

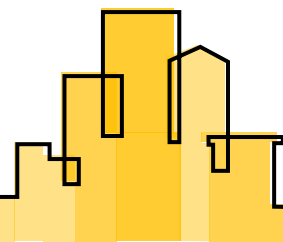


DES PRESCRIPTEURS
BAS CARBONE



Brief Façade

Les messages clés



Qu'est ce que le hub des prescripteurs bas carbone ?

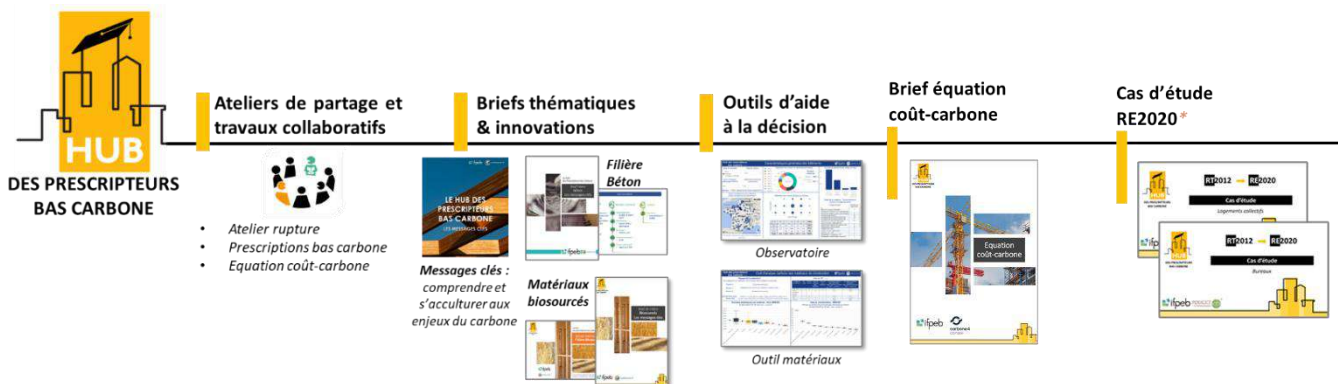
Le hub est une plateforme collaborative portée par l'**Institut Français pour la Performance du Bâtiment (IFPEB)** en partenariat avec **Carbone 4**, à destination des donneurs d'ordres du secteur de la construction (Foncières, investisseurs, promoteurs, entreprises générales...).



Cette initiative a pour objectif de partager les meilleures pratiques et doter les membres de l'ensemble des outils opérationnels nécessaires à la conception et à la prescription du bas carbone. En 2021, le hub compte 28 maîtres d'ouvrages et entreprises générales. Une communauté d'environ 45 maîtrises d'œuvre en font aussi partie : cabinet d'architecture et bureaux d'études pluridisciplinaires.



Plus de 60 membres ont ainsi rejoint l'aventure qui mobilise de plus en plus et développe de nombreux axes de travail. Pour mener à bien sa mission, le hub dispose actuellement de plusieurs outils d'aide à la prescription:



Le hub a souhaité se concentrer davantage sur l'évaluation de la maturité et la trajectoire des filières ainsi que l'identification des innovations bas carbone, poursuivant ainsi sa démarche d'aide à la prescription afin d'atteindre au mieux l'optimum coût et carbone, au travers de **briefs de filière**.

Les briefs ont pour objectif de présenter l'état de l'art d'une filière, ses grands objectifs, sa trajectoire bas carbone horizon 2030 et 2050 ainsi que sa contribution à la construction bas carbone. Les briefs sont l'occasion de réaliser un véritable « **book innovation du bas carbone** », avec une cartographie des acteurs et un panorama des meilleures pratiques.

Après un brief sur la filière béton suivi d'une seconde publication centrée sur les matériaux biosourcés (<https://www.ifpeb.fr/briefs-de-filieres/>), le hub des prescripteurs bas carbone a choisi de décrypter le complexe de façade sous l'angle de la neutralité carbone. Ce travail fait l'objet d'une **version intégrale réservée aux membres du Hub**.



La thématique retenue pour le prochain brief concerne les « lots techniques »

Brief Façade- Résumé exécutif

Élément fort du projet architectural, les façades doivent répondre à des enjeux pluriels afin d'assurer une protection vis-à-vis des éléments extérieurs et un confort aux occupants. Ce complexe doit ainsi répondre à de nombreux paramètres techniques et architecturaux, auxquels s'ajoute la composante carbone avec l'arrivée de la RE2020.

La façade est une combinaison de composants qui assurent une ou plusieurs fonctions (isoler, porter, vitrer, occulter, étancher, ...). Certaines fonctions sont-elles plus carbonées que d'autres ? Quelles sont celles qui offrent le plus large potentiel de décarbonation ? Celui-ci est-il compatible avec les seuils progressifs de la RE2020, et dans quelle équation coût-carbone ?

Le hub a cherché à apporter des réponses à ces questionnements en cartographiant les fonctions principales et leurs empreintes carbonées, et **en proposant une hiérarchisation et une quantification des leviers de décarbonation.**

1 Message clé n°1 : Une donnée carbone encore insuffisante

L'exhaustivité et la qualité de la donnée est une brique méthodologique indispensable à l'identification des leviers de décarbonation pertinents à l'échelle d'un projet. A ce jour, **une grande disparité s'observe selon les composants.** Par exemple, si les isolants sont fortement pourvus en données carbone, d'autres catégories telles que les menuiseries et les occultations doivent encore progresser. On observe également que les catégories les moins bien pourvues sont celles présentant le poids carbone le plus important. Une attention particulière doit donc être portée à ces catégories en amont, afin d'accélérer la production de nouvelles données puis lors de l'utilisation des données existantes.

2 Message clé n°2 : La compacité, un facteur de frugalité

La façade est figée très tôt dans le processus de conception au travers de sa typologie de façade, de son écriture architecturale et de sa matérialité. Elle représente 10 à 25% de l'empreinte carbone des bâtiments. **Le critère carbone doit ainsi être intégré dès l'esquisse du projet** pour assurer la compatibilité des orientations avec les objectifs de décarbonation. La volumétrie du bâtiment est un des premiers paramètres figés : **optimiser la compacité permet d'essentialiser la matière** en agissant sur l'ensemble des composants de la façade dès l'amont du projet. Ce travail est à opérer à l'échelle du projet en croisant notamment avec les paramètres de confort.

3 Message clé n°3 : Le rapport plein vide, un paramètre structurant

Les parois vitrées assurent de nombreuses fonctions essentielles à la qualité du bâti. En l'état actuel des données et des technologies disponibles, elles sont en moyenne deux fois plus carbonées que les parois pleines, et présentent un potentiel d'optimisation plus faible. **Le taux de vitrage doit ainsi être questionné au plus tôt pour identifier le juste équilibre entre les différents paramètres.** L'optimisation des surfaces vitrées offre de nombreux co-bénéfices sur le plan carbone, énergétique et économique, mais ne doit pas dégrader le confort des occupants, ni la qualité esthétique et architecturale du bâti.

4 Message clé n°4 : L'intégration de matériaux biosourcés : champion du bas carbone à condition de prendre en compte les contraintes opérationnelles

Le levier majeur d'optimisation de l'empreinte carbone de la façade a été identifié sur la structure avec l'intégration de matériaux biosourcés. Ces matériaux font partie des solutions les moins carbonées disponibles actuellement sur le marché, comme le rappelait le brief « [Biosourcés](#) ». Ces matériaux peuvent également être intégrés les autres composantes de la façade: isolation, revêtement... Notons néanmoins un point de vigilance: la réussite de leur intégration repose sur une prise en compte de leurs propriétés au regard de la réglementation incendie, des contraintes d'entretien et de durabilité, de l'inertie (confort d'été)... D'autres solutions prometteuses sont amenées à se développer et viendront étoffer le panel de solutions bas carbonées (matériaux alternatifs, matières recyclées,...).

5 Message clé n°5 : L'optimisation de l'empreinte carbone n'implique pas nécessairement un surcoût

L'empreinte carbone de la façade peut être optimisée au travers d'une réflexion architecturale et d'un choix de matériaux pertinents. L'analyse menée dans le cadre de ce brief montre **qu'aucune typologie de façade n'est exclue par la RE2020, avec toutefois un effort d'optimisation qui sera très marqué pour certaines d'entre elles.** Les variantes permettant cette optimisation ne présentent pas nécessairement de surcoût global, à condition d'être définies dès l'amont du projet.



DES PRESCRIPTEURS
BAS CARBONE

Brief Façade

Les messages clés

SOMMAIRE

PARTIE 1 – Définition et enjeux

P5

- La façade : un objet complexe
- L’empreinte carbone des façades
- L’enjeu de la donnée pour la transition

PARTIE 2 – Leviers de décarbonation

P12

- La sobriété, base de la décarbonation
- Optimiser le rapport plein/vide
- Décarboner les parois pleines
- Décarboner les parois vitrées

PARTIE 3 - Une stratégie de décarbonation

P21

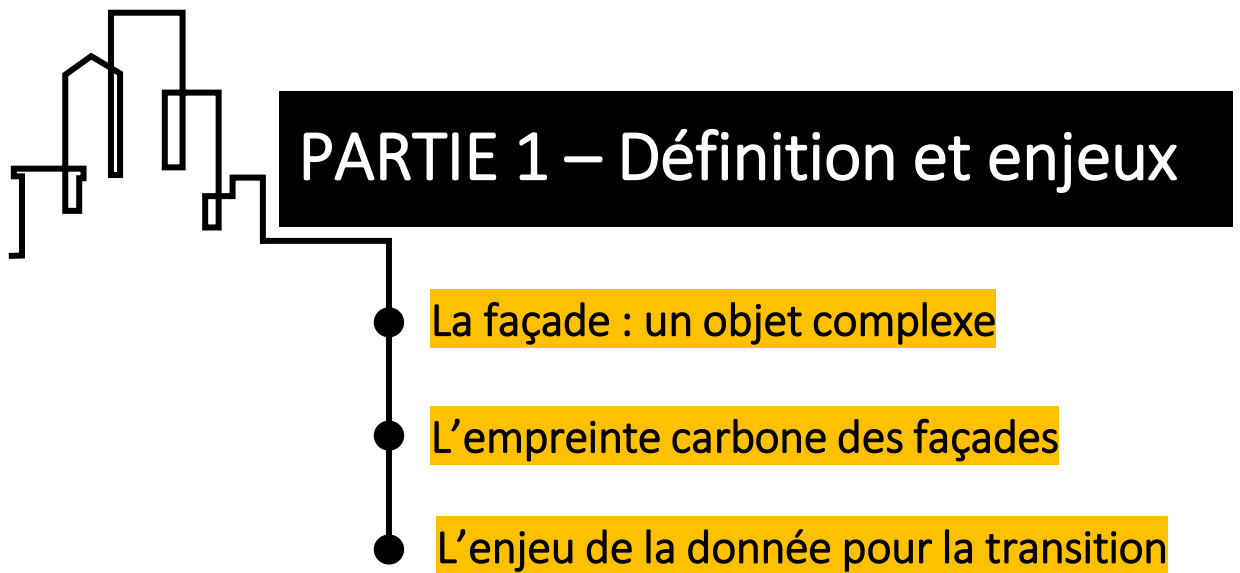
- Proposition de stratégie de décarbonation
- Une équation coût-carbone associée
- Trajectoire SNBC & Seuils RE2020

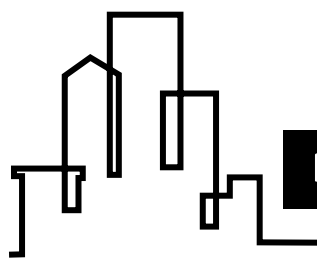


DES PRESCRIPTEURS
BAS CARBONE

Brief Façade

Les messages clés





PARTIE 1 – Définition et enjeux

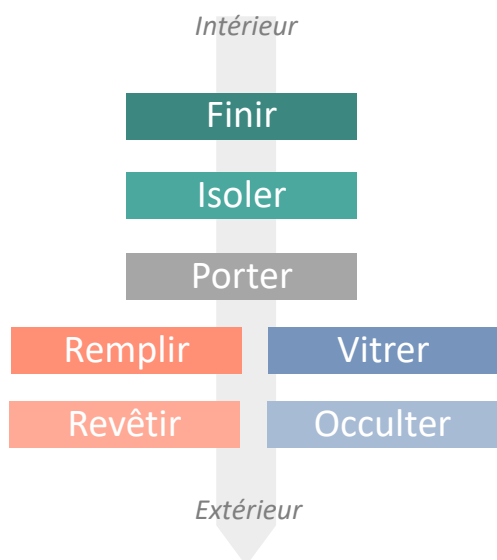
La façade : un objet complexe

Au-delà d'être la première perception donnée par le bâtiment, son image dans son environnement, la façade a pour fonction initiale de protéger les espaces intérieurs, et les personnes qui les occupent, des éléments extérieurs : eau, air, températures, bruits, etc. Avec l'entrée en vigueur de la RE2020, le carbone vient compléter l'ensemble des critères de conception d'une façade.

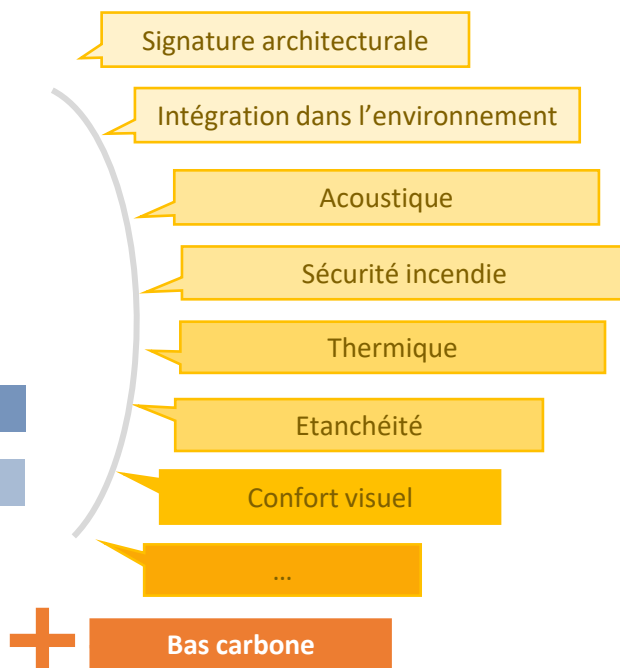
La façade se caractérise par une pluralité de constituants, déclinés dans cette étude de manière simplifiée sous la forme de plusieurs fonctions : **Finir** (doublage intérieur de la façade hors isolant) ; **Isoler** (isolation intérieure ou extérieure) ; **Porter** (voiles, poteaux, poutres) ; **Remplir** (maçonnerie et remplissage des systèmes poteau/poutre) ; **Vitrer** (menuiseries extérieures) ; **Revêtir** (revêtements et parements de façade) ; **Occluter** (protections solaires).

UNE DÉCLINAISON DE FONCTIONS

(approche simplifiée)



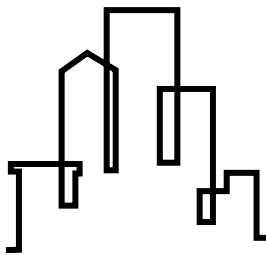
DE NOMBREUX CO-BÉNÉFICES



La déclinaison proposée est une approche simplifiée, certains éléments assurent plusieurs rôles tel que le vitrage qui permet l'accès à la lumière mais doit également répondre à des critères d'isolation.

La conception de la façade implique une approche multicritères spécifique au projet et à son environnement. Ce brief apporte une grille de lecture sur le plan du carbone.

Partie 1 - Définition et enjeux



PARTIE 1 – Définition et enjeux

L'empreinte carbone des façades

Le poids des lots architecturaux

Afin d'identifier l'ordre de grandeur du poids carbone des façades, le Hub des prescripteurs bas carbone a mené une étude basée sur les données issues de l'observatoire E+C- au 1er février 2022. Celles-ci ont été transposées selon la méthode RE2020 (cf. [Retour d'expérience E+/C- & RE2020 : d'une expérimentation à une réglementation](#)).

Sur la base de cette étude, l'empreinte carbone des façades varie entre 8% et 16% pour les logements contre 15 à 25% en bureau. On observe une similarité avec le poids moyen économique des façades de l'ordre de 15% en logement collectif contre 20% en bureau.

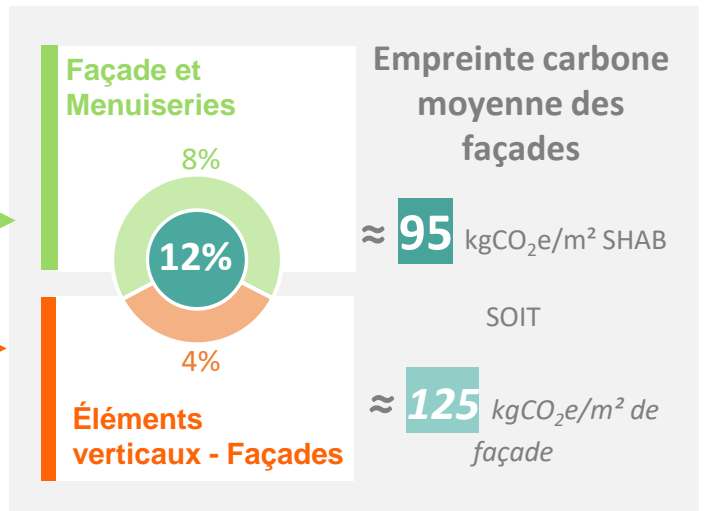
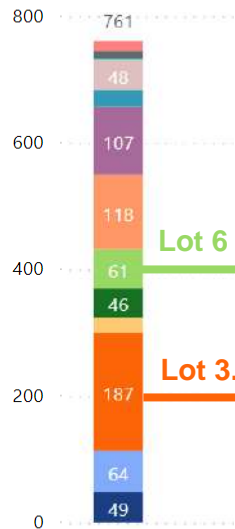


Logement collectif

Empreinte carbone en $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ SHAB

Méthode RE2020⁽¹⁾

- LOT 13 Production locale d'électricité
- LOT 12 Appareils élévateurs
- LOT 11 Cfa
- LOT 10 Cfo
- LOT 9 Installations sanitaires
- LOT 8 CVC
- LOT 7 Revêtements sols, murs et plafonds
- LOT 6 Façades et Menuiseries ext.
- LOT 5 Cloison - Doublage - Menuiseries int.
- LOT 4 Couverture - Étanchéité - Charpente
- LOT 3 Superstructure
- LOT 2 Fondations et infrastructure
- LOT 1 VRD



Bureau⁽¹⁾

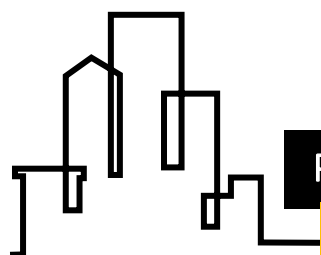
≈ **17%**

≈ **200** $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ SU

(1) Estimation sur la base de l'échantillon E+C- de l'observatoire au 1^{er} février 2022.

Le poids carbone moyen des façades varie entre 8% et 16% en logement et entre 15% et 25% en bureau.





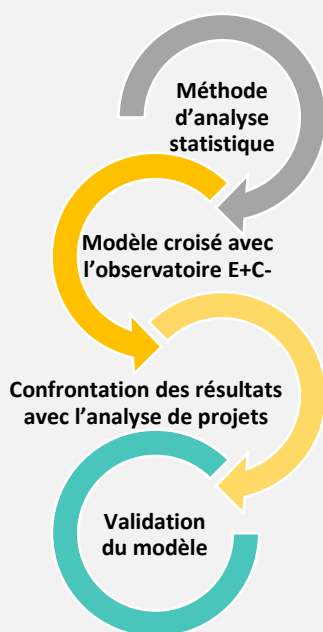
PARTIE 1 – Définition et enjeux

L'enjeu de la donnée pour la transition

Méthodologie

Les résultats obtenus dans le cadre de ce brief sont basés sur une **méthode d'analyse statistique**. L'objectif n'est pas de déterminer une référence spécifique plus performante que les autres mais d'examiner la répartition globale de l'empreinte en ordre de grandeur et les leviers d'actions à disposition.

Pour chaque fonction (porter, isoler, etc.), différentes techniques sont disponibles (par exemple, pour occulter : occultations manuelles + occultations motorisées). Pour chacune de ces techniques, plusieurs matériaux sont disponibles (par exemple, pour occultations manuelles : aluminium + bois + PVC + textile).



D'un point de vue quantitatif, l'empreinte carbone pour un matériau donné est égale à la médiane des valeurs des données environnementales disponibles pour ce matériau (FDES hors donnée environnementales par défaut). Ensuite, pour une technique donnée, les minimum et maximum correspondent aux valeurs minimum et maximum de ces médianes tandis que la valeur moyenne correspond à la moyenne des médianes pondérée du nombre de fiches disponibles pour chaque matériau. Ce sont ces valeurs statistiques (min/moy/max) qui sont utilisées tout au long de ce brief.

Dans une deuxième phase d'étude, l'ensemble des résultats ont été **croisés avec des projets réels de logements et bureaux au sein du Hub des prescripteurs bas carbone** pour conforter et affiner le modèle.

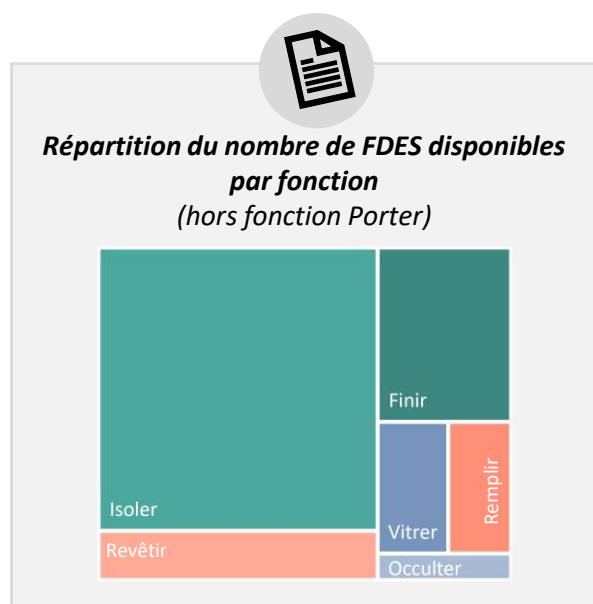
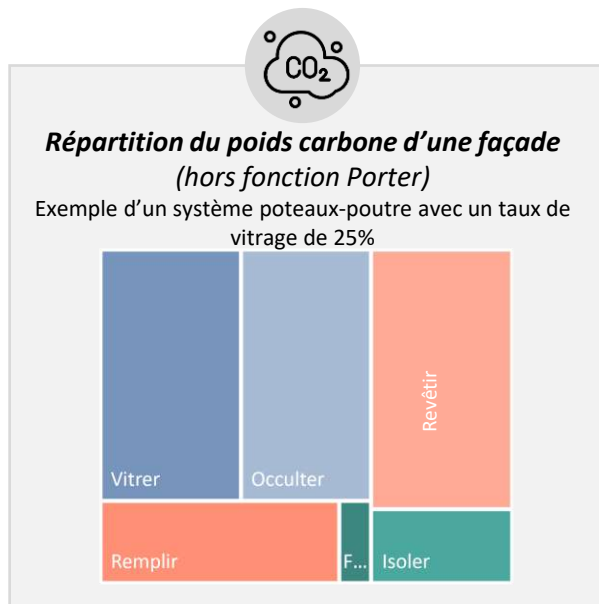
Données disponibles

L'analyse de la base de données INIES permet d'observer l'amélioration constante de la représentation de chaque catégorie de produits et l'augmentation continue du nombre de références disponibles ACV. Pour autant, l'exhaustivité et la qualité de ces données doivent encore être améliorées.

Partie 1 - Définition et enjeux

Des données disponibles insuffisantes

Les deux fonctions les moins impactantes et, par ailleurs, présentant les plus faibles leviers d'actions (écarts entre les valeurs minimales et maximales intra-catégorie) sont les plus fournies en nombre de FDES disponibles sur la base INIES.



Source: Données extraites de la Base INIES au 1^{er} février 2022.

L'enjeu de la disponibilité de la donnée est donc fondamental pour optimiser l'empreinte carbone des fonctions les plus impactantes à l'image des parements, occultations, murs rideaux ou menuiseries extérieures.

Le développement de configurateur est un second axe à l'estimation de l'empreinte carbone pour certaines catégories. Pour exemple :

En l'absence actuelle de configurateur, l'optimisation de la fonction « vitrer » se confronte aujourd'hui à l'incapacité d'assembler un vitrage choisi à une nature d'huissierie. Pour répondre à cet enjeu, un configurateur de FDES (menuiseries configurables) pourrait à terme voir le jour et permettra d'optimiser jusqu'à 15 kgCO₂/m² de vitrage (soit 4 kgCO₂/m² de façade intégrant 25% de vitrage).

Une amélioration progressive de la qualité de la donnée

La qualité des données devient également un enjeu central avec l'entrée en vigueur de la RE2020 afin d'assurer une quantification juste de l'impact des matériaux mis en œuvre.

On note notamment, à titre d'exemple, des valeurs initialement très importantes pour les occultations motorisées sur l'étape d'utilisation (fiche collective : 110kgCO_{2e}/m²) qui tendent à diminuer fortement avec l'arrivée de nouvelles fiches individuelles (empreinte négligeable (~ 0) sur l'étape d'utilisation).

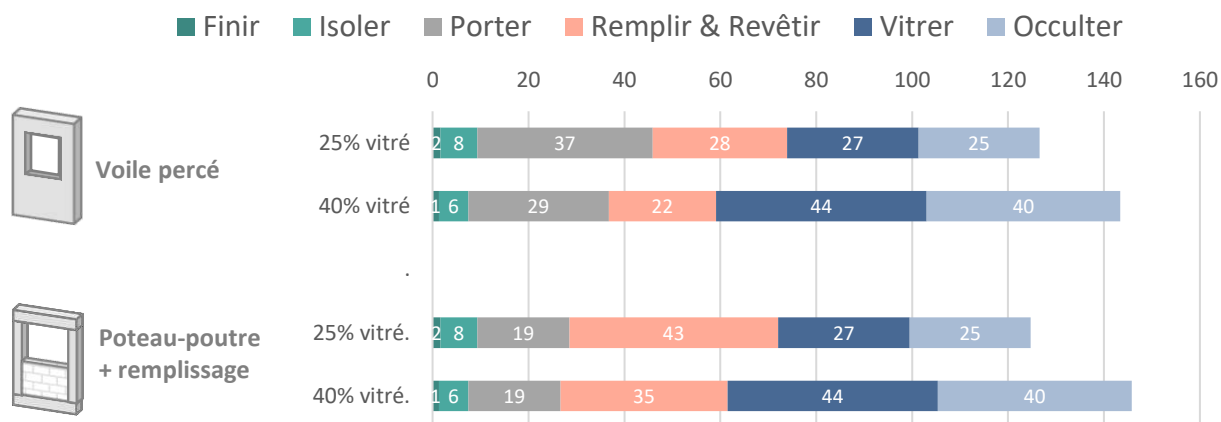
Afin d'assurer une prescription bas carbone pertinente, il est nécessaire d'accélérer l'amélioration des données disponibles tant du point de vue de l'exhaustivité que de la qualité.

Partie 1 - Définition et enjeux

Les composants les plus carbonés de la façade

Le graphique ci-dessous indique la répartition par fonction du poids carbone sur deux exemples de typologies de façades :

Répartition du poids carbone des fonctions selon deux typologies de façade
En $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ de façade



≈5% Finir & Isoler

Ces deux fonctions présentent un impact relativement stable à l'échelle des façades. Leur poids carbone associé induit un levier d'optimisation limité à l'échelle des façades qui peut être déclenché dans des phases avancées de conception

Si l'amélioration des performances thermiques induit un poids carbone plus élevé, le renforcement de l'isolation permet des gains énergétiques plus importants que l'impact carbone lié à l'ajout de matière¹.

Parois Pleines Porter & Remplir & Revêtir

36 à 51 %

Parois Vitrées Vitrer & Occulter

42 à 59%

Les parois pleines et les parois vitrées représentent les deux grands contributeurs des façades. La stratégie structurale, et le ratio de vitrage influencent fortement la répartition entre ces fonctions.

Ces paramètres étant figés très tôt dans la conception avec le permis de construire, le critère carbone doit être intégré dès l'esquisse.



Sur ces exemples :

Les **parois vitrées (fonctions « vitrer » et « occulter »)** représentent à minima **40 % de l'empreinte carbone des bâtiments**. La fonction « vitrer » est la plus carbonée pour celles-ci.

Les **parois pleines (finir, isoler, porter et remplir)** représentent à minima **35%**. Le poids carbone est principalement porté par les fonctions « porter » et « remplir & revêtir » ; la répartition dépend du système constructif.

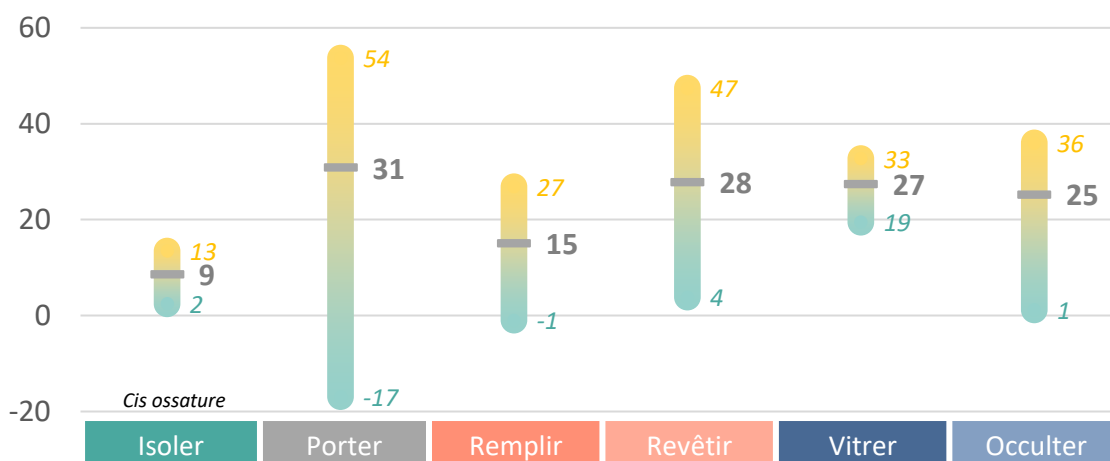
Partie 1 - Définition et enjeux

Les leviers d'actions associés à chaque fonction

La compréhension du poids carbone moyen des fonctions est à croiser avec la capacité de décarbonation au sein de celles-ci. Selon les fonctions, **la latitude entre l'empreinte minimale et la maximale est très variable.**

Leviers d'actions des fonctions principales*
(kgCO₂e/m²façade) pour une hypothèse de taux de vitrage de 25%, et une résistance thermique de R=4m². K/W

● Max ● Min — Moyenne



L'isolation présente un faible gisement d'optimisation de l'empreinte matériaux. Ce point n'est pas problématique du fait d'une empreinte carbone moyenne également faible.

La modélisation de la fonction « Finir » ne présente pas de variabilité remarquable (modélisée par un doublage plaque de plâtre)

La stratégie structurale, notamment s'il est possible d'intégrer des matériaux biosourcés présente le premier levier d'action.

Le remplissage, dans le cas d'un système poteau/poutre peut aussi faire l'objet d'une optimisation carbone.

Le revêtement de façade présente également un gisement d'optimisation important, mais doit être appréhendé au regard de l'ambition architecturale et de maintenabilité

La fonction « vitrer » est difficile à optimiser par le choix des matériaux.

Le choix des occultations présente un important levier d'optimisation au niveau des matériaux et des technologies (manuelles/motorisées)

*Les valeurs minimales, maximales et les moyennes sont issues des médianes de chaque catégorie. Certaines FDES peuvent ainsi dépasser les bornes min/max présentées.

Sur ces exemples :

Les fonctions **Porter, Remplir & Revêtir** et **Occulter** ont été identifiées comme les plus impactantes, ce sont également présentant les leviers d'action les plus importants.

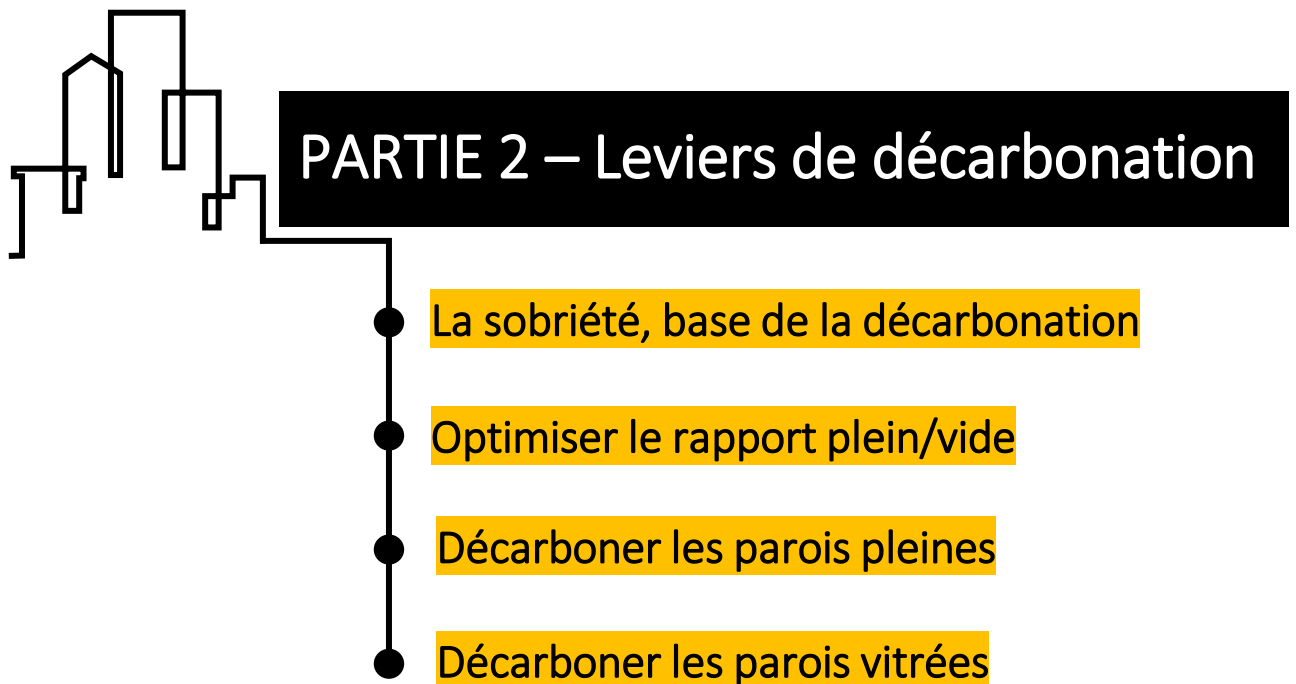
À l'inverse, la fonction **Vitrer** porte une **part importante** de l'empreinte mais présente peu de leviers d'actions sur le choix des matériaux. Il est donc primordial d'agir, en amont, sur le taux de vitrage.

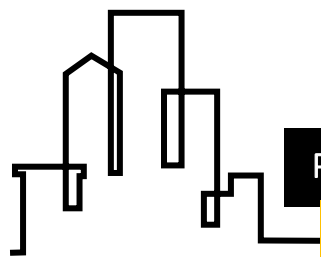


DES PRESCRIPTEURS
BAS CARBONE

Brief Façade

Les messages clés





PARTIE 2 – Leviers de décarbonation

La sobriété, base de la décarbonation



Consommer moins

Les phases d'esquisses sont cruciales pour l'optimisation de l'empreinte carbone¹. Réduire la consommation en matériaux est le premier axe à étudier :

- La **frugalité** induit un questionnement de la matière afin d'essentialiser son usage et optimiser les volumes mis en œuvre. Elle représente **un levier majeur pour abaisser le poids carbone des bâtiments à moindre coût**. Cette approche ne doit toutefois **pas remettre en cause la qualité du bâti et le confort des usagers**.

Une variation jusqu'à

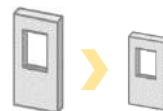
9%

de l'empreinte carbone est observée selon la **compacité** du bâtiment ⁽¹⁾

La compacité du bâtiment apparaît comme un paramètre structurant. Deux paramètres peuvent être questionnés pour optimiser le rapport entre surface de façade et surface utile :



Le déroulé de façade



La hauteur des étages principalement en bureau

La **compacité**:

un potentiel d'optimisation agissant sur l'ensemble des fonctions

- Au-delà de la performance de la façade, sa **durabilité** est un enjeu carbone fort. **Les choix faits en conception ne doivent pas conduire à une obsolescence prématurée du bâtiment**. La pérennité de la qualité esthétique et de la fonctionnalité des matériaux dans le temps est essentielle :

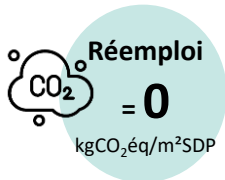
Un **allongement de la durée de vie**, mais également de la **fréquence d'entretien et de maintenance** des matériaux constituant la façade doit être recherchée. Le caractère **réparable et démontable** est à systématiser.

Dans une vision long terme, la façade devrait être suffisamment **flexible, modulable, voire réversible** afin d'anticiper les cycles de rénovations et d'éviter une restructuration lourde, qui entrainerait une nouvelle dépense carbone importante.

Partie 2 - Leviers de décarbonation

Le recours à des matériaux **circulaires** est un troisième levier à déployer pour limiter l'épuisement des ressources et les émissions carbone associées.

Méthodologie RE2020



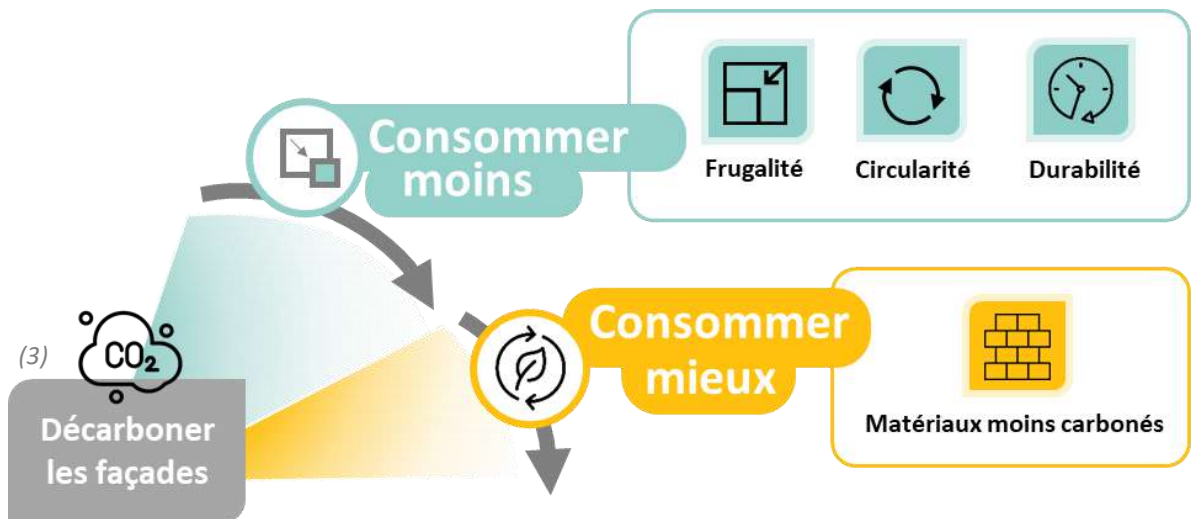
Le **réemploi** offre des gains potentiels importants, notamment grâce à la méthode de calcul retenue dans le cadre de la RE2020. Cette approche doit être favorisée sur les projets et être ainsi évoquée dès le début de la conception afin d'intégrer les enjeux spécifiques à cette démarche (cadre assurantiel, disponibilité de ressource, acceptabilité,...).



Visant à massifier la demande et atteindre un effet de seuil, le **Booster du Réemploi** propose d'accompagner les maîtres d'ouvrage publics et privés et les concepteurs. 130 projets ont été accompagnés lors de la première année et 165 sont en cours.

Le recours à des **matériaux recyclés** offre pour certains flux une valorisation matière moins carbonée que le produit issu de matière vierge. C'est le cas du verre, où l'intégration de calcin recyclé permet de réduire significativement l'empreinte carbone du matériaux⁽¹⁾, ou encore de l'acier recyclable à l'infini⁽²⁾.

L'optimisation de la matière (Consommer moins) permet de cibler dans un second temps les variantes de nature de matériaux les plus pertinentes (Consommer mieux).

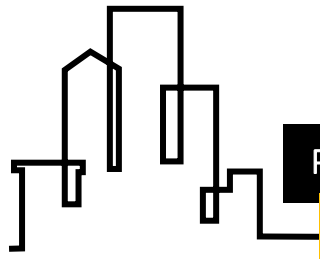


Sources :

(1) FÉDÉRATION DE L'INDUSTRIE DU VERRE https://www.vqi-fiv.be/wp-content/uploads/2013/10/FIV-Bro_Durabilite-FR_2013-web-min.pdf

(2) FEDEREC, <https://federec.com/FEDEREC/documents/EvaluationenvironnementaleduRecyclageenFranceMai2017123.pdf>

(3) HUB DES PRESCRIPTEURS BAS CARBONE, [Etude Equation Coût-carbone](#), Hub des prescripteurs bas carbone, 2021



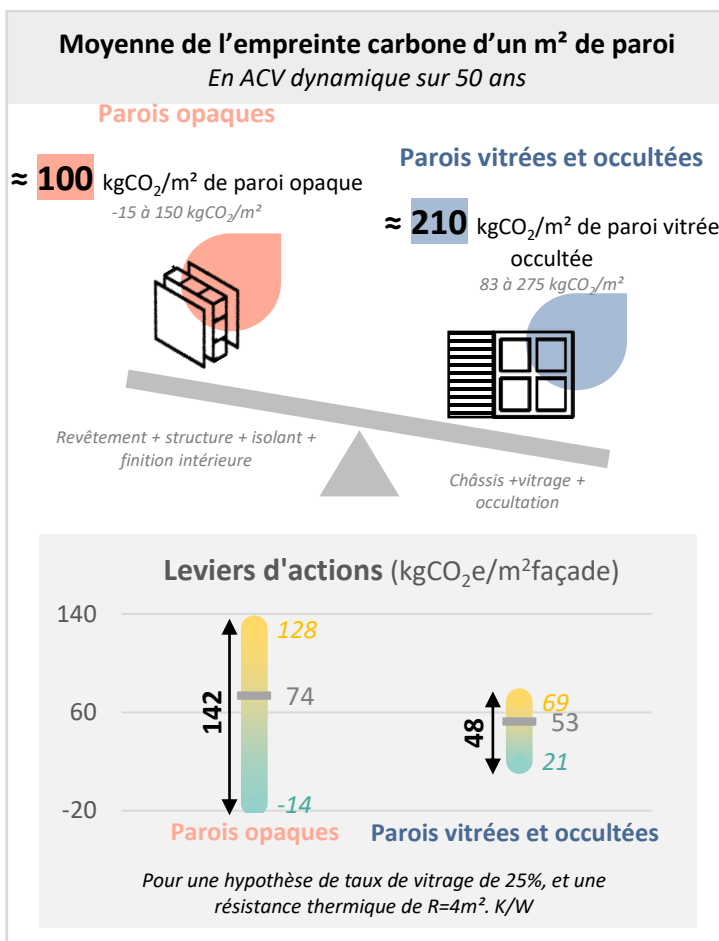
PARTIE 2 – Leviers de décarbonation

Optimiser le rapport plein/vide

La compréhension de la répartition du poids carbone des façades a permis d'identifier les gisements d'optimisation disponibles par fonction. Figé lors du dépôt de Permis de construire, le rapport plein/vide est un paramètre structurant au regard de nombreux critères et nécessite d'être questionné dès l'esquisse du projet. Pour cette raison, ce levier sera le premier exploré dans ce brief.

Au regard du carbone, les parois vitrées présentent un levier d'action plus limité que les parois pleines en l'état actuel des données et des solutions présentes sur le marché (*142 kgCO₂e/m² de façade entre la solution la moins carbonée et la plus carbonées pour les parois pleines contre 48 en parois vitrées*). Elles sont en moyenne, deux fois plus carbonées que les parois pleines. (A noter qu'une paroi pleine peut toutefois être plus carbonée selon le complexe retenu). Ainsi, plus la façade est vitrée, plus elle est carbonée de manière :

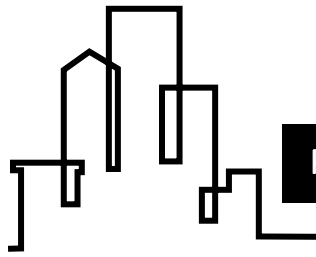
- Directe : *impact des matériaux*
- Indirecte *pour assurer le confort d'été et limiter les consommations (émissions liées à la climatisation, mise en œuvre d'occultations plus performantes..).*



L'optimisation du rapport plein/vide ne doit toutefois pas se faire au détriment du confort des usagers. L'enjeu est de ne pas vitrer plus que nécessaire.

Ainsi une approche multicritères est de rigueur pour identifier l'optimum lié aux spécificités du projet (profondeur, orientation, localisation...), aux contraintes techniques (acoustique, incendie, inertie du bâtiment...) tout en préservant les externalités positives (confort des usagers, accès à la lumière naturelle, apport solaires en hiver, ...).

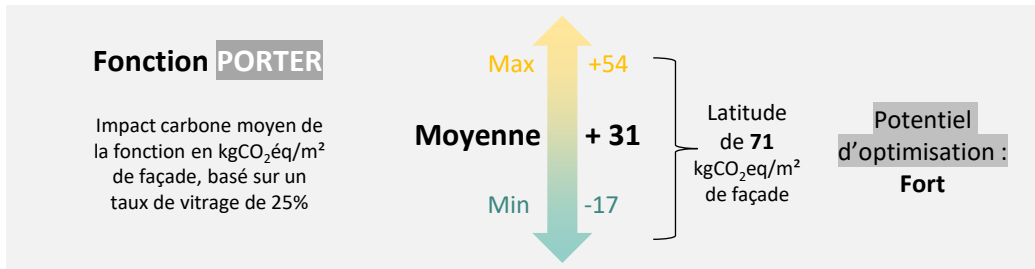
Le rapport plein/vide, est un élément central de la stratégie de décarbonation du projet. Son optimisation nécessite un juste équilibre avec les paramètres de confort des usagers, et de performance du bâti.



PARTIE 2 – Leviers de décarbonation

Décarboner les parois pleines

Fonction « PORTER »



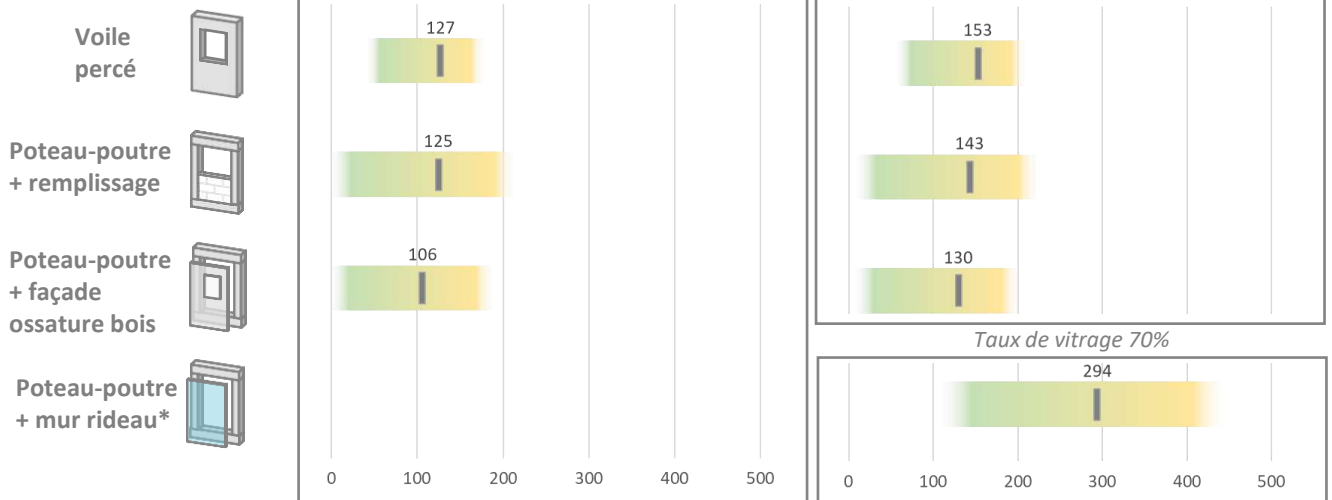
Cette fonction est orientée dès les premières phases de conception, tramant significativement la façade et les solutions associées. Le critère carbone doit donc être intégré dès ces premières réflexions architecturales.

Le choix final de la typologie est dicté par un ensemble de paramètres très variés : nature de l'opération (logements ou bureaux), capacité d'adaptation aux courbes, temps de pose, savoir-faire de l'entreprise, recours ou non à une entreprise spécialisée...

Exemples de typologies de façade

Trame type LOGEMENT COLLECTIF
Taux de vitrage 25%

Trame type BUREAU
Taux de vitrage 40%



Répartition statistique de l'empreinte carbone du complexe de façade selon les typologies (kgCO_2/m^2 façade)
Fonctions prises en compte (moyenne des médianes par catégorie) : Porter + Remplir/Revêtir + Isoler + Vitrer + Occulter
* Nombre de données limitées à ce jour sur la base INIES

Parmi les axes d'optimisation de la fonction « Porter », on retrouve notamment le recours aux matériaux biosourcés et aux des bétons allégés en carbone Pour plus de détail, voir le [Brief de filière sur le béton](#) et le [brief de filière sur les matériaux biosourcés](#).

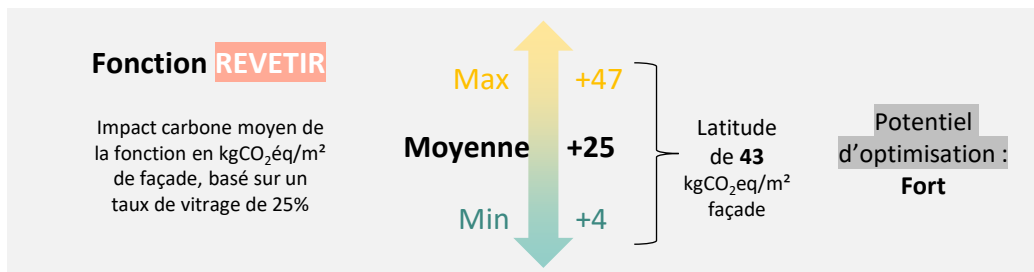


Façade légère versus Façade porteuse ?

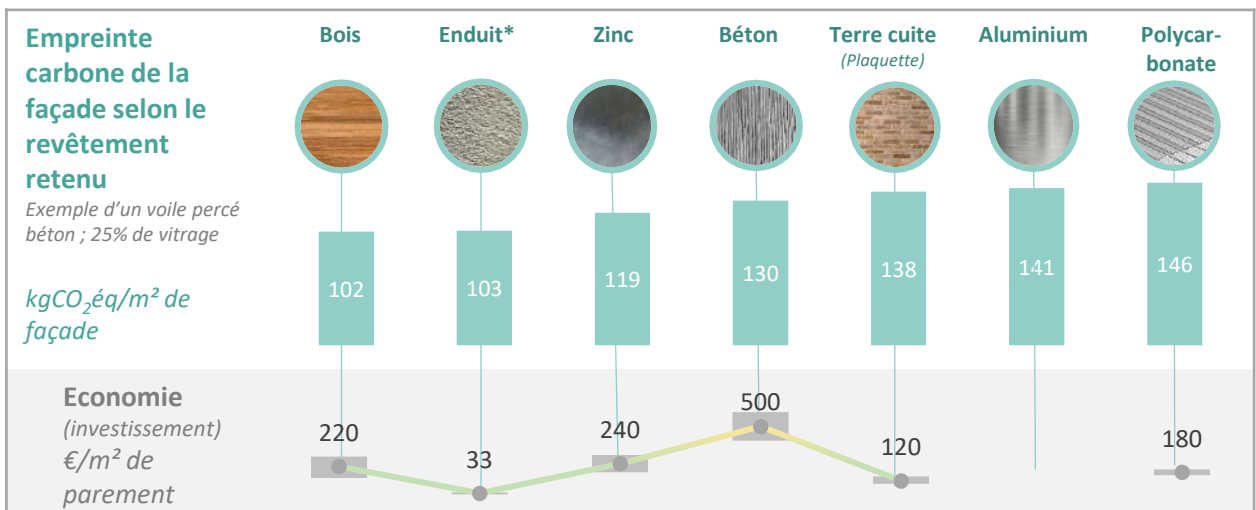
Le système poteau-poutre permet un gain sur la structure (fonction «porter») de l'ordre de 45% en comparaison au voile percé. Pour autant, selon le choix de matériau de remplissage, cet écart peut être largement compensé (par exemple, un système poteau/poutre béton + remplissage brique terre cuite est équivalent à un système voile percé béton en termes d'empreinte carbone).

Toutefois la typologie Poteaux-Poutres offre le plus large panel de leviers de réduction. L'intégration de matériaux biosourcés en structure et en remplissage offre les meilleures combinaisons.

Fonction « REVETIR »



Elément fort de l'image architecturale et de son intégration urbaine, le revêtement doit à la fois répondre aux enjeux techniques (étanchéité à l'eau, accroche, rapidité de pose, durabilité...) et aux enjeux économiques (investissement initial, maintenance...). L'analyse ci-dessous met en lumière les ordres de grandeurs par catégories de revêtement. Dans le cas d'un projet, l'analyse doit tenir compte de l'ensemble des paramètres de conception et des attentes exprimées dans le programme fonctionnel.

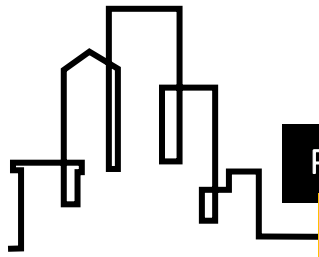


Fonctions prises en compte (moyenne des médianes par catégorie) : Porter + Remplir/Revêtir + Isoler + Vitrer + Occulter

* L'empreinte carbone calculée n'inclut pas de support, souvent nécessaire pour les façades grande hauteur en cas d'isolation par l'extérieur.

Le choix du parement extérieur peut participer à hauteur de **30 % du poids carbone de la façade.**

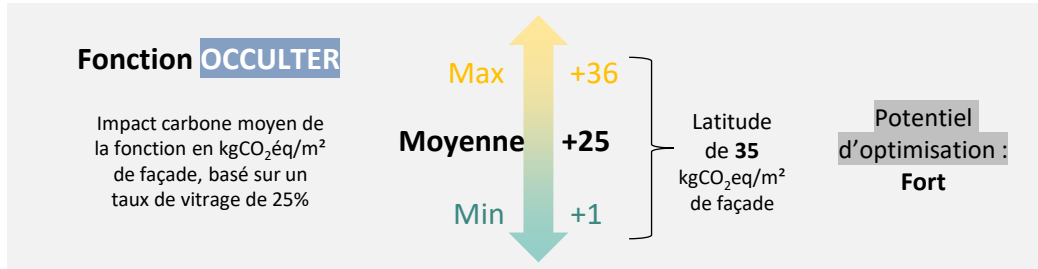
Partie 2 - Leviers de décarbonation



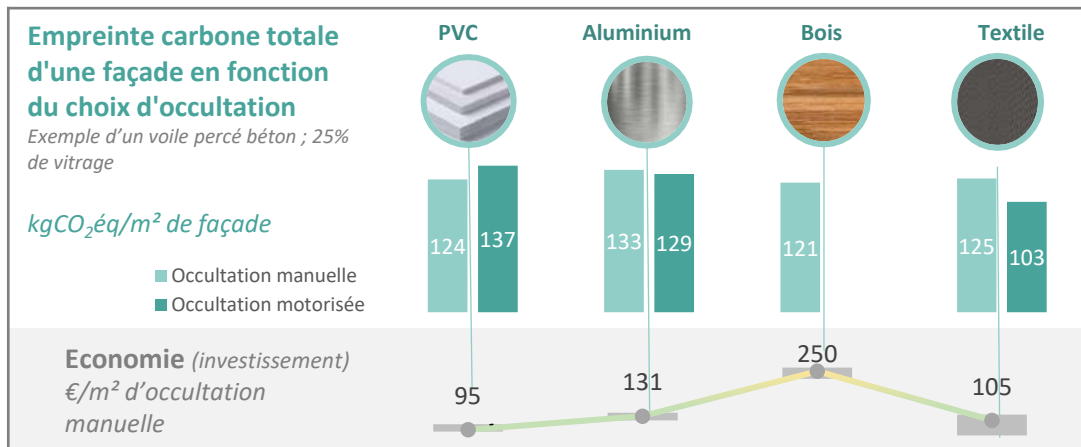
PARTIE 2 – Leviers de décarbonation

Décarboner les parois vitrées

Fonction « OCCULTER »



Cette fonction est dépendante de plusieurs paramètres tels que l'orientation, la nature et le taux de vitrage. C'est une fonction primordiale pour le **maintien du confort intérieur et la limitation des consommations énergétiques** hivernales et estivales. A noter que la RE2020 incite fortement au recours à des occultations au travers des seuils de besoins bioclimatiques (Bbio). La mise en œuvre des occultations devient nécessaire ainsi que leur décarbonation. L'analyse ci-dessous met en lumière les ordres de grandeurs par catégories d'occultation :



Fonctions prises en compte (moyenne des médianes par catégorie) : Porter + Remplir + Revêtir + Isoler + Vitrer + Occulter

! La motorisation augmente le poids carbone de l'occultation et doit être mise en place à bon escient. Cet impact n'est toutefois pas reflété dans l'ensemble des chiffres ci-dessus compte tenu de l'hétérogénéité de la donnée (à titre d'exemple sur les occultations textile : une unique FDES individuelle pour une référence motorisée présente une valeur très basse (5kgCO₂éq/m²) tandis que les références d'occultations textile manuelles disposent principalement de FDES collectives¹ aux valeurs élevées (237kgCO₂éq/m²).

À noter que la RE2020 valorise significativement le recours à la motorisation dans la méthode de calcul du Bbio.

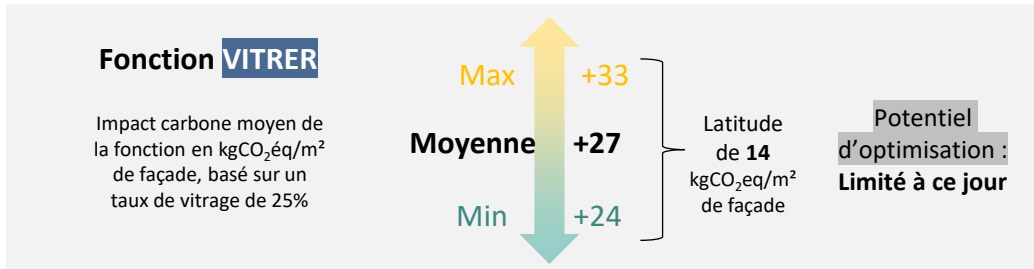
Le premier levier d'action concernant les occultations est une **conception bioclimatique** pertinente permettant d'en réduire les quantités mises en œuvre.

Une très forte variabilité de la donnée est constatée. Les acteurs s'accordent à dire que les données pourraient être surévaluées sur la partie motorisation. Ces données sont amenées à évoluer sur les prochains mois.

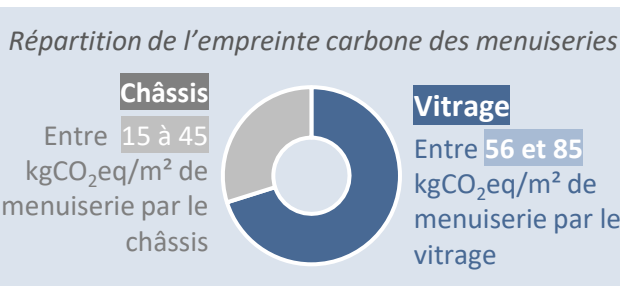
¹ Remarque valable au moment de l'extraction de la base INIES menée dans le cadre de cette analyse (janvier 2022)

Partie 2 - Leviers de décarbonation

Fonction « VITRER »



Les menuiseries peuvent être décomposée en deux contributeurs que sont le vitrage et l'huissierie.



Nature du vitrage

On observe une **variabilité importante de l'impact du verre selon sa nature**. L'épaisseur de verre est directement corrélée à son impact carbone, plus l'épaisseur augmente plus son impact carbone est important. Les verres spéciaux (feuilletage, traitement...) sont également plus carbonés.



Modifier la nature du vitrage n'est toutefois pas toujours possible, car elle répond à d'autres enjeux : thermique, acoustique, transmission lumineuse, sécurité,...

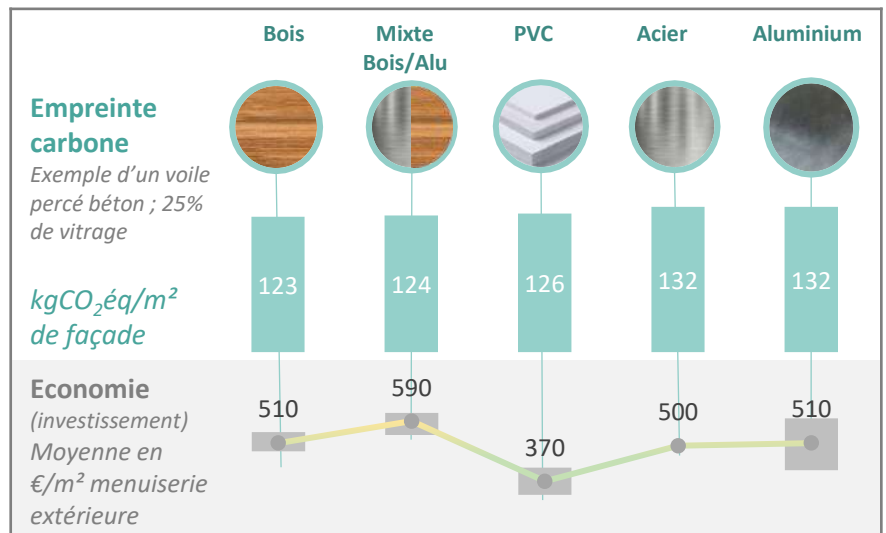
A caractéristiques équivalentes, le choix du fabricant est également un critère susceptible d'influer. **Certains fabricants présentent un impact carbone inférieur de 30 % pour une même composition grâce à la mise en place d'une stratégie de décarbonation de leur process** (usage de calcin, performance des fours,...).

Nature du châssis

La nature de l'huissierie présente une latitude de 9 $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^2$ de façade pour un taux de vitrage de 25%. Cette valeur est toutefois minorée par l'approche statistique utilisée.



D'autres critères interviennent dans le choix de l'huissierie, notamment la performance thermique et acoustique ou encore la fréquence d'entretien.



Fonctions prises en compte (moyenne des médianes par catégorie) : Porter + Remplir/Revêtir + Isoler + Vitrer + Occulter

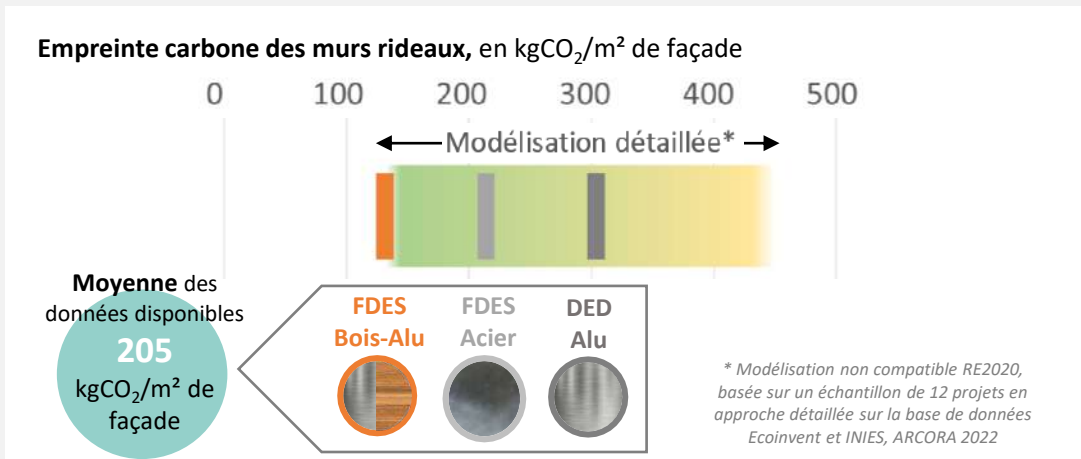
Comme évoqué en partie 1, l'optimisation de la fonction « vitrer » est limitée à ce jour par l'absence de configurateur pour combiner un vitrage précis avec une nature de châssis.



FOCUS MUR RIDEAU

Au remplissage traditionnel des vides laissés par l'ossature, s'est substitué en bureau progressivement et surtout à partir des années 70 un revêtement léger, fabriqué industriellement, posé sur le devant de l'ossature avec une grande vitesse de mise en œuvre entourant le bâtiment comme un rideau.

Il existe une grande diversité de combinaisons pour cette typologie de façade (trame, nature de l'huissierie, nature du vitrage, nature des vêtures,...). **Toutefois, seules 2 FDES (Bois/alu et acier) et une DED (aluminium) permettent de caractériser à ce jour les murs rideaux.** Ces données indiquent une valeur moyenne de l'empreinte carbone de l'ordre de 205 kgCO₂/m² de façade. Celle-ci est portée à presque 60% par la matière première du **vitrage et du châssis**.



A ce jour, le manque de FDES pour les murs rideaux ou de configurateur façade ne permet pas de fiabiliser l'empreinte carbone ni même de l'adapter à son projet.

Cette typologie de façade fait face à d'autres difficultés au regard des évolutions réglementaires, principalement la performance thermique.

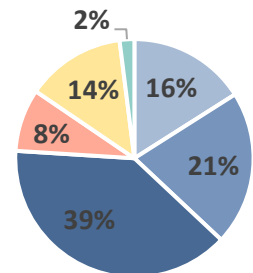
Les axes d'optimisation des murs rideaux :

1. Au même titre que les autres typologies de façade, le **rapport plein/vide** est un axe fort d'optimisation en lien au taux de vitrage et au besoin en occultation à l'échelle du bâtiment.
2. Chaque fixation sur la structure primaire représente un pont thermique à traiter. **La performance thermique globale** nécessitera d'être renforcée pour répondre aux objectifs énergétiques de la RE2020. La conception des façades est également un levier : plus la trame de châssis sera serrée, plus le nombre de ponts thermiques sera important.
3. Les **caractéristiques du vitrage** représentent le troisième levier identifié

Empreinte carbone du mur-rideau simple-peau ossature aluminium

Ratio vitré 61% / Mur rideau simple peau, menuiserie en aluminium

- Protection solaire
- Parties vitrées
- Châssis
- Partie opaque
- Fabrication et transport
- Equipements (quincaillerie, poignées,...)



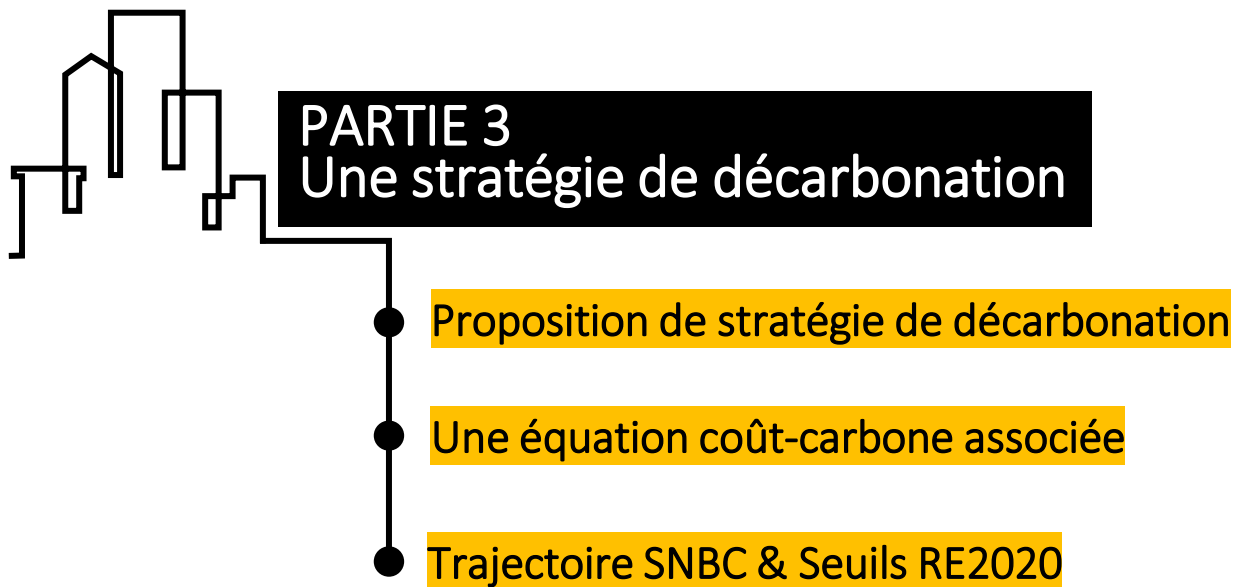
Source : ARCORA, 2021, Modélisation issues de données Ecoinvent

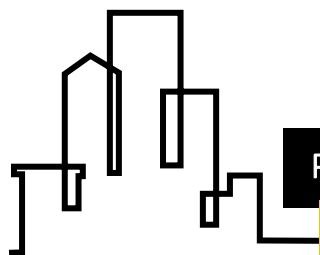


DES PRESCRIPTEURS
BAS CARBONE

Brief Façade

Les messages clés





PARTIE 3 – Une stratégie de décarbonation

Proposition de stratégie de décarbonation

Chronologie des leviers dans un processus de conception

La hiérarchie des impacts par fonctions composant la façade et le potentiel d'optimisation permettent d'esquisser une approche méthodologique de la conception Bas Carbone des Façades.

Processus de conception

Esquisse des volumes

Matérialité



CONSOMMER MOINS *Frugalité /circularité / durabilité*

1

▶ **Optimiser la compacité** Réduire la consommation en matériau est un axe transversal à étudier, par la conception du bâtiment, le choix des matériaux au travers de leur impact direct ou ultérieur (durée de vie, réemployabilité, recyclage).



CONSOMMER MIEUX

2

▶ **Optimiser le rapport plein/vide** L'identification de l'optimum du taux de vitrage présente de nombreux co-bénéfices au regard du carbone, de l'énergie, du confort thermique ou encore de l'économie de projet. Ce paramètre structurant doit être étudié dans les premières phases de conception avant qu'il ne soit figé.

3

▶ **Identifier la typologie de façade** Tous les modes constructifs n'offrent pas un même potentiel d'optimisation. Le système constructif doit ainsi être questionné très tôt dans la conception, influençant le panel de solution possible pour les autres fonctions.

Porter

4

▶ **Optimiser la nature des matériaux**

Revêtir

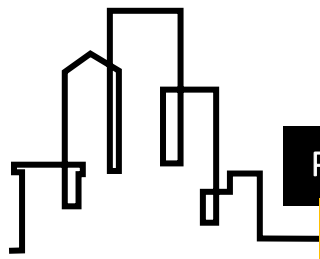
Remplir

Vitrer

Occulter

Les grandes orientations figées, la réflexion sur la nature des matériaux peut être initiée sur le revêtement et le remplissage dont le potentiel d'optimisation est significatif, ainsi que les menuiseries (vitrage et châssis), et les occultations.

Les choix doivent être pondérés avec le design architectural, le critère économique, l'obsolescence et les contraintes réglementaires.

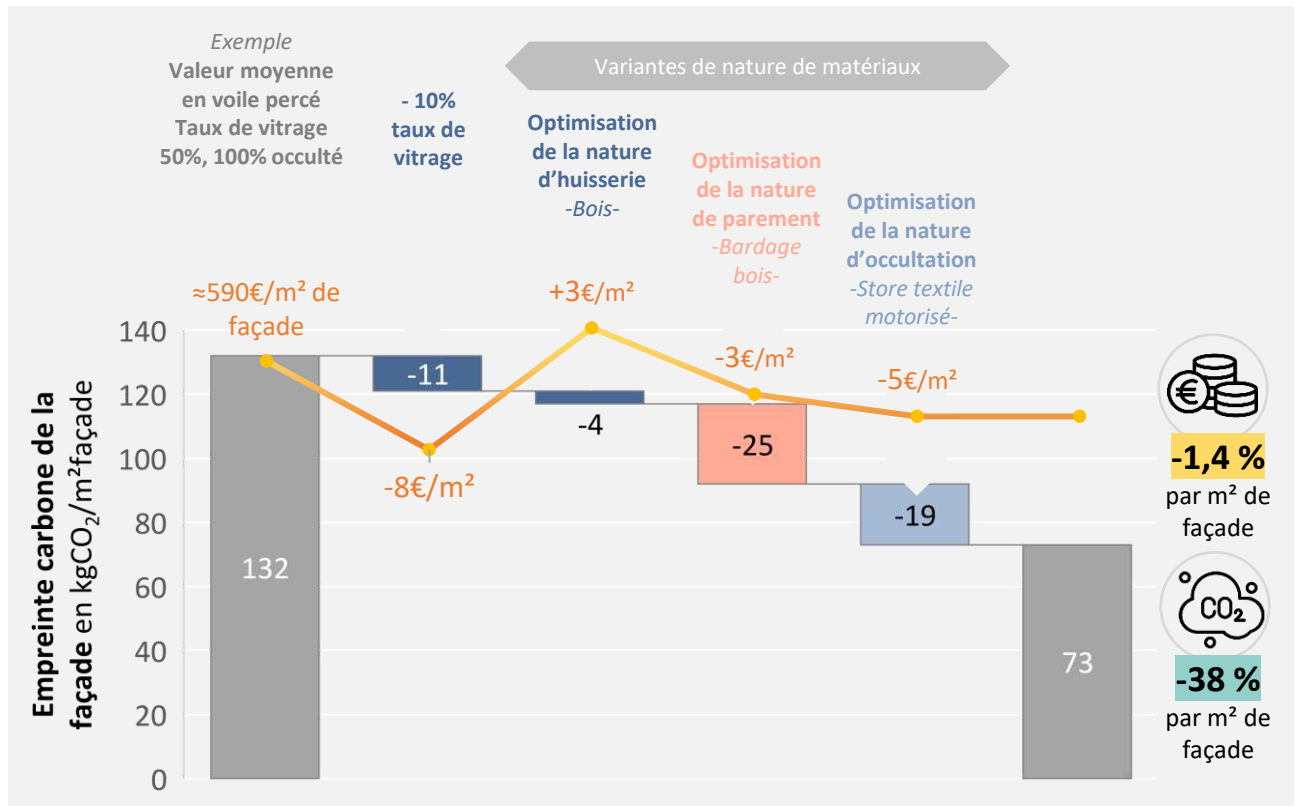


PARTIE 3 – Une stratégie de décarbonation

Une équation coût-carbone associée

EXEMPLE D'UN SCENARIO D'OPTIMISATION CARBONE D'UNE FAÇADE

Le scénario ci-dessous est donné à titre d'exemple. Le choix des optimisations est en effet à confronter aux autres critères de performance et de confort pour identifier l'optimum coût-carbone de chacun des projets.



Remarque pour l'analyse : les gains (environnementaux et économiques) sont calculés en comparant une moyenne de médianes (moyenne de plusieurs matériaux) à une médiane spécifique (un matériau spécifique), c'est une approche statistique. Ces gains ne sont donc pas applicables de manière générique lors de l'usage des matériaux cités.

Optimiser l'empreinte carbone d'une façade n'implique pas systématiquement un surcoût. Elle implique toutefois d'adapter ses caractéristiques architecturales au travers de sa matérialité et éventuellement du rapport plein-vide.



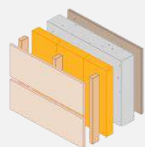
UN PANEL STATISTIQUE DE SOLUTIONS DÉPENDANT DES CONTRAINTES TECHNIQUES

Les **panels de solutions** calculés dans ce brief sont issus d'analyses statistiques non entièrement représentatives des techniques constructives réelles. En effet, **certaines contraintes techniques ne permettent pas d'utiliser ou d'assembler tous les matériaux** dans des conditions spécifiques.

La réglementation en termes de sécurité pour le bâtiment est un exemple de ces contraintes techniques. Le cas des règles de sécurité incendie illustre particulièrement ce point, notamment en ce qui concerne les immeubles de logement de moyenne et grande hauteur. En effet, **le respect de ces critères de sécurité influe naturellement sur le panel de solutions exploitables et, plus particulièrement, sur les matériaux disponibles dans le cadre de la prescription bas carbone.**

Illustration de l'influence des critères de sécurité incendie sur le panel de solutions bas-carbone disponibles

Voile percé isolé par l'extérieur (ITE) et bardage ventilé

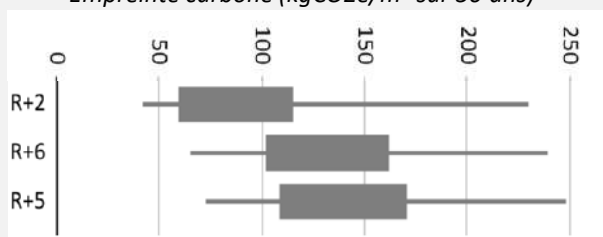


Projet 1 : logements R+2, région parisienne, béton CEM II A/S XC4, taux de ferrailage 30kg

Projet 2 : logements R+6, région niçoise (zone sismique), béton CEM II A/L XF1, taux de ferrailage 60kg

Projet 3 : logement R+5 en région parisienne, béton auto-plaçant, taux de ferrailage de 50kg

Empreinte carbone (kgCO₂e/m² sur 50 ans)



De nombreuses solutions biosourcées ne sont pas applicables aux projets en R+5 et R+6 (habitations classés en troisième famille⁽¹⁾ du point de vue de la sécurité incendie).

Cette réduction du panel de matériaux disponibles ne permet donc plus d'atteindre les valeurs théoriquement optimales sur ces configurations.

kompozite

Source : Kompozite, www.kompozite.io

Les critères de confort et de sécurité des occupants sont des paramètres centraux, susceptibles de limiter le panel de solutions disponibles. Le potentiel de décarbonation est donc variable pour un projet et un contexte donné (hauteur du bâtiment, zone sismique, etc.)

⁽¹⁾Voir l'arrêté relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation (https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000038933527/)

Partie 3 - Une stratégie de décarbonation

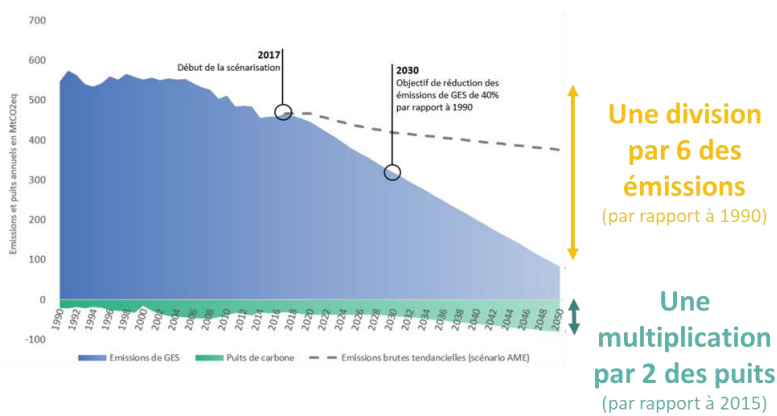
PARTIE 3 – Une stratégie de décarbonation

Trajectoire SNBC & Seuils RE2020

Les objectifs de neutralité carbone, déclinés au travers la future réglementation environnementale des bâtiments (RE2020), sont ambitieux et nécessiteront d'activer des leviers sur toute la chaîne de valeur : à chaque étape de conception et pour l'ensemble des acteurs de la construction (industriels, concepteurs, entreprises, ...).

La SNBC (Stratégie de Neutralité Bas Carbone)

Une trajectoire carbone de la France pour l'ensemble secteurs de l'économie



Trois secteurs de la SNBC pour le bâtiment

OBJECTIFS
de réduction des émissions de GES par rapport à 2015

BÂTIMENTS (Energie)
2030 : -49%
2050 : Décarbonation complète

INDUSTRIE
2030 : -35%
2050 : -81%

Puits de carbone

UTILISATION DES TERRES ET DE LA FORET

La division par 6 des émissions à horizon 2050, ne pourra se faire qu'au travers du déploiement d'une multiplicité de solutions. La mixité offre la possibilité de combiner les matériaux selon leurs bénéfices et leurs défauts, pour atteindre le meilleur compromis : **mettre le bon matériau au bon endroit.**

Objectiver l'empreinte carbone des façades ?

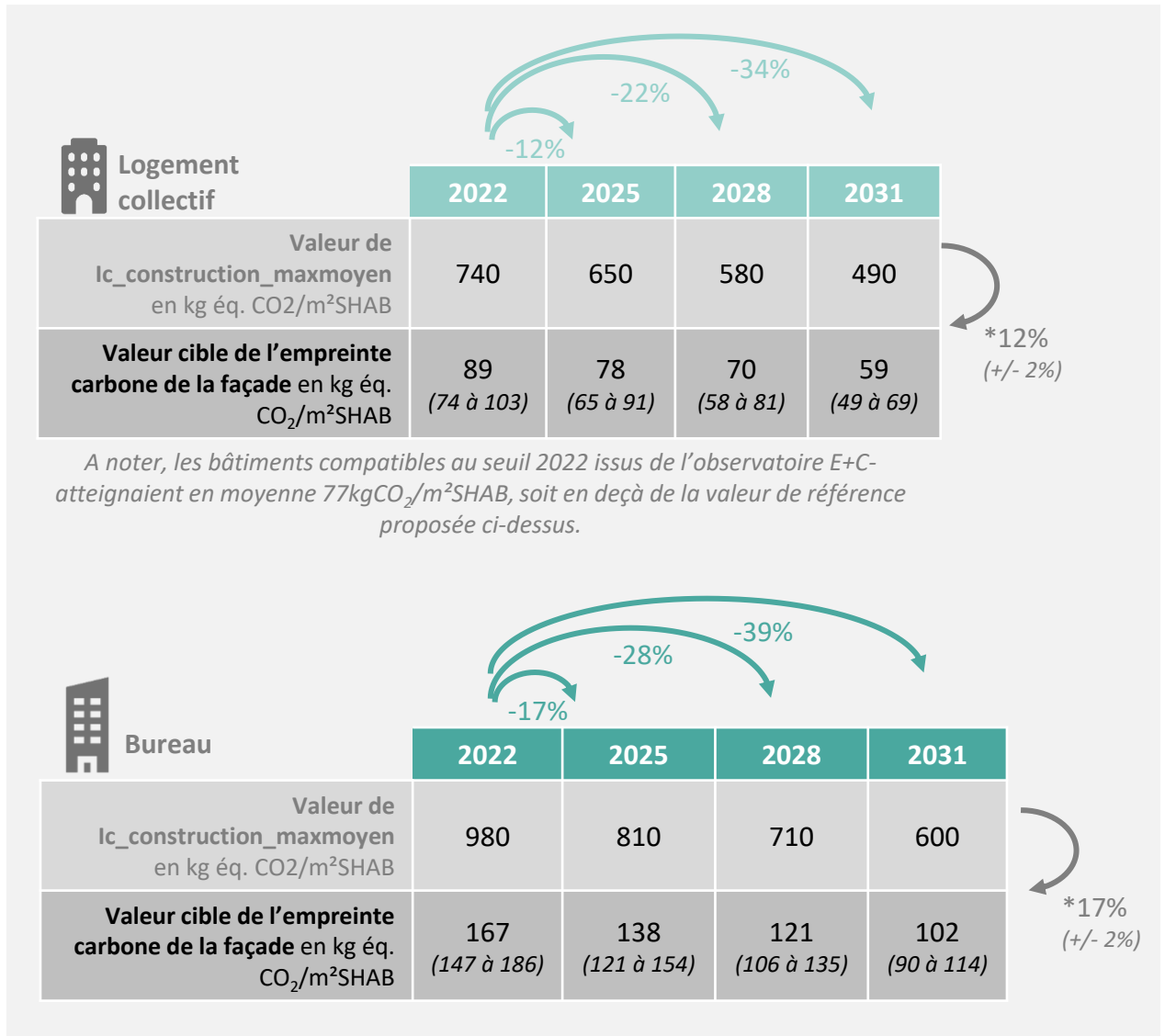
Alignée avec la SNBC, la Réglementation environnementale (RE2020) impose dans les constructions neuves une optimisation continue des performances carbone au travers des seuils Ic-construction progressifs de 2022 à 2031.

La façade représente 10 à 20% de l'empreinte carbone du bâtiment. L'analyse des leviers de décarbonation actuels indique un gain théorique pouvant atteindre plusieurs dizaines de kgCO₂eq/m² à l'échelle du bâti. Ce potentiel d'optimisation est toutefois à croiser avec les multiples rôles qu'assume la façade (thermique, sécurité incendie, acoustique, confort visuel...).

Partie 4 - Trajectoire SNBC et seuils RE2020

L'approche théorique présentée ci-après est basée sur l'hypothèse d'un effort de décarbonation similaire à chacun des lots. La façade devrait alors réduire son impact d'environ 10 à 12 % à chaque palier.

Les tableaux ci-dessous indiquent les valeurs de référence à atteindre pour rester dans la trajectoire des différents seuils de la RE2020 :



Les solutions compatibles à la RE2020 ?

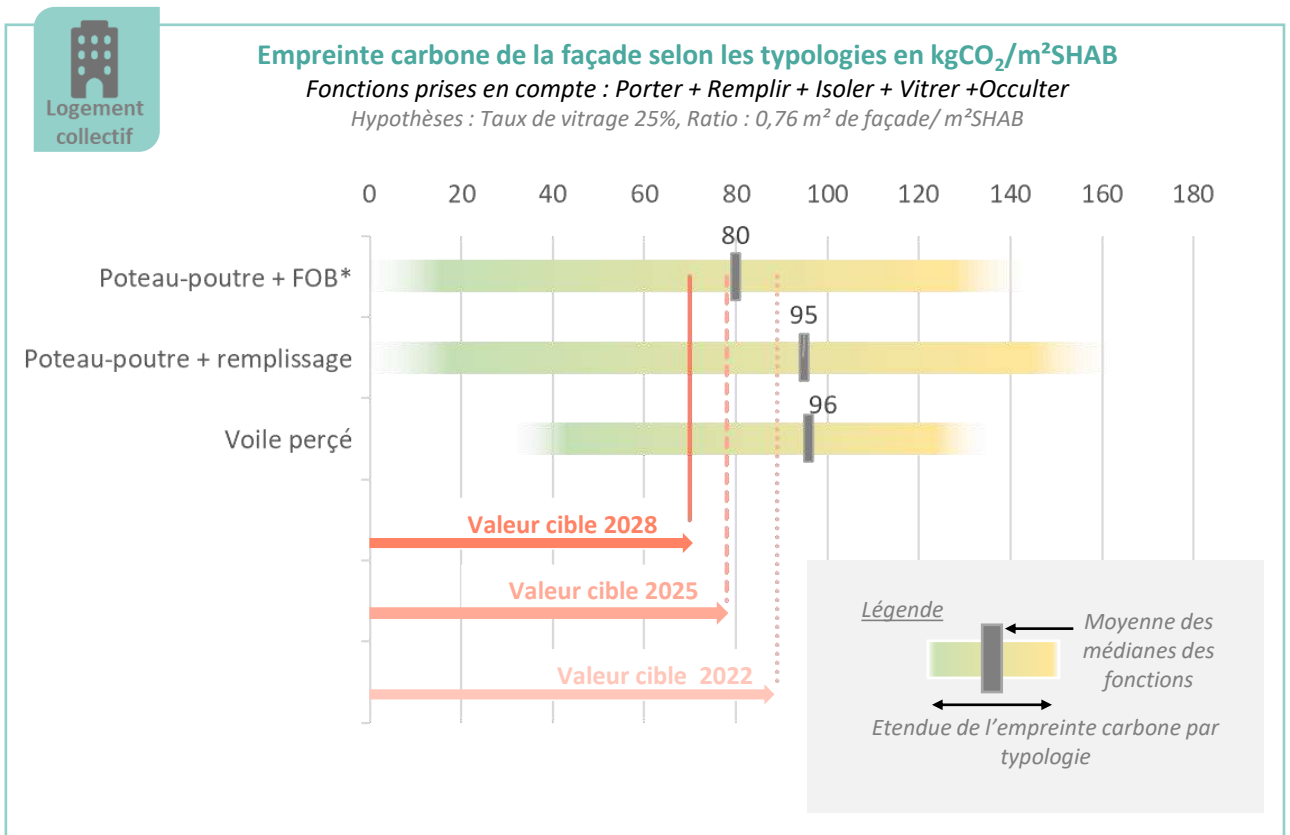
La donnée carbone évolue avec l'arrivée de nouvelles fiches et l'optimisation des données existantes. Les filières travaillent également à la décarbonation de leurs produits et de leur process, et l'industrialisation de nouvelles solutions afin de s'inscrire dans la trajectoire imposée par la Stratégie Nationale Bas Carbone. La cartographie présentée ci-dessous n'offre ainsi qu'une vision de l'état actuel qui est amené à progresser.

Partie 4 - Trajectoire SNBC et seuils RE2020

Deux paramètres ont été identifiés au travers de cette publication comme des critères influençant significativement l’empreinte carbone de la façade :

- La compacité, avec le rapport entre la surface de façade et la surface utile,
- Le rapport plein/vide

Les pratiques constructives actuelles montrent une variabilité plus marquée sur ces deux critères en tertiaire qu’en logement collectif. Dans les exemples ci-après, seul le bureau a donc fait l’objet de variantes pour mesurer l’incidence de ces paramètres dans la compatibilité des typologies de façades avec les seuils de la réglementation.



En logement collectif :

Les **quatre typologies de façade restent ainsi compatibles, avec un effort plus marqué pour les voiles percés** en l'état actuel des solutions disponibles sur le marché.

La typologie Poteaux-Poutres offre le plus large panel de leviers de réduction

Partie 4 - Trajectoire SNBC et seuils RE2020

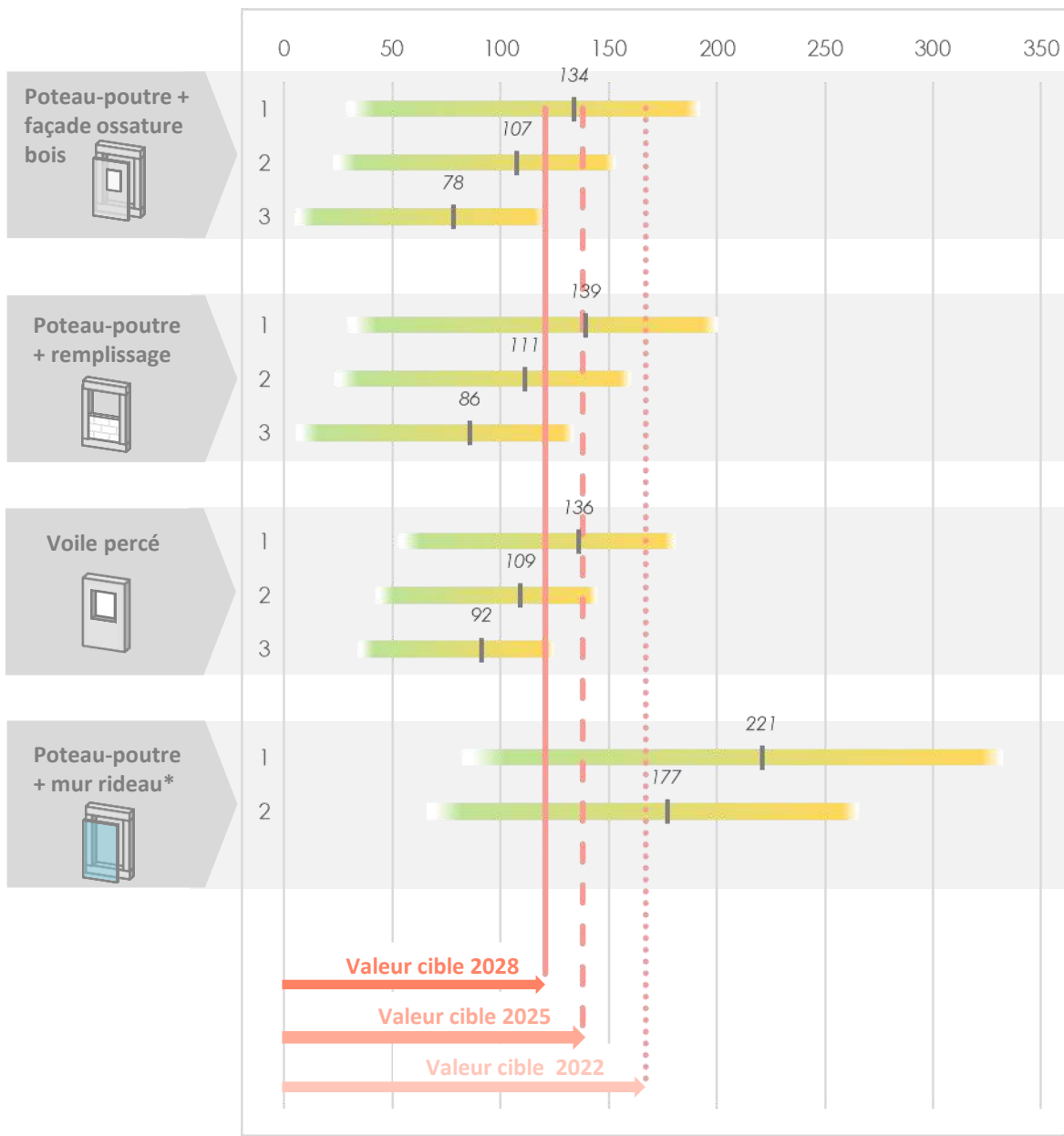


Empreinte carbone de la façade selon quatre typologies en $\text{kgCO}_2/\text{m}^2\text{SU}$

Fonctions prises en compte : Porter + Remplir + Isoler + Revêtir + Vitrer + Occulter

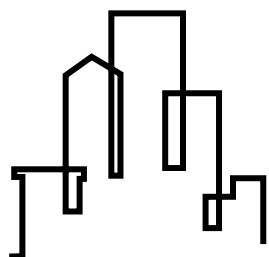
Trois configurations étudiées:

- 1 Taux de vitrage 70%, Ratio : $0,75 \text{ m}^2$ de façade/ m^2SU ↷ Amélioration de la compacité
- 2 Taux de vitrage 70%, Ratio : $0,6 \text{ m}^2$ de façade/ m^2SU
- 3 Taux de vitrage 40%, Ratio : $0,6 \text{ m}^2$ de façade/ m^2SU ↷ Amélioration du taux de vitrage



Le degré d'effort pour respecter les seuils progressifs de la RE2020 est fortement influencé par l'**optimisation de la compacité et du taux vitrage de la façade**. Agir sur ces deux paramètres permet ainsi de **disposer d'un panel de configurations plus large au sein d'une même typologie**.

Les systèmes poteaux-poutres et voile percé permettent de respecter les seuils de la RE2020, avec une restriction limitée dans les choix des matériaux. En revanche, dès l'entrée en vigueur de la RE2020, un **effort très marqué est nécessaire pour les murs rideaux**.



Remerciements

Remerciements aux co-rédacteurs



Christophe RODRIGUEZ, Directeur Général Adjoint
Cécile DELOFFRE, Consultante Impacts environnementaux



Natan LEVERRIER, Consultant Senior
Paco VADILLO, Consultant Expérimenté
Juliette SORRET, Consultante



Charlotte MIRIEL, Founder at AurOre-S



Arnaud CLAVREUL, Chef de projet
Aymeric DE LA BACHELERIE, Chef de projet
Façades & Environnement
Charles LITZELMANN, ingénieur
Emmanuel VIGLINO, Directeur
Maria CARBONELL, Chef de projet



Albane GAFFAJOLI, Ingénieur d'études
Paul CLÉMENT, Directeur de Projet –
Responsable Agence de Lyon



Laélia VAULOT, Architecte



Laetitia MONTADOR, Chargée d'affaires
Construction Durable



Karine JEVELOT, Architecte



Fior SCOTT-NOUZILLE, Economiste de la
construction – Quantity Surveyor
Nils BOLLOCH, Economiste de la construction
Willy EUGENE, Economiste de la construction
Marius LAFON, Chef de projet carbone
Paul GRALL, ingénieur énergie-carbone



Romain MARTEN, Architecte-ingénieur
- Chef de projets bas carbone &
résilience



Amandine Lebailly, Directrice Agence
Réemploi et Recyclage et Responsable
Pôle Développement
Claudie FERLAY, Développement des
métiers de l'énergie et du bas carbone -
Assistance, Patrimoine, BIM



David LEBANNIER, Responsable - Activité
Conseil; Pôle Construction
Pauline AUBIN, Ingénieure Conseil; Pôle
Construction

Remerciements aux acteurs interviewés



Estelle VIAL, Ingénieure
Environnement, Vérificatrice FDES
(habilitation INIES), BIOSENSE



Amor BEN LARBI, Directeur Projets de Recherche
Anna PALISSON, Adjointe au Directeur Technique
Valérie PRUDOR, secrétaire générale
Thiebault MAQUENHEM, Directeur de projets Environnement, Energie et Développement Durable



Lucile CHARBONNIER, Directrice RSE et Développement Durable - PLACO® · Saint-Gobain.
Manel BEN SAAD, Directrice de la Prescription Nationale Placo® ISOVER
François ROUX, Prescripteur - Saint-Gobain glass
Arnaud LETOURMY, Directeur Grands Comptes Tertiaire Privé & Pôle Modularité Bâtiment- Saint-Gobain Solutions France
Isabelle PIRES, Marketing / Chef de Marché / Resp. Environnement - Saint-Gobain Glass



Audrey LAPOUGE, Ingénieure Evaluations Environnementales



Dominique PELISSIER, Secrétaire Général - Vice Président



Damien Cuny, CEO
Etienne de Saint Germain, R&D Engineer in Numerical and Combinatorial Optimization



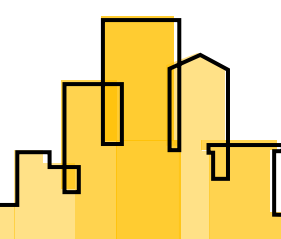
Remerciements aux membres du Hub des prescripteurs bas carbone

Les maitres d'ouvrage et entreprises générales

Merci au CSTB



Les maitres d'œuvre



Rejoignez le HUB !

DEUX COMMUNAUTÉS



- Architectes
- Bureaux d'étude toutes disciplines
- Assistants à maîtrise d'ouvrage environnementalistes
- ...

DES OUTILS DE PRESCRIPTION DU BAS CARBONE

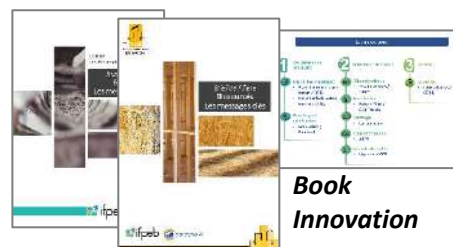
Outil Observatoire



Briefs techniques & innovations



Des messages clés pour comprendre et s'acculturer aux enjeux du carbone



**Brief de filière Béton
Brief Matériaux biosourcés**

Une vision stratégique et opérationnelle des filières, complétée par une cartographie des acteurs et un panorama des meilleures pratiques.

Outil Matériaux

Quels matériaux choisir pour baisser l'empreinte carbone? Quelle élasticité coût carbone ?

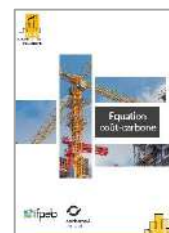
Ateliers de partage et travaux collaboratifs

Partager les bonnes pratiques, comprendre l'équation coût carbone et anticiper les ruptures, ...

Equation coût-carbone

Analyse et optimisation de cas d'étude par une équipe pluridisciplinaire

- 2021: lots architecturaux
- 2022 lots techniques



REJOIGNEZ LE HUB DES PRESCRIPTEURS BAS CARBONE

Contactez nous pour plus d'informations :

hub_bascarbone@ifpeb.fr

