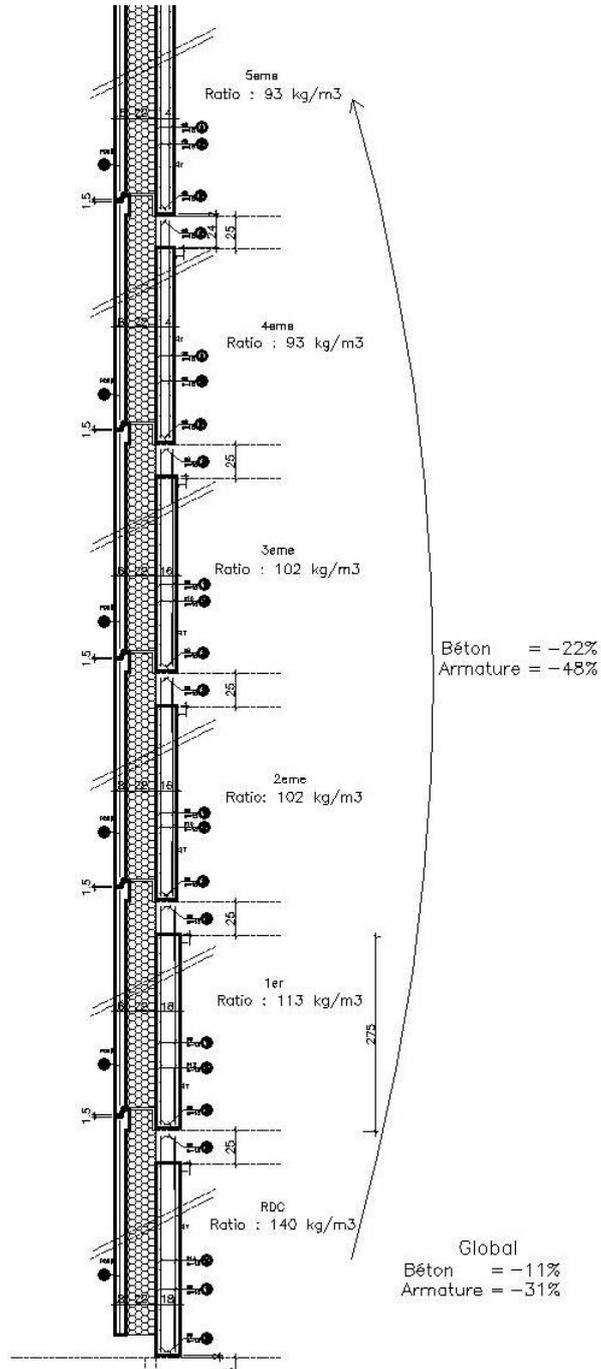


Par ailleurs, les surplus de béton produits en usine sont systématiquement reconditionnés sous forme de blocs non vibrés et non armés, puis acheminés vers une entreprise voisine de concassage, située dans la même zone industrielle.

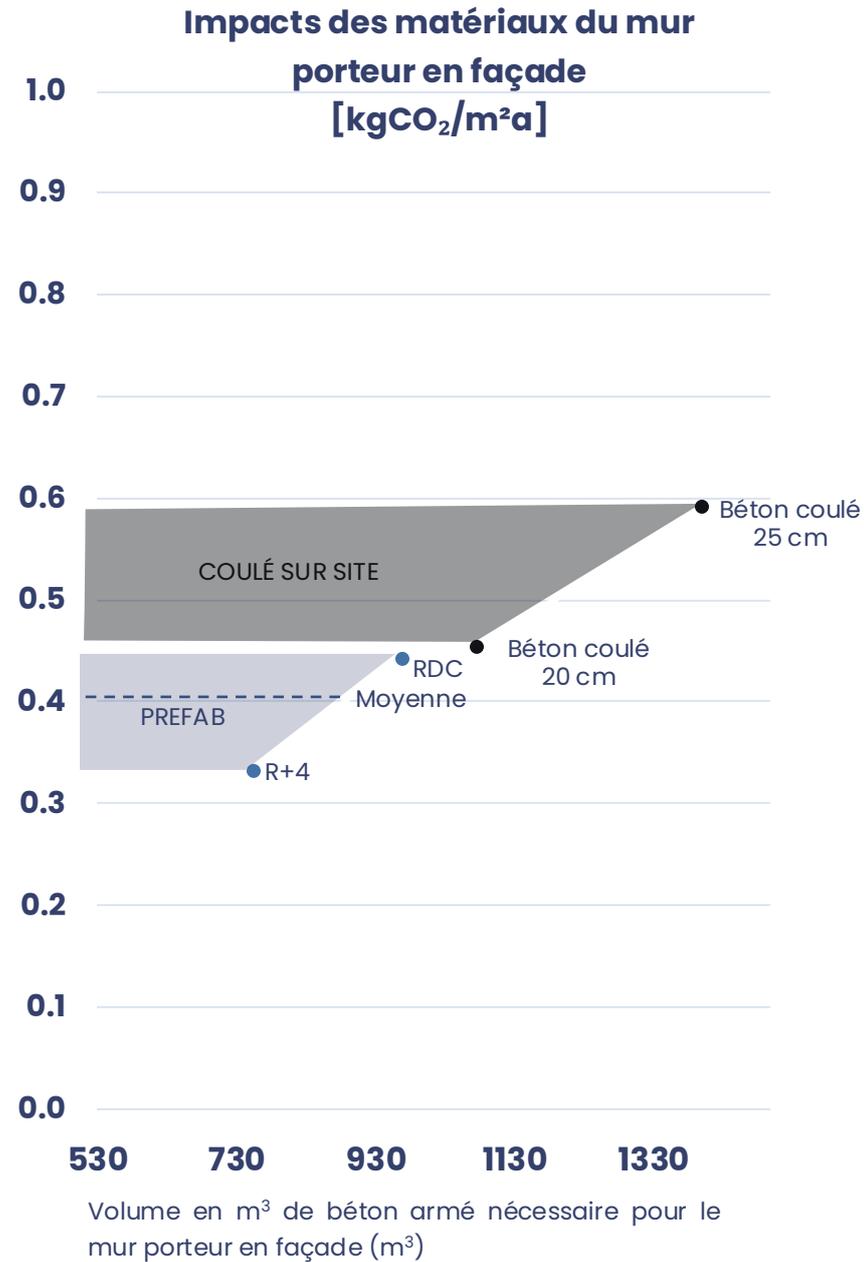
Le granulats recyclés issus de ce traitement est réutilisé par PRELCO dans ses productions, bouclant ainsi un cycle vertueux de recyclage local et limitant encore davantage l'extraction de ressources naturelles, ainsi que le transport de matériaux.

→ L'utilisation de granulats recyclés contribue à la préservation des ressources naturelles.

4. Optimisation des quantités de béton et d'armatures



Optimisation du taux d'armature et des épaisseurs de la façade porteuse PRELCO



Étude de l'influence de l'épaisseur et du taux d'armature du mur porteur en façade sur les impacts du projet de référence

La préfabrication permet une optimisation de la quantité des matériaux porteurs utilisés ainsi que des quantités de ciment consommées à l'échelle du bâtiment.

L'exemple d'une façade préfabriquée PRELCO a permis de passer d'un mur porteur de soubassement de 18 cm avec un taux d'armature de 140 kg/m³ à un mur de 14 cm avec 93 kg/m³ sur les derniers étages du bâtiment (contre un mur coulé sur place par défaut de 20 cm ou plus).

Le graphique compare les émissions du sous-lot murs porteurs en façade. En prenant en compte la réduction de l'épaisseur et du taux d'armature des murs en fonction des niveaux, la valeur moyenne d'impact du mur porteur préfabriqué est de 0.40 kgCO₂/m²a.

La préfabrication permet des optimisations capables de réduire les émissions CO₂ du bâtiment de référence d'environ -0.20 kgCO₂/m²a par rapport à un mur en béton coulé sur place.

→ L'optimisation des quantités de béton et d'armature de la façade préfabriquée la rend plus performante que la façade en béton coulé sur place.

IV. AVANTAGES ET AUTRES LEVIERS D'AMELIORATION DES ELEMENTS PREFABRIQUES



© Leo Fabrizio



© Leo Fabrizio

1. Durée de vie
2. Réduction de l'empreinte carbone
3. Développement durable et économie circulaire
4. Explorations en cours

1. Durée de vie



© archives PRELCO

La durée de vie du béton est un atout important dans les écobilans. En effet, d'après la SIA 2032, une façade en béton préfabriqué possède une durée de 60 ans, deux fois supérieure à celle d'une façade ventilée en bois ou d'autres façades légères telles qu'une façade rideau métallique.

Dans les faits, la qualité du béton préfabriqué en Suisse présente une durabilité qui va bien au-delà de ces valeurs de référence : L'analyse de bâtiments construits dans les années 1960-1970 montre que la durée de vie de la façade en béton est au moins le double des 40 ans de la façade ventilée selon la KBOB

Enfin, PRELCO possède une expertise accrue dans les travaux de maintenance qui permet de conserver le béton sur site et d'allonger encore sa durée de vie.

Aujourd'hui, le démontage des éléments en béton répond davantage à des logiques de requalification urbaine ou à l'adaptation aux nouvelles exigences thermiques, plutôt qu'à des nécessités techniques liées à l'état du matériau. Dès lors, un enjeu central réside dans la préservation, la réhabilitation ou le réemploi de ces volumes importants de béton.

→ Des exemples réels attestent de la durabilité des façades préfabriquées, ce qui participe à la réduction de l'empreinte carbone.

2. Réduction de l'empreinte carbone



Pose d'une façade préfabriquée

Un atout majeur de la façade en béton réside dans la simplicité du système, capable de répondre à la fois aux contraintes structurelles, acoustiques et de sécurité incendie. Dans les écobilans des façades légères, de nombreuses couches de Fermacell pour la résistance au feu, des tirants pour le contreventement, et des quantités d'acier inoxydable pour les fixations représentent une part importante des émissions. Ces éléments sont souvent oubliés, car ils sont encore mal intégrés dans les logiciels de base disponibles pour les écobilans.

La simplicité du système en béton permet de réduire le nombre d'éléments nécessaires et de les optimiser efficacement, sans compromettre les performances ni impacter négativement d'autres lots.



Encadrement et caisson de store intégrés

Au contraire, la façade préfabriquée vise, par sa sobriété, à influencer positivement la conception des systèmes constructifs des autres lots.

Elle permet l'intégration ou le remplacement d'éléments à fort impact carbone dans le système de façade, réduisant ainsi l'impact des autres lots et sous-lots transversaux. Cette réflexion intégrée limite les pièces ajoutées, les liaisons complexes entre les différents éléments de façade, ainsi que les pièces d'attache, souvent métalliques.

Par exemple, la réflexion autour de l'intégration des fenêtres dans la façade préfabriquée permet d'incorporer directement dans le parement les éléments de tablette et d'embrasures, ainsi que la niche du caisson de store.



Module avec panneau photovoltaïque intégré

De plus, ces éléments en béton offrent une durée de vie supérieure à celle des autres matériaux

Comme étudié à la page 35, l'impact des installations techniques n'est pas non plus négligeable et reste encore sous-estimé.

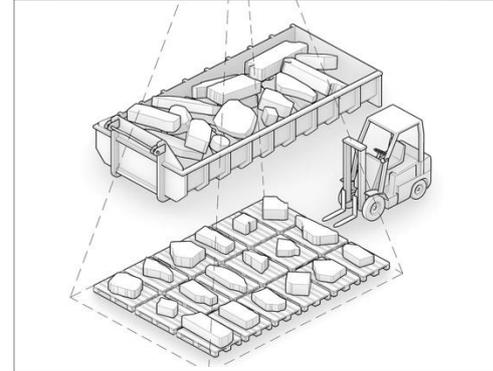
Dans une démarche d'intégration et de sobriété, les modules PRELCO en développement permettraient d'intégrer des panneaux solaires directement en façade, sans ajout de sous-structure. Cette approche limiterait l'utilisation de pièces métalliques complexes pour le support des panneaux.

→ Intégration des fonctions : simplicité et sobriété.

3. Développement durable et économie circulaire



© Leo Fabrizio



© Maxence Grangeot

La préfabrication d'éléments sandwich en usine présente des avantages notables tant sur le plan écologique, qu'économique et social.

- Elle permet une gestion optimisée des ressources grâce à l'utilisation de matériaux durables tels que des ciments bas-carbone et des granulats locaux et/ou recyclés.
- Le processus industriel assure la maîtrise de la qualité des éléments répondant aux besoins d'un projet ainsi qu'aux différentes normes en vigueur, tout en offrant la possibilité de réduire les épaisseurs de béton et la quantité d'acier nécessaires.
- La gestion des déchets ainsi que leur recyclage sont facilités grâce à la mutualisation des matériaux de plusieurs chantiers.
- La préfabrication permet une réduction des coûts grâce à une production en série plus contrôlée, tout en réduisant les délais de chantier. L'intégration en usine des détails architecturaux et d'étanchéité diminue en outre les besoins d'interventions sur site et les équipements complémentaires
- L'isolation encapsulée dans le béton assure la pérennité des éléments réduisant les besoins de maintenance.
- La proximité du site de production avec les zones urbaines réduit les émissions liées au transport et les coûts logistiques.
- Située en zone industrielle, la production bénéficie d'un approvisionnement local grâce à la présence de gisements de proximité. Cette implantation permet également de s'appuyer sur une capacité de recyclage performante, à la fois sur site et via les infrastructures environnantes. L'organisation industrielle ainsi mise en place favorise les circuits courts et l'économie circulaire, limite les transports et contribue significativement à la réduction de l'empreinte carbone.
- PRELCO offre également des conditions de travail améliorées, ergonomiquement plus adaptées et à l'abri des intempéries. Les travailleurs bénéficient des avantages offerts par la convention nationale du bâtiment, avec par exemple, une retraite anticipée à 60 ans.

→ La préfabrication répond aux 3 piliers du développement durable : économique, social et environnemental.

4. Explorations en cours



Cylindres de béton armé testés avec du LC3

PRELCO expérimente des formulations utilisant les derniers ciments bas-carbone, notamment le ciment LC3 (Limestone Calcined Clay Cement). Celui-ci, développé à l'EPFL, combine calcaire et argile calcinée, permettant une réduction significative de l'empreinte carbone par rapport au ciment Portland traditionnel. Ce ciment vise à remplacer le clinker, responsable de plus de 60 % des émissions de CO₂ liées au ciment, en s'appuyant sur des matériaux accessibles et des processus de production moins énergivores. PRELCO s'intéresse particulièrement au maintien des performances mécaniques et de la durabilité des bétons issus de ces nouvelles formulations.

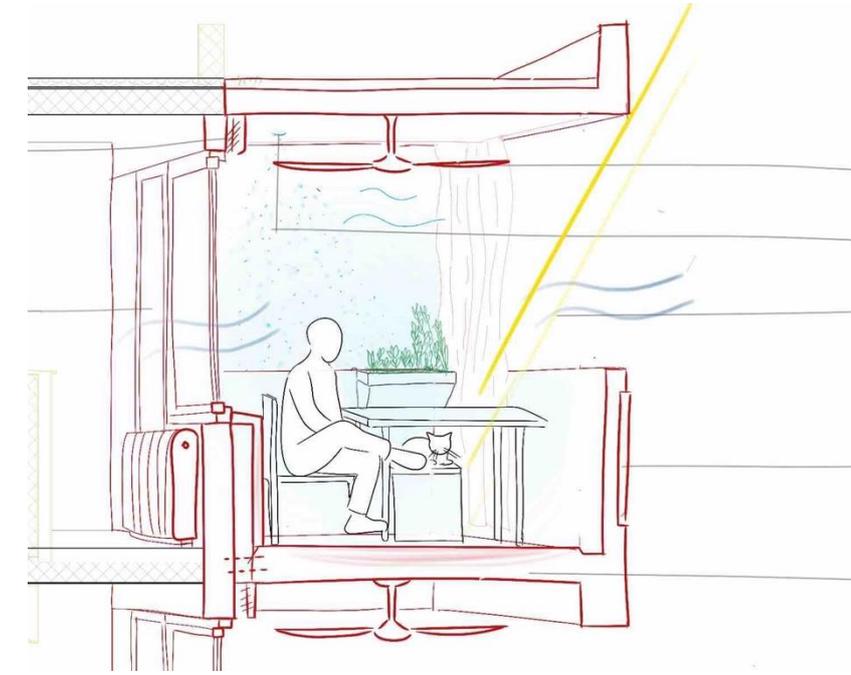
Pour les aciers d'armature, les fournisseurs proposant des aciers avec un fort taux de recyclage sont priorités.



Remploi de dalles sciées sur chantier

Face à l'intérêt croissant pour le réemploi, notamment des dalles – éléments à l'empreinte carbone la plus importante – PRELCO se positionne comme un acteur de cette filière et mène plusieurs recherches avec les milieux académiques.

Grâce à ses importantes capacités de stockage, le site industriel est en mesure d'accueillir ces composants en attente de réutilisation. Parallèlement, des solutions techniques sont développées afin de concevoir et garantir des structures porteuses assurant stabilité et sécurité pour les projets intégrant ces dalles issues du réemploi.



Balcon bioclimatique

Les qualités thermiques du béton peuvent également contribuer au bien-être des habitants, notamment à travers le développement d'un concept de balcon bioclimatique. Il est possible d'intégrer des solutions de refroidissement naturel à un balcon préfabriqué en béton, conçu pour offrir un refuge climatique face au réchauffement des températures. Ce balcon pourrait être fixé à des bâtiments existants lors de rénovations et intégrer une partie des dalles issues du réemploi.

→ PRELCO continue d'explorer des pistes d'optimisation pour ses produits, tout en proposant des solutions pour l'ensemble du bâtiment.



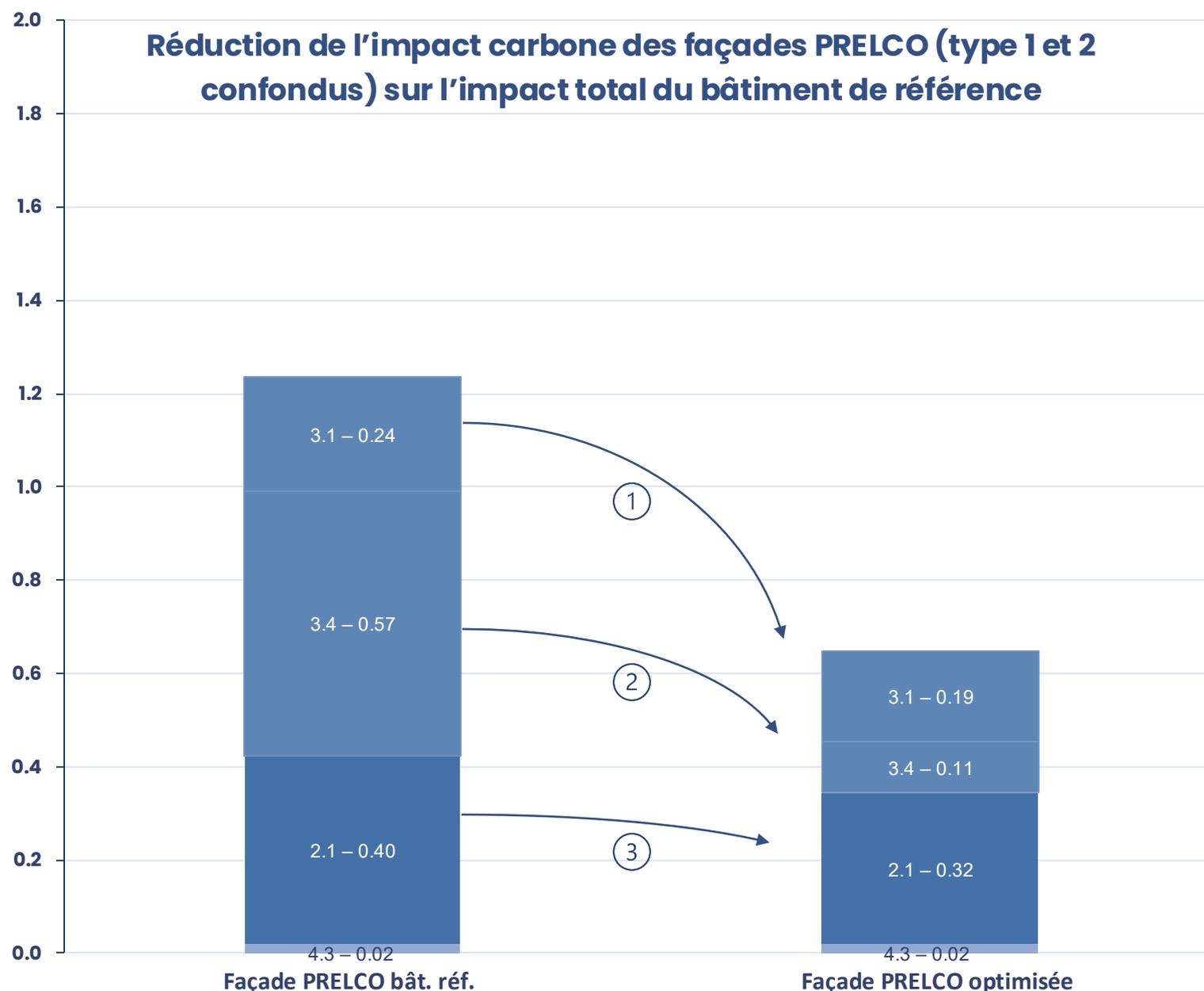
© Leo Fabrizio

1. Bilan du système PRELCO optimisé
 - a) Variante de façade PRELCO optimisée
 - b) Comparaison avec d'autres systèmes constructifs

2. Études complémentaires des pistes d'optimisation
 - a) Volume et facteur de forme
 - b) Impact des sous-sols
 - c) Réflexion sur la surface vitrée
 - d) Optimisation des dalles d'étage
 - e) Impact des installations techniques

1. Bilan du système PRELCO optimisé

a) Variante de façade PRELCO optimisée



Les optimisations apportées à la façade du bâtiment de référence dans cette étude permettent une réduction de moitié du système PRELCO par rapport à la modélisation par défaut et une réduction de $-0.6 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{a}$ des émissions totales du bâtiment.

Récapitulatif des optimisations :

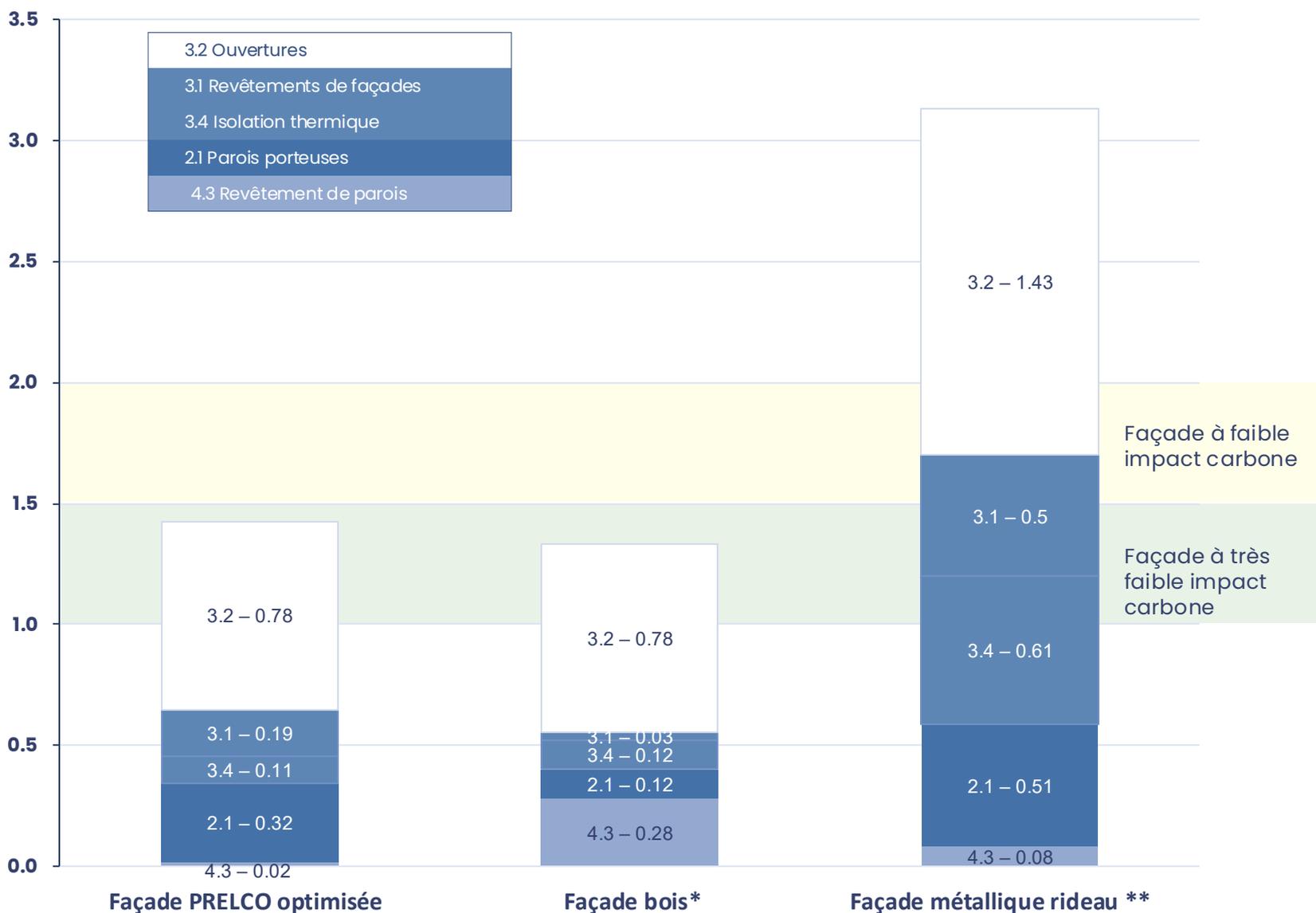
- ① Revêtement de façade : Réduction des épaisseurs ainsi que remplacement du ciment classique par du ciment bas carbone.
- ② Isolation thermique : Remplacement de l'isolant PU par de la laine de roche, optimisation de l'épaisseur en fonction du vecteur énergétique du projet et allongement de la durée de vie à celle du reste du système de panneau sandwich (60 ans) grâce à l'encapsulation dans le béton.
- ③ Paroi porteuse : Réduction des épaisseurs et du taux d'armature ainsi que remplacement du ciment classique par du ciment bas carbone.

3.1 Revêtements de façades
3.4 Isolation thermique
2.1 Parois porteuses
4.3 Revêtement intérieur

→ Optimisation des quantités (70%) X Optimisation des matériaux (70%) = -50% des impacts de la façade de référence.

1. Bilan du système PRELCO optimisé

b) Comparaison avec d'autres systèmes constructifs



*Bardage ventilé en bois, lattage et contre lattage/ventilation, papier vent sur panneau pluie 3.5cm, Isolation en laine minérale RF1 27cm, panneau OSB 2.7cm, laine minéral/ vide technique 6cm, placoplâtre x 2 2.5cm. Poteau béton armé porteur 25cm tous les 3.70m de portée.

**Revêtement aluminium 3 mm, pare pluie, Isolant PIR 22 cm, Poteau acier HEB, Pare-vapeur aluminium, placo-plâtre x 2 2.5cm.

Les optimisations apportées à la façade, qu'il s'agisse des épaisseurs, du taux d'armature ou des recettes de béton et d'isolant, permettent une réduction des émissions totales du bâtiment de **0.6 kgCO₂/m²a**.

Cette optimisation révèle l'impact significatif des parties vitrées, question approfondie page 33. Une différence mineure est observée par rapport à une façade en bois ventilée simulée sur le même bâtiment. Les impacts de la façade bois sont répartis différemment, avec une part plus importante liée aux revêtements intérieurs et extérieurs (par exemple les couches de Fermacell pour répondre aux normes incendie).

La durée de vie selon la SIA 2032 de cette façade ventilée est aussi inférieure à celle en béton, ce qui augmente son bilan carbone.

La partie structurelle en bois pourrait encore augmenter dans ce calcul, car il faudrait dimensionner et intégrer les câbles de contreventement, les attaches, les embrasures et tablettes métalliques... Cela nécessiterait des études supplémentaires.

La façade rideau, par son utilisation de matériaux à fort impact carbone lorsqu'ils ne sont pas issus de sources recyclées, présente des émissions bien supérieures aux deux autres façades. Les façades métallique et bois, sélectionnées par défaut dans des projets existants, sont également optimisables.

→ Les impacts d'une façade en béton optimisée sont comparables à ceux d'une façade en bois, l'utilisation bois en façade étant limitée par ses performances de résistance incendie et sa durée de vie.

2. Études complémentaires des pistes d'optimisation

a) Volume et facteur de forme



Le facteur de forme est défini par le rapport entre la surface de l'enveloppe thermique et la surface de référence énergétique.

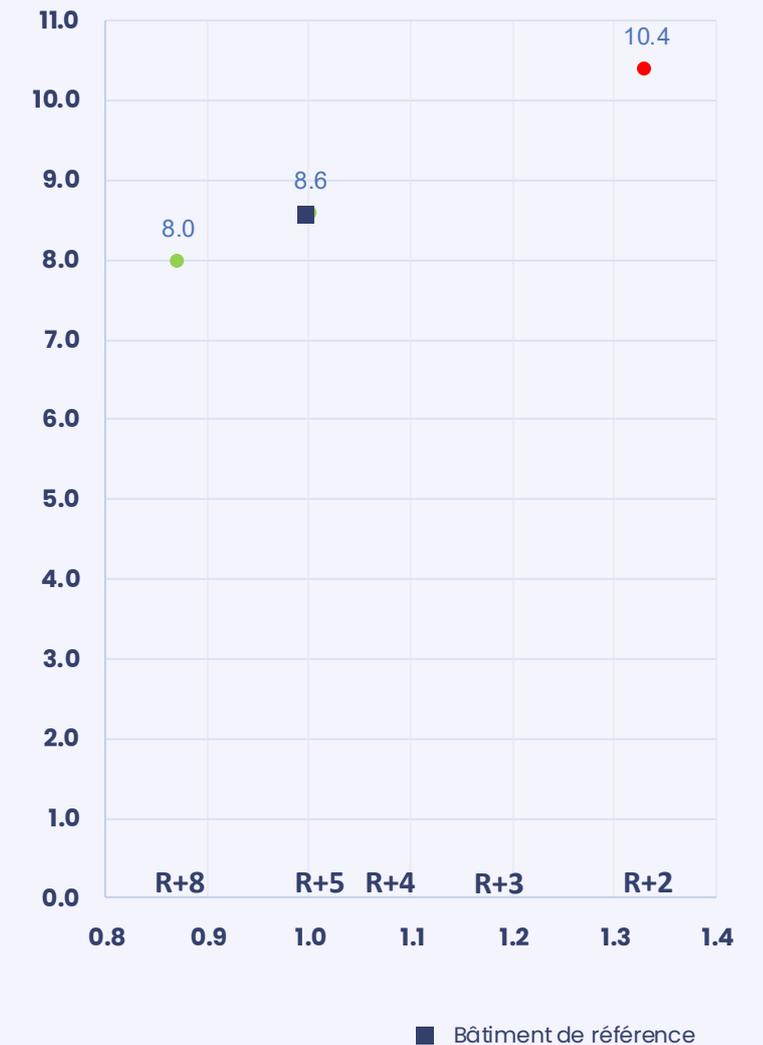
Pour une même surface d'emprise au sol et une surface de planchers équivalente, un bâtiment avec peu d'étages présente un rapport matériaux/surface habitable moins favorable qu'un bâtiment plus compact. En effet, un bâtiment compact permet de mieux répartir les impacts liés à la toiture, à la dalle et aux espaces communs non chauffés sur une plus grande surface habitable, diluant ainsi ces impacts.

Si le même bâtiment était construit avec seulement deux niveaux, ses impacts dépasseraient largement la valeur cible de base de 9 kgCO₂. De même, une réduction de près de 10 % est possible si l'on ajoute trois niveaux au bâtiment. (Ce rapport peut être altéré par l'ajout de renforts structurels ou l'ajout de matériaux liés à d'autres normes de sécurité.)

Variation du facteur de forme par le nombre d'étage

Vers la valeur cible ambitieuse

Emission liée au facteur de forme [kgCO₂/m²a]



Étude de l'influence du facteur de sur les impacts du projet de référence.

→ Il est plus difficile de construire bas carbone avec des bâtiments de faible hauteur.

2. Études complémentaires des pistes d'optimisation

b) Impact des sous-sols



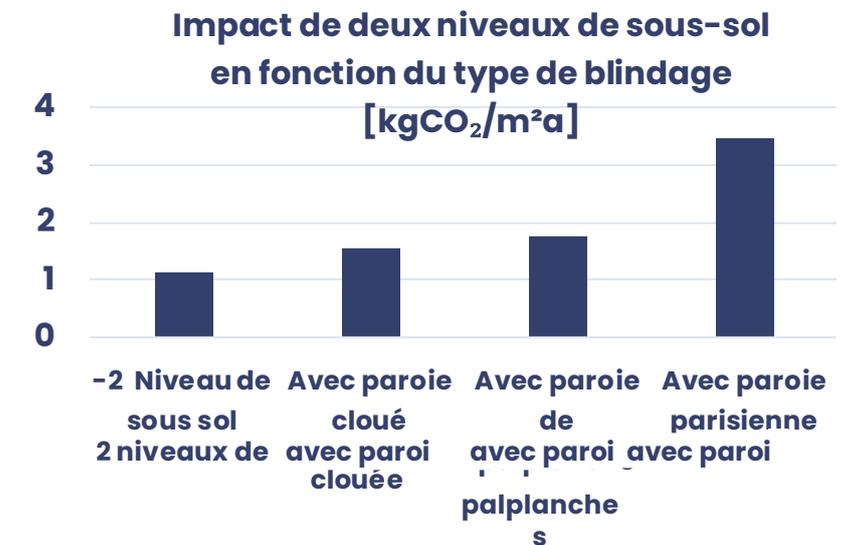
© Hanteq Ancrage

Les choix de conception en amont du projet impactent grandement le bilan carbone du bâtiment. Des discussions autour des surfaces nécessaires au projet, de son volume et de sa compacité peuvent radicalement modifier les possibilités d'atteindre les objectifs carbone du bâtiment.

Le cas de référence de l'étude a été simulé avec un étage de sous-sol, choix sobre pour un bâtiment de 5 étages, et de logements inspirés du

bâtiment réel. Le lot souterrain représente $0.59 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{a}$, soit 7% des émissions totales de construction du bâtiment.

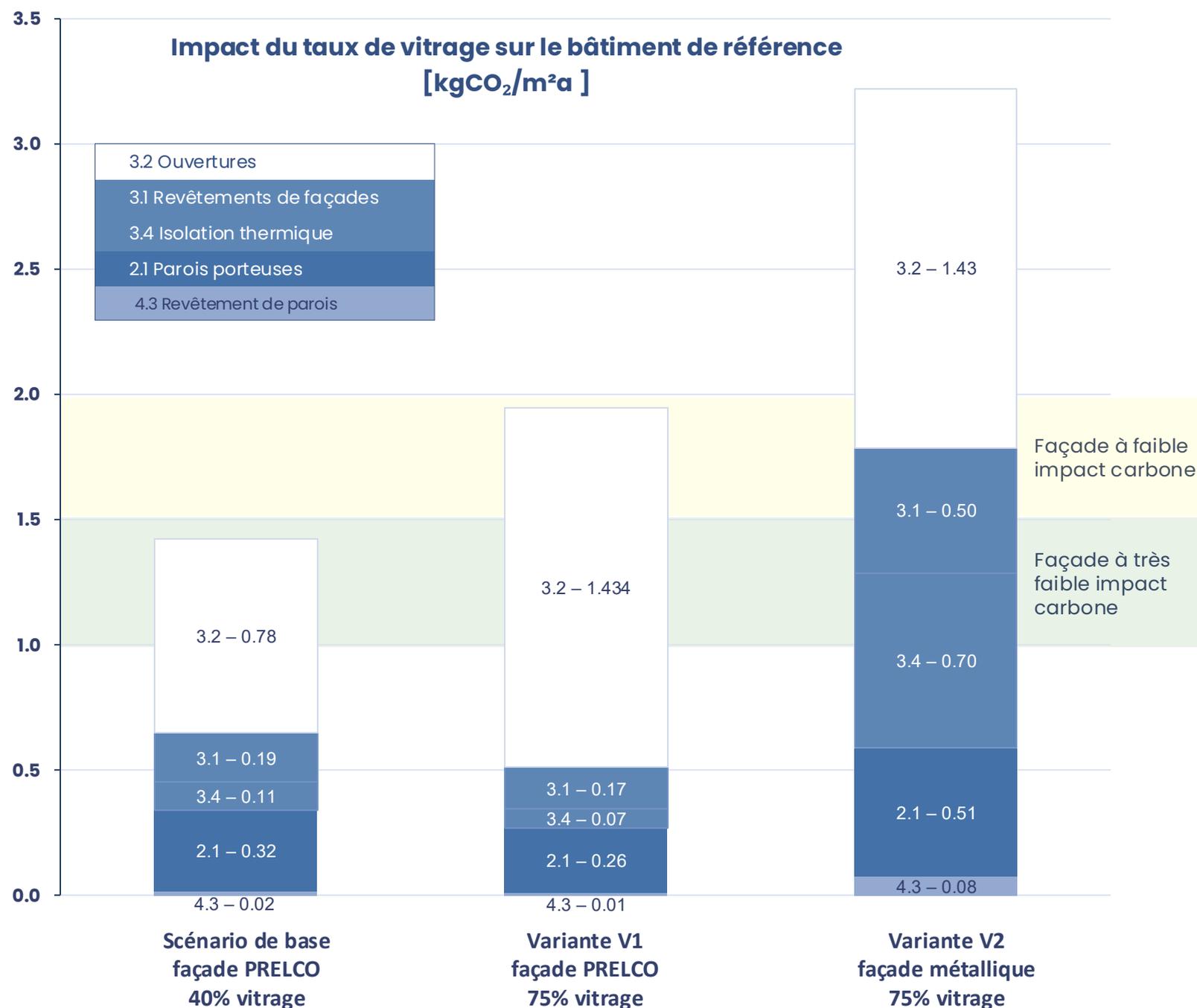
En supprimant le sous-sol, le bâtiment atteint les $7.9 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{a}$. Comme l'illustre le graphique ci-dessous, l'ajout de deux niveaux de sous-sol augmente au minimum le bilan carbone de $1 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{a}$.



→ Le choix du nombre de sous-sols et le type de travaux de génie civil auront un impact déterminant.

2. Etudes complémentaires sur l'ensemble du bâtiment

c) Réflexion sur la surface vitrée



Le triple vitrage du bâtiment de référence a un impact significatif sur le bilan carbone du bâtiment

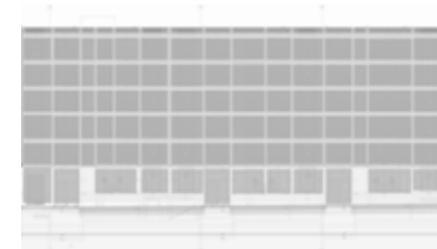
(0.78 kgCO₂/m²a), en raison des trois couches de verre superposées et de leur production énergivore. Dans le scénario avec une façade optimisée PRELCO, les impacts liés à la partie pleine représentent 45 % des émissions de CO₂ de la façade, tout en occupant 75 % de sa surface.

La variante 1 fictive permet d'augmenter la surface vitrée en supposant que les façades longitudinales principales sont presque entièrement vitrées. Avec 36 % de vitrage réparti sur les quatre façades, la part des impacts carbone des surfaces vitrées s'élève alors à plus de 55 % des impacts de la façade.

Enfin, les façades rideaux nécessitent généralement des éléments pleins plus compacts, souvent en métal, combinés à des isolants très efficaces. La variante 2 illustre l'impact d'une façade rideau métallique sur le bâtiment, sans intégrer d'hypothèses concernant le taux de recyclage de l'aluminium utilisé pour la façade aluminium ou l'acier pour les poteaux.



Scénario de base
40% de vitrage

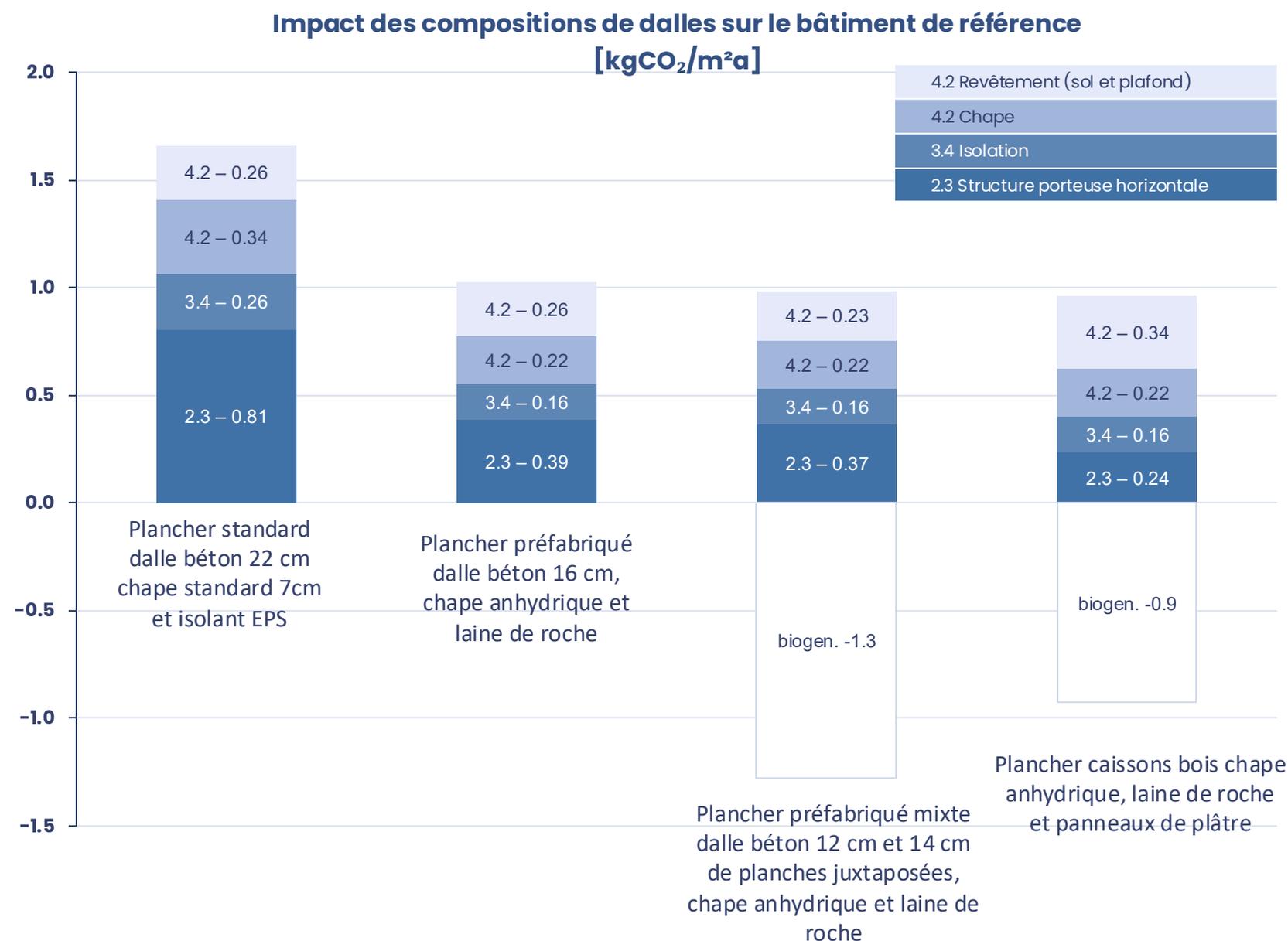


Variante
75% de vitrage

→ L'impact important des surfaces vitrées est lié à l'optimisation d'éléments de plus en plus fins, devant être extrêmement efficaces et nécessitant des procédés industriels encore très émissifs.

2. Etudes complémentaires sur l'ensemble du bâtiment

d) Optimisation des dalles d'étage



Dans le graphique à gauche, nous nous sommes inspirés des compositions décrites dans l'article "The Carbon Impact of Buildings' Slabs : Hotspots, Challenges, and Opportunities," pour estimer les réductions de carbone liés à la variation de l'épaisseur des dalles (à performance acoustiques et structurelles identiques).

Concernant le lot structure, l'optimisation des épaisseurs de dalle est cruciale, notamment dans le cas des dalles minces préfabriquées simulées dans notre étude avec 16 cm d'épaisseur et pouvant être réduites à 8 cm (études en cours). L'optimisation de la chape, en utilisant des chapes plus fines et anhydrides, permet une réduction globale de -0.12 kgCO₂/m²a. Les planchers en bois ou mixtes sont actuellement les structures les moins émissifs en carbone, mais attention aux couches d'isolation et de coupe-feu importantes, qui peuvent augmenter le coût carbone du lot des revêtements intérieurs.



Dalles préfabriquées nervurées

→ Les dalles sont les éléments couvrant les plus grandes surfaces du bâtiment et ayant les impacts les plus importants. La réduction d'épaisseur de la dalle préfabriquée, nervurée ou voutée, est source d'optimisation.

2. Etudes complémentaires sur l'ensemble du bâtiment

e) Impact des installations techniques

Le calcul de l'impact environnemental des installations, actuellement effectué de manière forfaitaire par les logiciels d'écobilan, manque d'exhaustivité et entraîne une sous-estimation de leur impact réel. Dans notre bâtiment de référence, ces installations représentent 20 % des impacts totaux.

Cependant, il reste pertinent de simuler et de comparer les améliorations possibles en fonction des choix directeurs concernant les installations techniques.

Dans un premier temps, le bâtiment de base est simulé avec une ventilation double flux, qui nécessite une grande quantité de mètres linéaires de conduits et des installations techniques complexes.

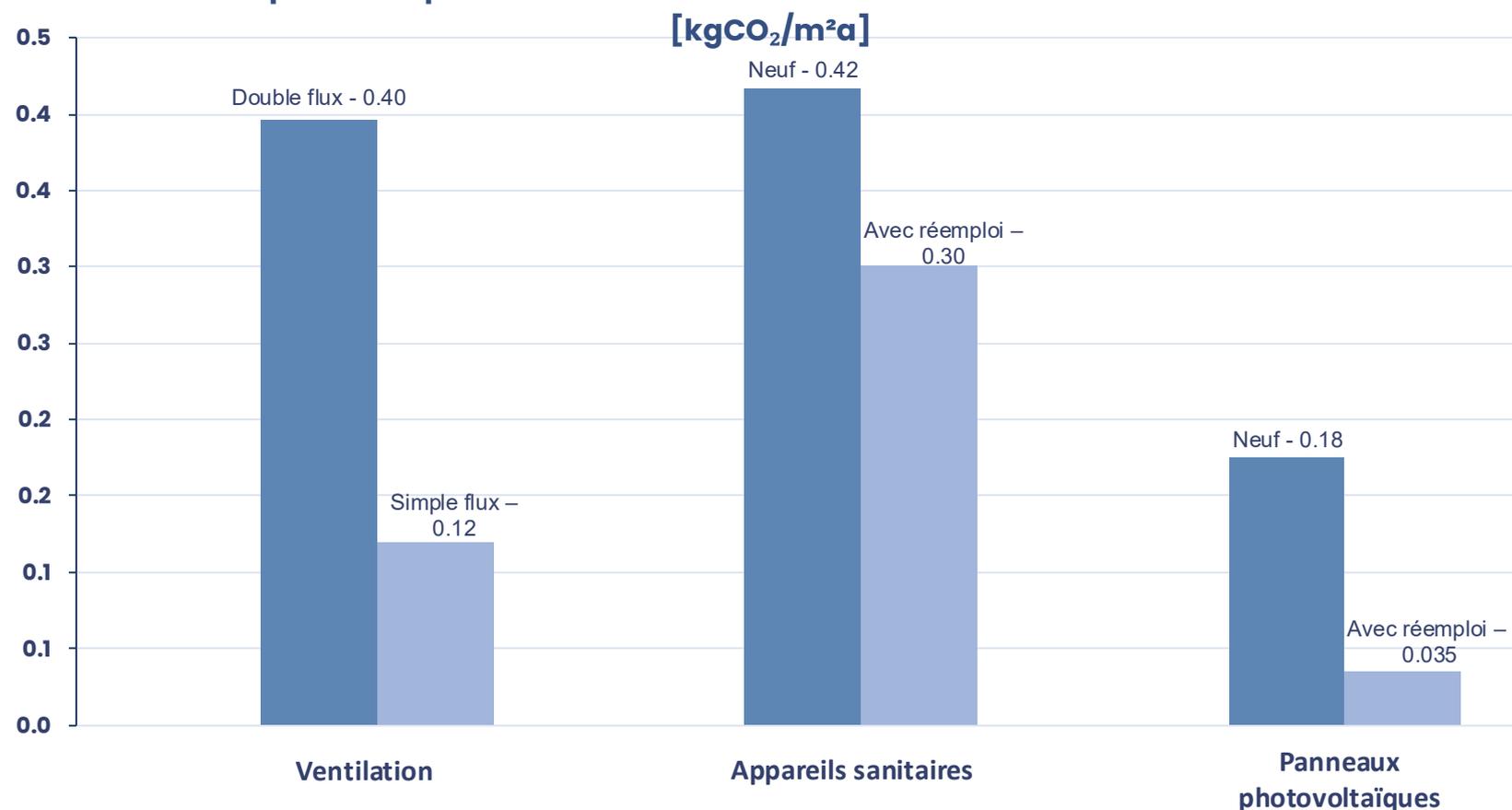
Si nous simulons le même bâtiment avec une ventilation simple flux (avec uniquement des bouches d'extraction en cuisine et dans les WC), nous observons une diminution des impacts du système de ventilation de 70 %, comme illustré ci-dessous.

L'utilisation de matériaux de réemploi, encore peu développée dans les bâtiments actuels, offre un fort potentiel de réduction de l'impact carbone, comme illustré dans le graphique. Selon la SIA 2032, les émissions d'un matériau de réemploi représentent environ 20 % de celles du même élément produit à neuf, en incluant le reconditionnement et le transport.

Dans le lot sanitaire, les éléments en céramique (toilettes, douches) ont un impact carbone élevé, mais des filières de réemploi existent déjà, avec certains fournisseurs spécialisés.

Un exemple récent : ESTIA a réutilisé des panneaux photovoltaïques d'une centrale souhaitant les remplacer par des modèles plus performants. Ces panneaux, encore adaptés, ont été intégrés dans un autre projet, réduisant ainsi l'impact carbone et encourageant une filière circulaire vertueuse.

Impact des optimisations des installations sur le bâtiment de référence



© Hatim Kaghat

Ressourcerie : réemploi matériel sanitaire

→ Installations techniques : il existe des pistes d'optimisation vertueuses vers la sobriété et le réemploi des installations.

VI. CONCLUSION



© Leo Fabrizio

1. Axes d'optimisation bas carbone
PRELCO
2. Atteindre la valeur cible ambitieuse
avec la façade préfabriquée

1. Axe d'optimisation bas carbone PRELCO

Cette étude a permis de mettre en avant une série d'indicateurs pour évaluer la teneur en carbone des différents modules PRELCO. Le radar situé à droite offrira la possibilité de positionner et d'ajuster différents curseurs de réduction carbone en fonction des spécificités du projet.

Selon l'étude menée sur le bâtiment de référence, inspiré d'un cas réel, les indicateurs offrant les plus grandes possibilités de réduction des émissions de carbone des éléments PRELCO concernaient :

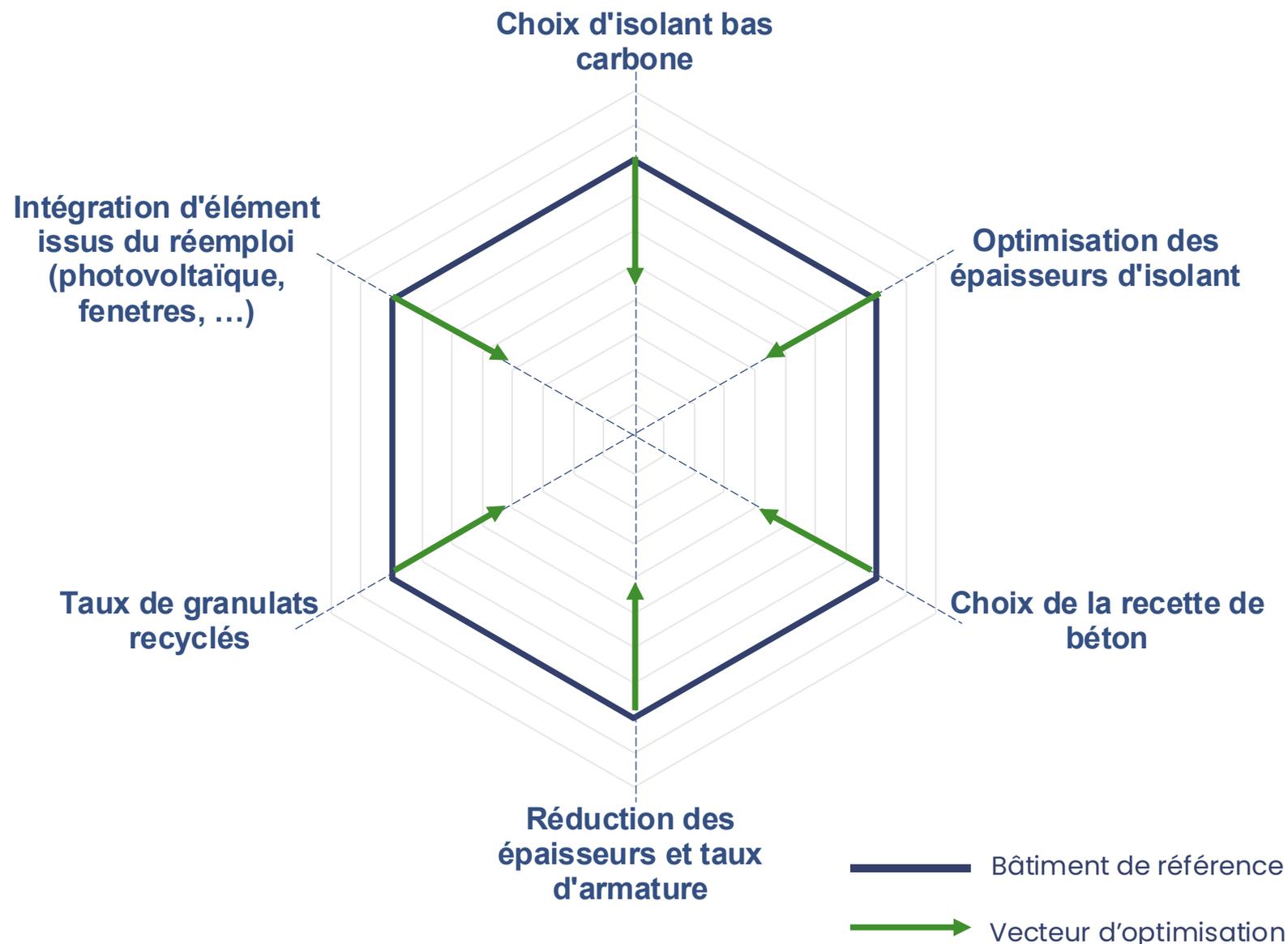
- Le choix des matériaux pour les isolants.
- Les quantités d'isolants utilisées.
- Les formulations de béton.
- Les épaisseurs de béton armé utilisées et leur taux d'armature.

L'étude met également en avant l'utilisation de matériaux recyclés. Bien que les granulats recyclés offrent des gains carbone moins significatifs, leur emploi s'inscrit dans une logique essentielle de préservation des ressources naturelles.

Parmi les autres initiatives de décarbonation engagées par PRELCO, on peut citer la suppression potentielle des fixations métalliques pour les panneaux solaires en façade, ainsi que l'intégration d'éléments issus du réemploi. Ces démarches se traduisent concrètement dans les bilans carbone des lots concernés, et à l'échelle globale du bâtiment.

Les indicateurs analysés dans le cadre de cette étude révèlent la capacité des solutions proposées par PRELCO à réduire les émissions de CO₂, tout en contribuant à la préservation des ressources en matériaux et en énergie. Cet engagement s'inscrit dans une approche globale, indispensable à la lutte contre le changement climatique et à la protection de la biodiversité.

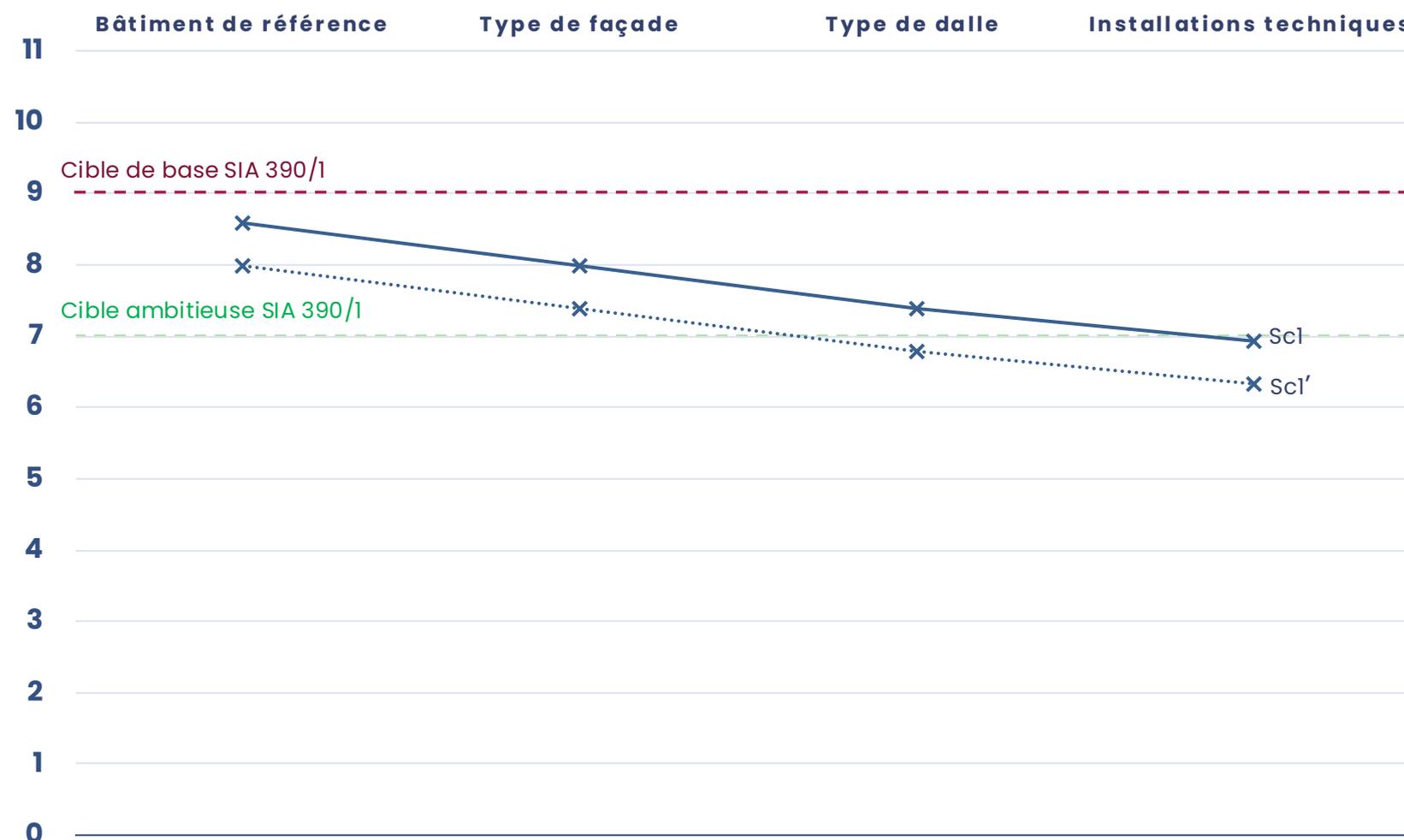
Radar d'optimisation projet bas carbone PRELCO



→ Positionner les différents produits PRELCO selon les axes bas-carbone définis et ajuster les curseurs de réduction carbone en fonction des spécificités du projet.

2. Atteindre la valeur cible ambitieuse avec la façade préfabriquée

Scénarios carbone bâtiment de référence [kgCO₂/m²a]



Description du scénario bas carbone :

—x— Sc1 : Bâtiment de référence + Façade PRELCO bas carbone + Dalle préfabriquée béton + Sobriété et réemploi des installations techniques

Le bâtiment de référence, initialement à 8.6 kgCO₂/m²a, peut atteindre un niveau d'émissions de 6.9 kgCO₂/m²a, inférieur à la valeur cible ambitieuse de la norme SIA390/1, sans modification du concept architectural, des surfaces ou de la volumétrie.

.....x.....

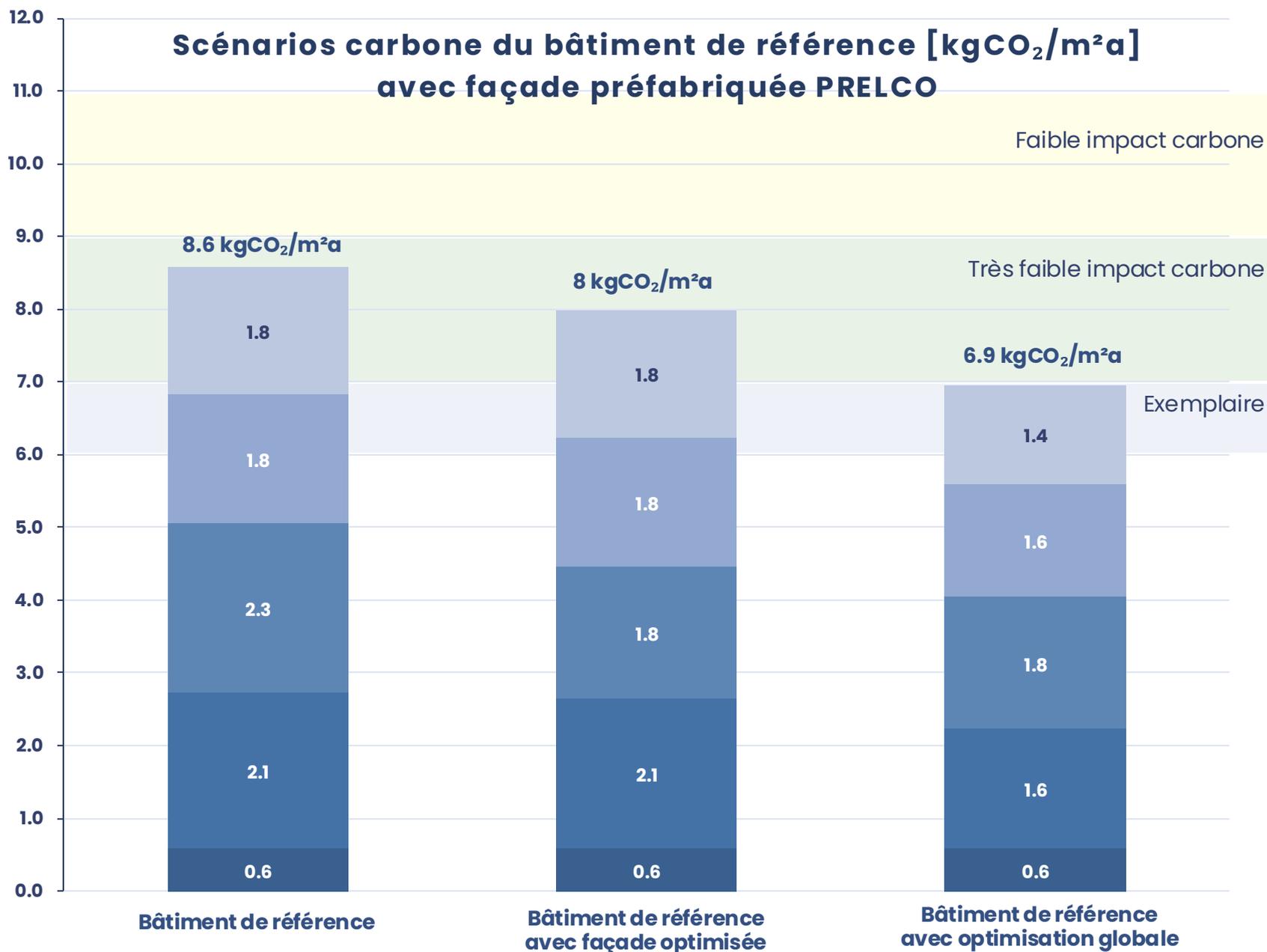
Sc1' : Scénario identique au Sc1 extrapolé sur un bâtiment R+8 avec un facteur de forme de 0.87.

Dans le cas d'un bâtiment de grande hauteur, tel que simulé en page 31, les émissions initiales sans optimisation des matériaux s'élèveraient à environ

8 kgCO₂/m²a. L'application des mêmes leviers de réduction permettrait théoriquement d'abaisser ce niveau à 6.3 kgCO₂/m²a, hors renforcements structurels spécifiques.

- La valeur cible ambitieuse SIA 390/1 devient atteignable avec une façade PRELCO bas carbone lorsqu'elle est combinée aux optimisations bas carbone transversales d'autres éléments et lots (structure, revêtements intérieurs et installations techniques).
- Les bâtiments de grande hauteur disposent d'un avantage dans l'atteinte des valeurs cibles grâce à leur très bon facteur de forme.

2. Atteindre la valeur cible ambitieuse avec la façade préfabriquée



Les avantages intrinsèques du bâtiment de référence (bon facteur de forme et présence d'un seul niveau de sous-sol) combinés à l'optimisation de la façade PRELCO permettent de réduire les émissions en dessous de 8 kgCO₂/m²a.

En conservant son concept architectural initial, il peut atteindre la cible ambitieuse de 7 kgCO₂/m²a (6.9) en combinant :

- L'optimisation des façades PRELCO
- L'utilisation de dalles préfabriquées
- L'application de concepts de réemploi et de sobriété pour les installations

Lot 5. Installations techniques
Lot 4. Aménagements intérieurs
Lot 3. Enveloppe
Lot 2. Structure (hors sol)
Lot 1 Souterrains et Aménagements extérieurs

- Le système PRELCO facilite la décarbonatation des autres lots grâce à la collaboration entre la façade préfabriquée et les autres parties du bâtiment (dalles minces, panneaux photovoltaïques en façade et en toiture...) permettant de multiples scénarios bas carbone.
- L'atteinte de la valeur cible de base et cible ambitieuse est possible avec différents principes constructifs, dont la construction en béton préfabriqué « bas carbone » PRELCO.

BIBLIOGRAPHIE

Articles scientifiques

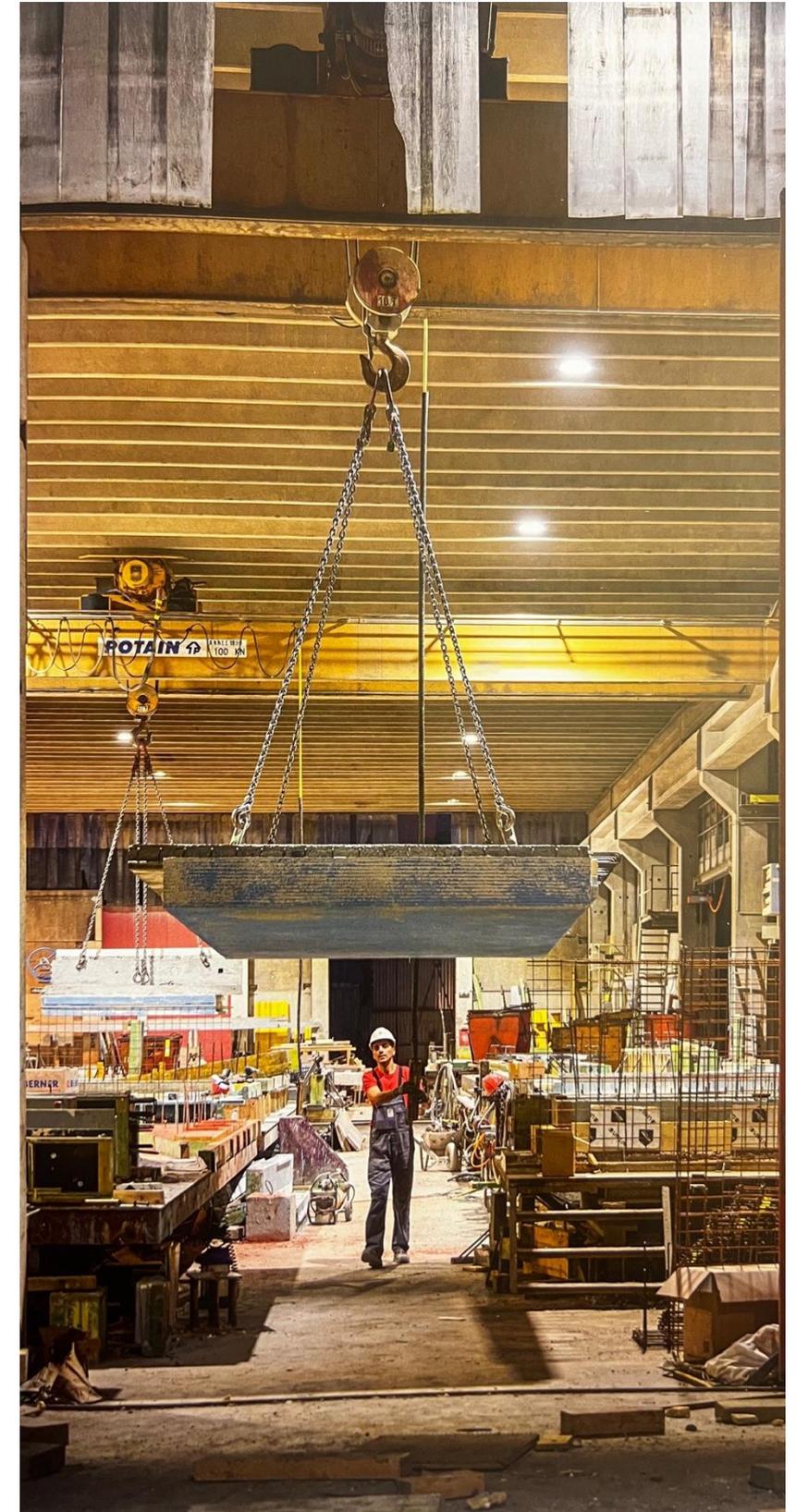
- Favier A., de Wolf C., Scrivener K., Habert G., A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry : Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050, 2018 (doi.org/10.3929/ethz-b-000301843)
- dir, R., Feraille, A., Serres, N., & Braymand, S. (2015). Évaluation environnementale du béton de granulats recyclés. Rapport de recherche R/15/RECY/024, Projet National RECYBETON.
- Nakhle, C., Eckle, P. R., & Krüger, M. (2022). Decarbonizing Cement : Technology assessment and policy relevant evidence for the decarbonization of the Swiss cement industry. Rapport final, ETH Zurich sus.lab.
- Priore, Y., Schulthess, L., & Jusselme, T. (2024). The Carbon Impact of Buildings' Slabs : Hotspots, Challenges, and Opportunities.
- Tschümperlin, L., & Frischknecht, R. (2016). Ökobilanz Betonfertigteile. Rapport final, treezelt.

Rapports cimentiers

- Cemsuisse. (2022). CEM II/A : Déclaration environnementale selon EN 15804+A2. Association suisse de l'industrie du ciment..".
- Hoffmann Green Cement Technologies. (s.d.). H-UKR, ciment à base de laitier alcali-activé.

Outils et base de données (open source)

- Pawis Rechner. (s.d.). Betonrechner für Planende. Pawis. Disponible sur : <https://rechner.pawis.ch/rechner/betonrechner-planende>
- KBOB / ecobau / IPB. (2022). KBOB-Liste : Données des écobilans dans la construction (2009/1:2022). Coordination Confédérale des Prestations de Construction (KBOB). Disponible sur : <https://www.kbob.admin.ch/kbob/fr/home.html>



© Leo Fabrizio