



Implenia

Real Estate
Development

NET ZERO

Comment s'engager sur la
voie des bâtiments à zéro
émission de carbone ?

Livre Blanc

Contenu

Avant-propos **3**

Introduction **4**

Définition du net zéro **5**

Phases du cycle de vie d'un bâtiment **6**

Répartition du carbone **7**

Valeurs cibles du carbone **8**

Principaux leviers de la décarbonation **9**

- Sélection du site **10**

- Compacité **11**

- Électricité renouvelable **12**

- Ombrage naturel & refroidissement passif **14**

- Niveaux souterrains **15**

- Vitrage de façade **15**

- Installations techniques **16**

- Consommation thermique **17**

- Matériaux et produits de construction **18**

Compensation des émissions de carbone **22**

Conclusion **23**

Bibliographie **24**

Clause de non-responsabilité, remerciements et contacts **25**



Avant-propos

« Grâce à une bonne combinaison énergies renouvelables, de systèmes intelligents et de matériaux écologiques, nous développons les bâtiments que les générations futures méritent. »

Marc Lyon, Head Real Estate Development Switzerland

En tant que prestataire international de premier plan dans le domaine de la construction et de l'immobilier, Implenia prend ses responsabilités environnementales et sociales au sérieux. Dans le cadre de son engagement ESG, Implenia souhaite contribuer à un secteur immobilier durable - un secteur qui crée de la cohésion sociale au lieu de la division et qui opère en toute sécurité dans les limites de notre planète, et non au-delà. Face à la crise climatique qui se profile, il est essentiel de décarboner le parc immobilier existant et de développer de nouveaux bâtiments respectueux du climat.

Les bâtiments ne doivent plus nécessairement être de gros pollueurs climatiques. Chaque nouveau projet

de développement et projet de rénovation devraient aborder la question : comment le futur bien immobilier peut servir les personnes et l'environnement de manière égale sur le long terme ? En développant, construisant et exploitant de grands projets immobiliers, Implenia a la possibilité de contribuer à la réalisation des objectifs climatiques. Nous entrons dans une ère de bâtiments « net zéro » en termes de carbone, qui peuvent servir de centrales électriques décentralisées, de puits de CO₂ et d'habitats pour la (bio)diversité. Implenia Real Estate Development entend faire de ce Livre Blanc une des nombreuses contributions à cette nouvelle ère.

Introduction

« Le fait que le CO₂ soit transparent et inodore est la plus grande tragédie de l'humanité. »

Sobek 2020

L'augmentation exponentielle de la concentration des gaz à effet de serre d'origine anthropique depuis l'industrialisation entraîne un renforcement de l'effet de serre. Ce phénomène cause des dommages irréversibles aux écosystèmes naturels et à notre société. L'élévation du niveau des mers, les phénomènes météorologiques extrêmes tels que sécheresses et inondations, ainsi que les extinctions d'espèces en sont des exemples concrets. Pour préserver le bien-être des populations et l'équité intergénérationnelle, il est essentiel de prendre des mesures d'atténuation

et d'adaptation au changement climatique. Le secteur immobilier est responsable d'environ 36 % de la consommation d'énergie primaire et de 37 % des émissions de gaz à effet de serre. Il devient à juste titre le focus de la société civile et des décideurs politiques dans leurs efforts pour réduire les émissions mondiales de carbone et atteindre l'objectif de 1,5 degré de l'Accord de Paris d'ici 2050. La décarbonation doit être au cœur du développement, de la construction et de la gestion des biens immobiliers.

Évolution des émissions mondiales de gaz à effet de serre

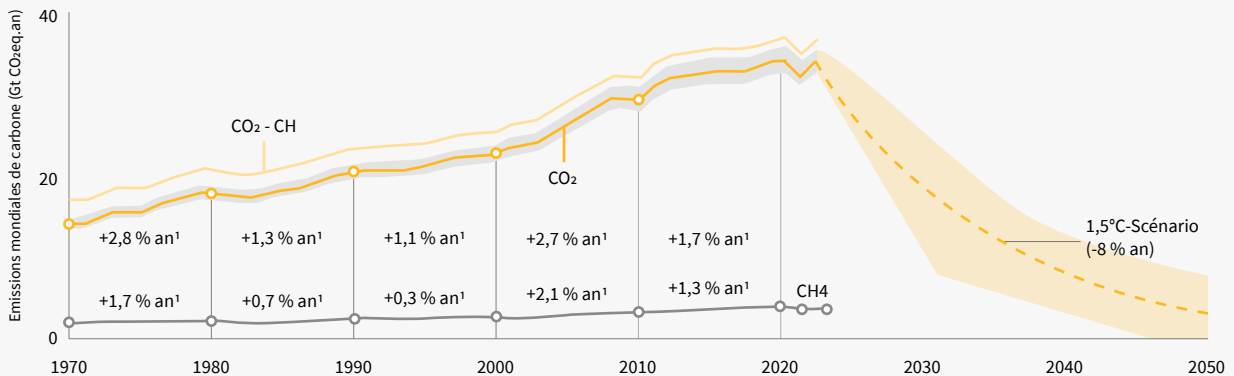
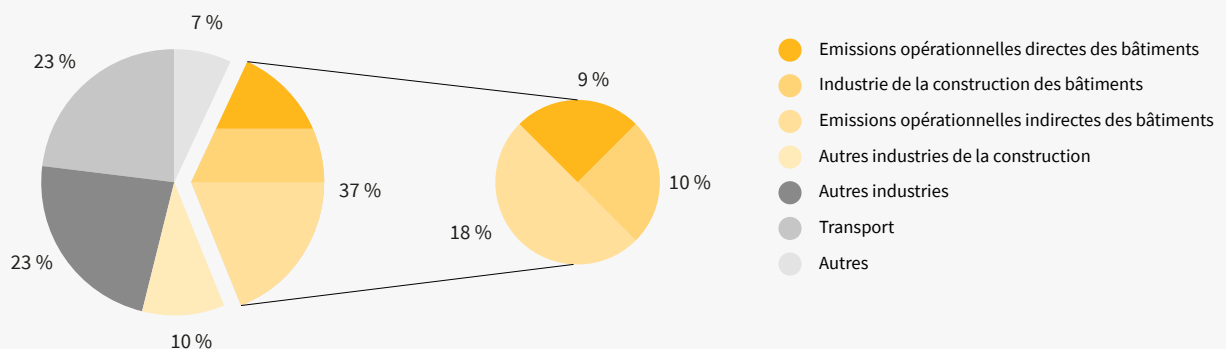


Figure 1 : Shéma redessiné à partir de « Nature reviews earth & development »

Part des émissions des bâtiments et de la construction (en CO₂ eq.), 2020

Figure 2 : Part mondiale des émissions, 2020²



¹ cf. Liu et al. 2022, p. 2

² basé sur le Programme des Nations Unies pour l'environnement 2020, p. 4

Définition du net zéro

Dans les milieux universitaires et politiques, il existe différentes interprétations de l'expression « net zéro ». Certaines études utilisent le terme « net zéro carbone » pour se référer uniquement aux émissions opérationnelles d'un bâtiment. D'autres incluent également le carbone embarqué dans les matériaux de construction, mais considèrent les matériaux renouvelables tels que le bois comme des puits de carbone. D'autres définitions encore ont une interprétation spécifique lorsqu'il s'agit de la question de la compensation.

Afin de créer un terrain d'entente, le présent rapport propose la définition suivante de l'expression « net zéro carbone ».

Notre définition

Les émissions totales de carbone liées à la construction et à la consommation annuelle d'énergie du bâtiment, ainsi qu'à sa démolition en fin de vie, atteignent au moins un solde net de zéro ; sinon les émissions excédentaires sont entièrement compensées par une surproduction d'énergies renouvelables sur le site ou par des compensations carbone.

En règle générale, un bâtiment à zéro émission de carbone contient une part importante de matériaux renouvelables et biosourcés, très efficace sur le plan énergétique et alimenté en grande partie, voire totalement, par des sources d'énergies renouvelables sur site et/ou hors site, telles que le solaire thermique ou l'énergie photovoltaïque (PV). La compensation des émissions de carbone n'est considérée que comme une solution provisoire lorsque des difficultés techniques ou d'autres circonstances ne permettent pas à un bâtiment d'atteindre le net zéro carbone (voir le chapitre Compensation des émissions de carbone).

Équation net zéro

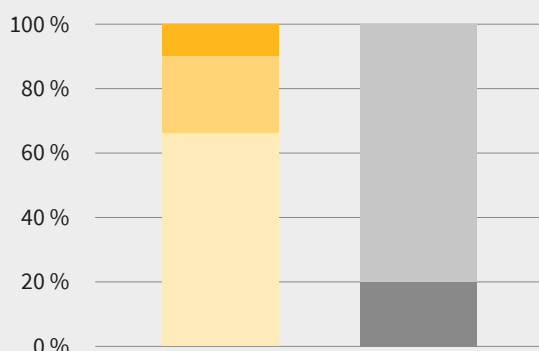


Figure 3 : Définition d'un bâtiment net zéro carbone

- Fin de vie
- Carbone opérationnel
- Carbone incorporé
- Surproduction d'énergies renouvelables
- Compensation

Principales stratégies pour atteindre le net zéro :

1. Réduire la consommation de matériaux et d'énergie
2. Utiliser des matériaux neutres ou négatifs en carbone
3. Utiliser uniquement des énergies renouvelables pour le chauffage, le refroidissement et l'électricité

Phases du cycle de vie d'un bâtiment

La décarbonation de l'immobilier requiert de prendre en compte l'ensemble du cycle de vie du bâtiment. Depuis le choix du site, en passant par la phase de développement et de construction, jusqu'à l'exploitation et la fin de vie de l'ouvrage, toutes les décisions et les actions doivent être évaluées en fonction de leur impact glo-

bal. La norme européenne EN 15978, à laquelle cette étude se réfère, présente un cadre pour les phases du cycle de vie d'un bâtiment qui peut être utilisé lors de l'analyse de sa performance environnementale dans le cadre d'une analyse du cycle de vie (ACV) (Figure 4).

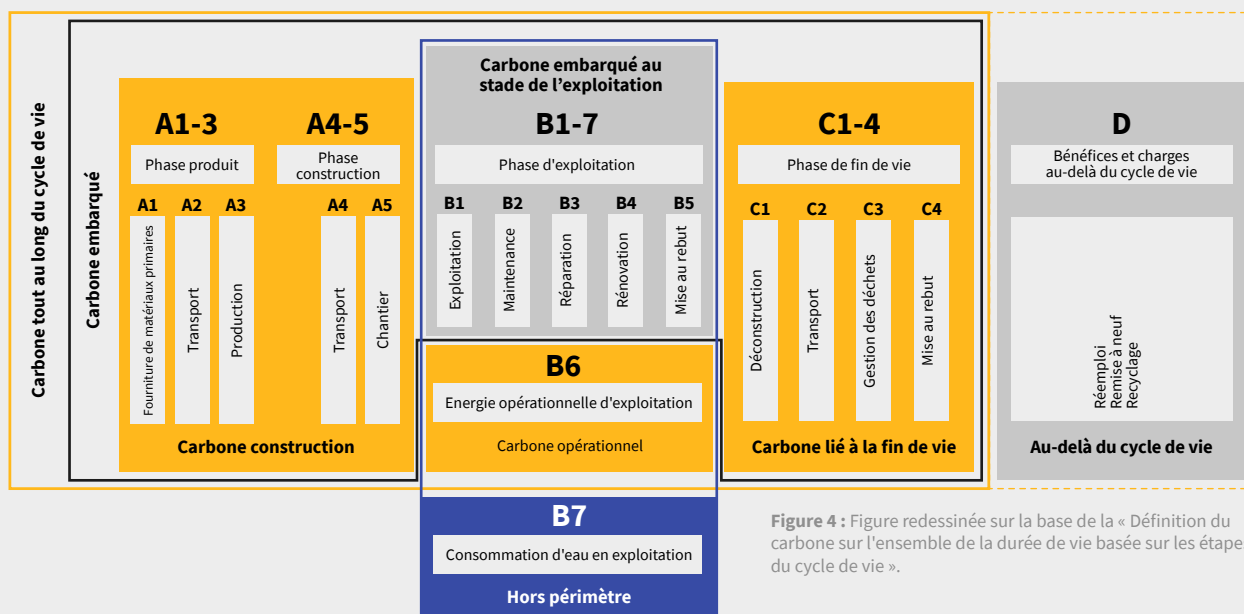


Figure 4 : Figure redessinée sur la base de la « Définition du carbone sur l'ensemble de la durée de vie basée sur les étapes du cycle de vie ».

Définition importante

Carbone tout au long du cycle de vie :

Émissions provenant de toutes les phases du cycle de vie, englobant à la fois le carbone embarqué et le carbone opérationnel. Leur potentiel de réchauffement global (PRG) est quantifié en unités d'équivalence de dioxyde de carbone. Un kilogramme de dioxyde de carbone a donc un PRG de 1 kgCO₂ eq.

Carbone embarqué au stade de l'exploitation :

Émissions associées aux matériaux et processus nécessaires pour maintenir et entretenir le bâtiment ou l'infrastructure pendant son utilisation, par exemple en cas de rénovation.

Carbone opérationnel :

Les émissions associées à l'énergie utilisée (B6) pour faire fonctionner le bâtiment ou l'infrastructure.

Au-delà du cycle de vie :

Les émissions de carbone ou les réductions d'émissions résultant de la réutilisation ou du recyclage des matériaux, ou les émissions évitées en utilisant les déchets comme source de combustible pour le même produit ou processus (module D). La prise en compte du module D est essentielle pour maximiser l'utilisation efficace des ressources des matériaux en fin de vie.

Carbone embarqué :

Émissions de carbone associées aux matériaux et aux processus de construction tout au long du cycle de vie d'un bâtiment ou d'une infrastructure.

Carbone construction :

Les émissions causées par les phases de production des matériaux et de construction (A1-5) du cycle de vie avant que le bâtiment ou l'infrastructure ne soit effectivement utilisé.

Carbone lié à la fin de vie :

Les émissions de carbone associées à la déconstruction/démolition (C1), au transport depuis le site (C2), au traitement des déchets (C3) et à l'élimination (C4), c'est-à-dire les phases du cycle de vie d'un bâtiment ou d'une infrastructure qui ont lieu après la fin de son exploitation.

Répartition du carbone

Deux questions centrales se posent en matière de décarbonation : À quel moment du cycle de vie d'un bâtiment les émissions de carbone sont-elles le plus souvent générées ? Quand est ce que des mesures doivent-elles être prises pour avoir l'impact le plus élevé possible ?

Une analyse interne (s'appuyant sur la méthodologie du cahier technique SIA 2040) d'un panel de 30 immeubles résidentiels et de 6 immeubles de bureaux actuellement développés en neuf par Implenia montre qu'environ 74 % du carbone du cycle de vie global est du carbone embarqué (A-C), tandis que le carbone opérationnel (B6) ne représente que 26 % (cf. Figure 5).

Une autre évaluation basée sur un ensemble de données européennes comprenant 214 nouveaux bâtiments multifamiliaux et 108 immeubles de bureaux montre la répartition des émissions uniquement au niveau du

carbone embarqué. Cette analyse montre qu'environ 72 % de l'impact du carbone se produit dans le processus d'extraction des matières premières, de transport, de fabrication et de construction (A1-A5, carbone initial). 24 % sont attribuables à la phase opérationnelle et 4 % à la phase de fin de vie (cf. Figure 6). Les deux évaluations montrent qu'il existe un potentiel de décarbonation important au niveau du carbone embarqué. Le type et l'origine des matériaux de construction, classés comme carbone initial, sont donc très importants. Malheureusement, les réglementations et les subventions sont encore très axées sur les émissions opérationnelles.

Part de carbone embarqué et carbone opérationnel

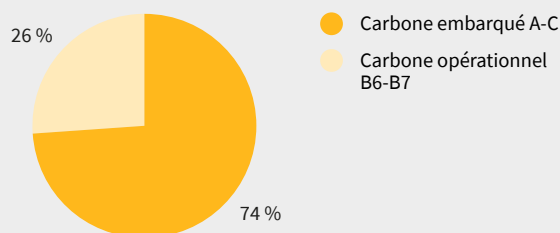


Figure 5 : Estimation des parts de carbone embarqué et de carbone opérationnel sur la base d'une évaluation interne de 30 projets de développement résidentiel et de 6 projets de développement de bureaux.

Estimation de la répartition des émissions de carbone par cycle de vie

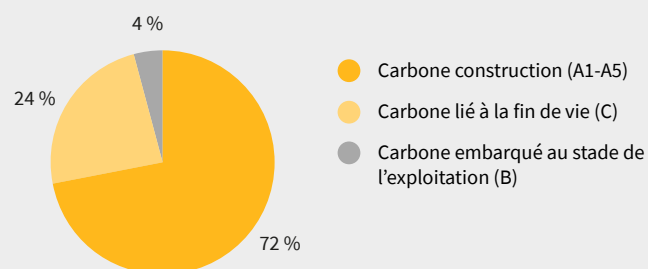


Figure 6 : Répartition estimée des émissions de carbone embarqué par cycle de vie sur la base d'un ensemble de données européennes comprenant 214 immeubles d'appartements et 108 immeubles de bureaux.

Valeurs cibles du carbone

Diverses références nationales permettent d'identifier la position d'un projet en termes de carbone opérationnel et de carbone embarqué. La trajectoire suisse d'efficacité énergétique SIA 2040, par exemple, suggère actuellement une valeur cible pour les bureaux et les bâtiments résidentiels de 9 kgCO₂/m²/an pour le carbone embarqué, ainsi que 2 kgCO₂/m²/an (résidentiel) et 4 kgCO₂/m²/an (bureaux) pour le carbone opérationnel. Tout résultat inférieur à ces valeurs est actuellement considéré comme un bon résultat, même s'il est clair que ces références cibles ne seront pas suffisantes à long terme. Chaque projet ayant des conditions différentes, les résultats doivent toujours être considérés dans le contexte des conditions locales. Une vaste étude portant sur 36 projets de développement d'Implenia basés sur la SIA 2040 et réalisée en 2022 a montré une valeur moyenne du portefeuille de 3,6 kgCO₂/m²/an pour le carbone opérationnel et de 10,4 kgCO₂/m²/an pour le carbone embarqué. En observant l'international, d'autres références institutionnelles et nationales en Europe ont été compilées et confrontées entre elles, bien qu'elles ne soient pas entièrement comparables en raison des différentes méthodes de calcul sous-jacentes (cf. Figure 7 et Figure 8).

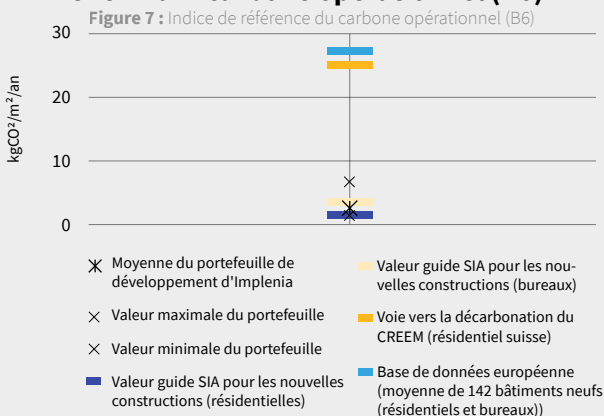
Pour le carbone opérationnel, le Climate Risk Real Estate Monitor (CRREM) fournit des repères spécifiques à chaque pays et à chaque utilisation pour tous les pays de l'Union

européenne (UE) ainsi que pour les plus grands marchés immobiliers internationaux, y compris la Suisse. Il définit des voies de décarbonation pour les bâtiments sur la base de l'engagement de l'Accord de Paris de limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C. Les différentes voies sont adaptées au pays d'origine du bâtiment et à son marché sectoriel. Comme le montre la Figure 9, l'intensité actuelle du carbone opérationnel de la Suisse pour les bâtiments multifamiliaux, par exemple, est de 18,1 kgCO₂/m²/an, ce qui est inférieur à la moyenne de l'Allemagne et de l'UE. Pour respecter le budget carbone dérivé de l'Accord de Paris sur le climat, l'industrie du bâtiment de chaque pays signataire est censée déplacer les émissions de carbone de l'ensemble de son parc immobilier en dessous de la trajectoire de décarbonation spécifiée. Un bâtiment qui se trouve au-dessus de la courbe est appelé « actif échoué ».

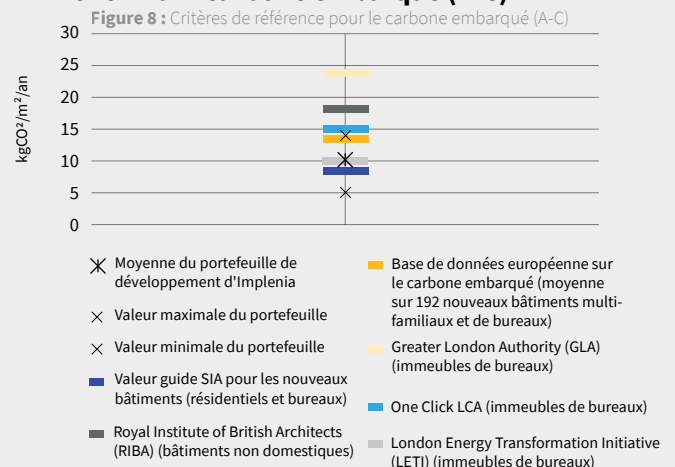
Pour répondre à la réglementation croissante et jouer un rôle de premier plan dans la décarbonation, Implenia Real Estate s'est fixé les objectifs de décarbonation suivants pour les projets de développement en Suisse :

- Pour les nouvelles constructions : Net zéro d'ici 2030 pour le carbone opérationnel et d'ici 2040 pour le carbone embarqué.
- Pour les rénovations : Net zéro pour le carbone opérationnel d'ici 2050.

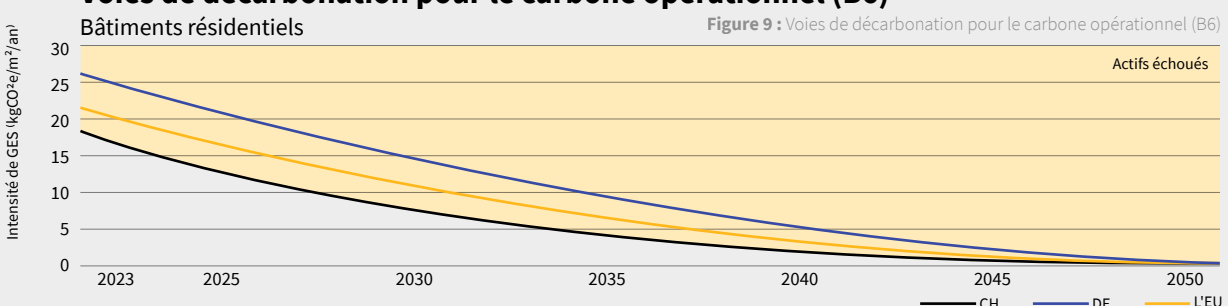
Benchmark carbone opérationnel (B6)



Benchmark carbone embarqué (A-C)



Voies de décarbonation pour le carbone opérationnel (B6)



³ cf. Hill et al. 2021, p. 18

⁴ cf. Projet CRREM, 2021

Principaux leviers de la décarbonation

Il n'existe pas de solution unique pour réduire la teneur en carbone d'un bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie.

Il faut une combinaison de différentes stratégies portant sur des sujets tels que des éléments conçus de manière efficace, la compacité des bâtiments, les systèmes énergétiques à faible émission de carbone et les matériaux de construction à faible émission de carbone. L'analyse de 36 projets de développement d'Implemia a montré que les leviers les plus efficaces pour la décarbonation se trouvent au début de la phase de planification stratégique, en commençant par le choix du site. Si les conditions du site sont défavorables du point de vue des énergies renouvelables, il est beaucoup plus difficile d'atteindre le net zéro carbone. Les paramètres de construction définis à un stade précoce - tels que la

forme, la compacité, l'orientation, les niveaux souterrains et la structure porteuse - ont également une influence significative sur les objectifs en matière d'émissions. Plus tard dans le processus, les matériaux et les produits sont sélectionnés pour s'assurer que les éléments de construction répondent à des objectifs de performance spécifiques en matière d'ingénierie structurelle, de physique du bâtiment et de sécurité incendie. Comme le montre la Figure 10, d'autres leviers efficaces apparaissent au cours de la phase d'exploitation lorsqu'il s'agit de déterminer le mix électrique et de faire des choix pour optimiser en permanence les systèmes en exploitation.

Chronologie de l'impact de la décarbonation

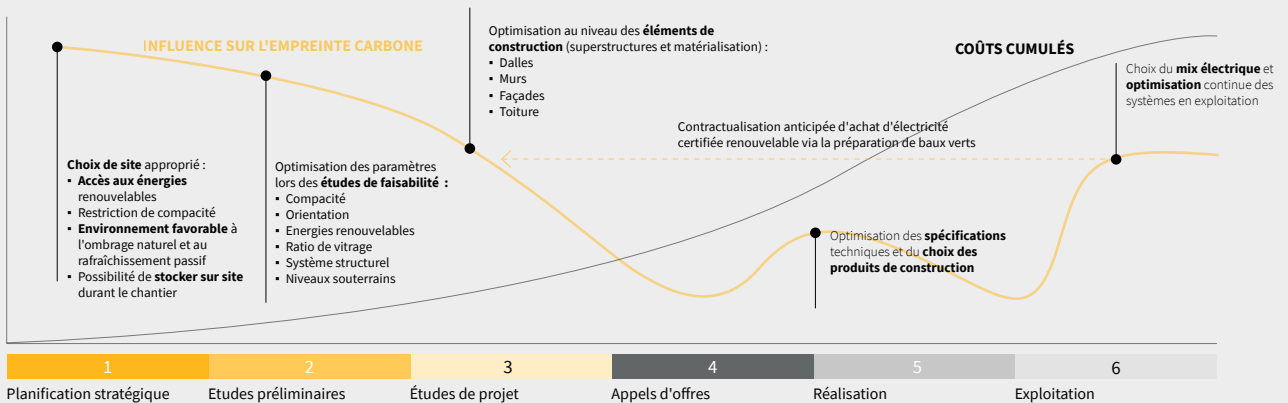


Figure 10 : Chronologie de l'impact selon les stratégies et leviers employés

Les chapitres suivants examinent les différents leviers à employer pour réduire les émissions de carbone opérationnel et embarqué. La Figure 11 donne un premier aperçu de ces leviers.

Principaux leviers de décarbonation au niveau du carbone opérationnel et du carbone embarqué

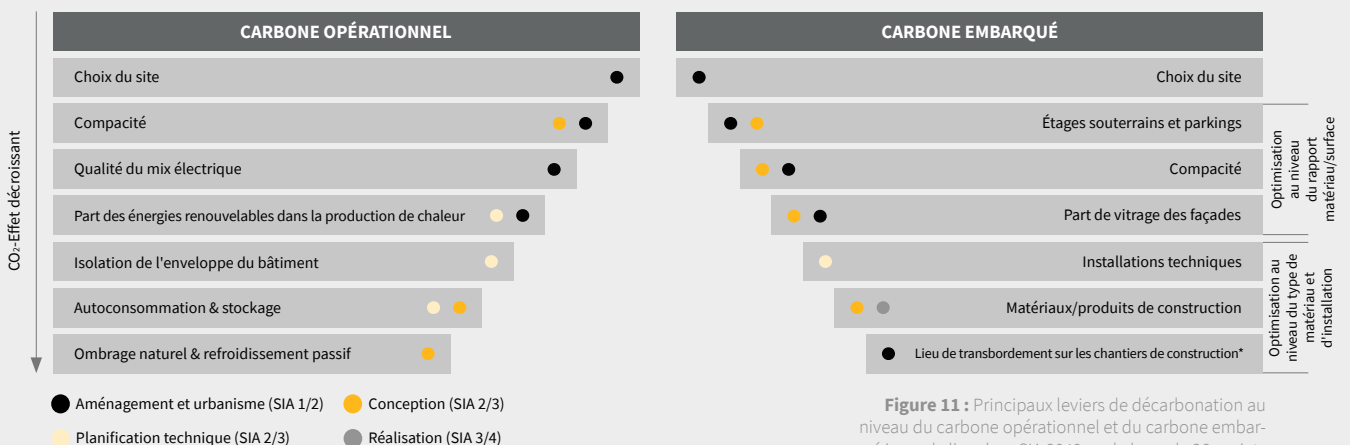


Figure 11 : Principaux leviers de décarbonation au niveau du carbone opérationnel et du carbone embarqué issus de l'analyse SIA 2040 sur la base de 36 projets

Sélection du site

Le potentiel de décarbonation d'un projet dépend fortement de facteurs exogènes, spécifiques au site.

Les variables spécifiques au site qui influencent le bilan carbone d'un bâtiment comprennent son accès aux énergies renouvelables pour le chauffage et le refroidissement (par exemple, le chauffage urbain ou la géothermie), la topographie et la géologie du site, le potentiel de production d'énergie solaire, la forme du site - qui influence indirectement la forme et la compacité d'un bâtiment - et les conditions environnementales relatives à l'ombrage

naturel et au refroidissement passif. Le développement d'un bâtiment à zéro émission de carbone doit donc commencer par une analyse approfondie du site sur la base des aspects mentionnés ci-dessus. Il est important d'impliquer et de sensibiliser les équipes chargées de l'acquisition du site et de mettre en œuvre des processus garantissant que la sélection du site est correctement validée.



Compacité

Il existe une forte corrélation entre le facteur de compacité d'un bâtiment et son empreinte carbone opérationnel et carbone embarqué.

Selon la norme SIA 380:2015, le facteur de compacité est dérivé du rapport entre la surface de l'enveloppe thermique du bâtiment (Ath) et la surface de référence énergétique (AE). Cette équation donne l'indice de compacité du bâtiment : Ath/AE. Les grands bâtiments compacts ont tendance à avoir une demande de chauffage par mètre carré plus faible que les bâtiments plus petits et moins compacts ayant le même standard d'isolation thermique. Le facteur de compacité a également un impact sur le niveau de carbone embarqué, car les bâtiments compacts tendent vers un meilleur rapport entre quantité de matériaux/surface (par exemple, moins de matériaux par mètre carré de surface de plancher nette).

Si, par exemple, un étage sur deux d'un bâtiment d'une surface de plancher de 6'720 m² est décalé de trois mètres comme indiqué dans la Figure 12, cela crée 2'520 m² de surface supplémentaire pour l'enveloppe du bâtiment, alors que la surface de plancher et la

surface de référence énergétique restent les mêmes. Le facteur de compacité se détériore considérablement, passant d'un bon 0,8 à un niveau plutôt modéré de 1,2.

En général, la taille d'un bâtiment est en corrélation avec son facteur de compacité, comme le montre l'exemple suivant. Deux bâtiments, un grand et un petit, tous deux en construction massive, ont été évalués sur la base de l'outil de calcul SIA 2040 pour le carbone embarqué. Les deux bâtiments ont un taux de vitrage de 30 % de la surface de la façade. Ils diffèrent par leur taille, mais pas par leur forme ou leur méthode de construction. Une comparaison des valeurs des deux bâtiments montre que le grand bâtiment avec le facteur de compacité le plus bas a des émissions de carbone beaucoup plus faibles, avec 7,7 kgCO₂/m²/an, que le petit bâtiment, avec 12,3 kgCO₂/m²/an. Le facteur de compacité pour une forme géométrique donnée diminue à mesure que le volume augmente.

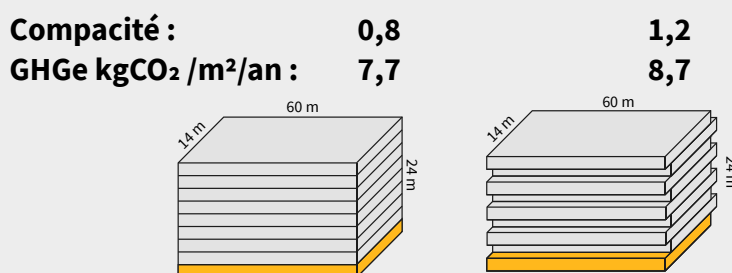


Figure 12 : Comparaison des structures compactes et non compactes ⁶

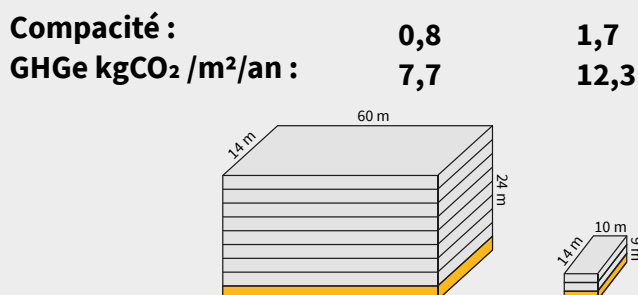


Figure 13 : Comparaison entre deux ouvrages de taille opposée⁷

⁵ cf. SIA-Effizienzpfad Energie, 2018, p. 32

⁶ d'après SIA-Effizienzpfad Energie, 2018, p. 29

⁷ d'après SIA-Effizienzpfad Energie, 2018, p. 29

Électricité renouvelable

L'électricité renouvelable sur site comprend toute énergie renouvelable collectée ou produite dans les limites du site et qui est soit consommée sur place, soit vendue au réseau en tant qu'électricité excédentaire.

Pour réduire l'empreinte opérationnelle d'un bâtiment, il est important de produire le maximum d'électricité renouvelable sur place et de réduire les achats d'électricité au réseau en utilisant le stockage par batterie ou des technologies plus récentes telles que le stockage de glace ou le stockage par pression d'air.

Le rayonnement global absolu qui tombe sur un module PV dépend de l'orientation et de l'angle d'inclinaison. En Suisse, les surfaces orientées au sud sont considérées

comme les meilleures pour maximiser le rendement électrique. Le rayonnement annuel relatif aux surfaces par rapport au rayonnement global est indiqué dans la Figure 14. La surface horizontale est égale à 100 %, ce qui, dans le cas de la Suisse et de l'Allemagne, correspond à 1'100 kWh/m²/an. Sur les façades orientées au sud, le rayonnement solaire atteint une valeur de 77 % du rayonnement solaire global annuel, et 57 % sur les façades orientées à l'est et à l'ouest.

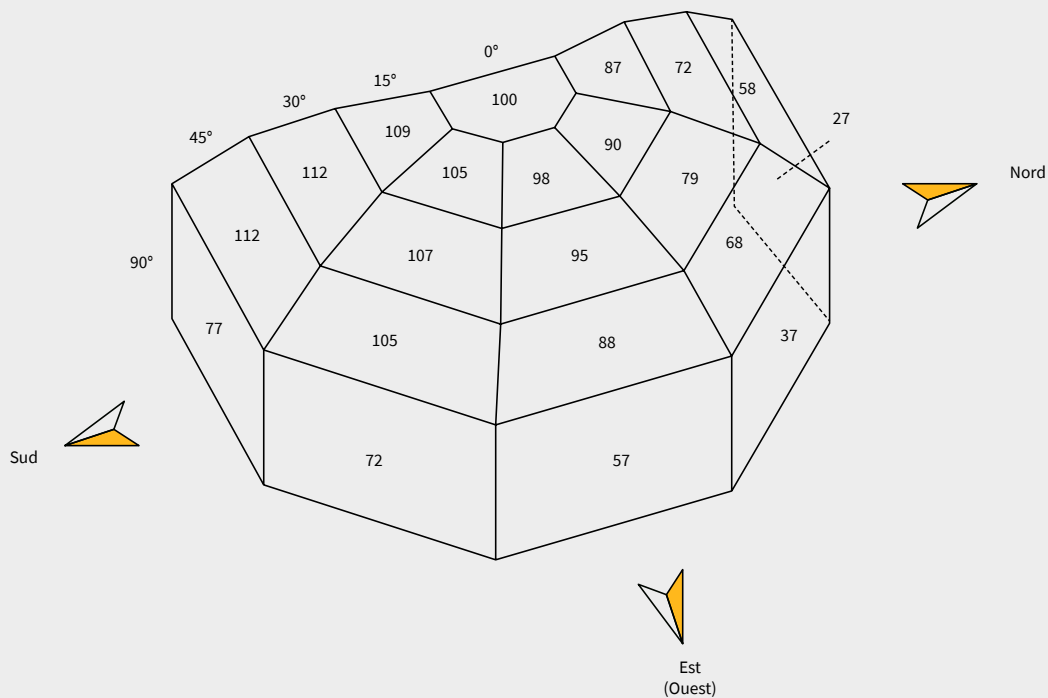


Figure 14 : Rayonnement annuel relatif aux surfaces par rapport à l'irradiation globale (surface horizontale = 100 %)

⁸cf. Bagda, 2016, p. 51

⁹d'après Bagda, 2016, p. 52

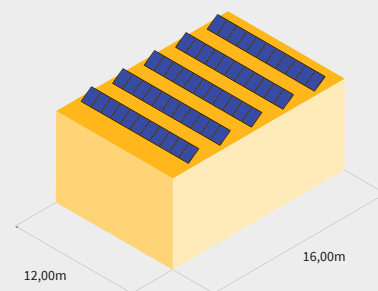
Cependant, pour maximiser l'autoconsommation, il est important de prendre en compte la consommation d'électricité du bâtiment au cours de la journée en fonction du comportement des utilisateurs. Dans certaines conditions, il peut être judicieux d'orienter les systèmes photovoltaïques (PV) horizontaux et verticaux vers l'est et l'ouest afin de profiter du soleil du matin et du soir.

Un autre aspect à prendre en compte est l'utilisation efficace de l'espace. Des panneaux photovoltaïques orientés est-ouest avec une inclinaison de 15 à 20 degrés ne produisent que 85 % de l'énergie générée par la même quantité de panneaux orientés vers le sud. Cependant, l'installation d'un système photovoltaïque dans le sens est-ouest est plus efficace en termes d'espace (Figure 15). Cela signifie que les systèmes photovoltaïques orientés est-ouest peuvent fournir deux fois plus de kilowatts crêtes installés qu'un système photovoltaïque orienté sud sur la même surface.

Électricité verte

L'électricité verte désigne l'électricité produite à partir de sources renouvelables telles que le vent, l'eau et le soleil. En Suisse, un moyen relativement efficace de réduire l'empreinte carbone d'un bâtiment est de signer un contrat de fourniture d'électricité labellisée « naturemade star ». Cela permet de réduire les émissions de carbone dans la phase d'exploitation grâce à un mix électrique basé à 100 % sur des sources d'énergies renouvelables et écologiques.

Système PV orienté sud



Système PV orienté est-ouest

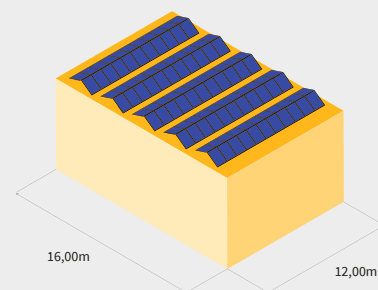


Figure 15 : Rendement spatial de différentes orientations PV ^{11,12}

¹⁰cf. Burkhardt, 2022a

¹¹BuGG Bundesverband GebäudeGrün e. V. 2022

¹²Institut für angewandtes Stoffstrommanagement 2021



Ombrage naturel & refroidissement passif

L'ombrage naturel peut jouer un rôle important dans la réduction de l'énergie nécessaire au rafraîchissement et au chauffage, et donc dans la réduction des émissions de carbone liées à l'exploitation.

Lorsqu'un espace extérieur approprié est disponible, les arbres et les plantes peuvent servir d'éléments d'ombrage en été et réduire ainsi les charges de chaleur solaire et l'effet dit « d'îlot de chaleur ».

Effet d'îlot de chaleur

Les îlots de chaleur sont des zones urbaines qui connaissent des températures plus élevées que les zones moins peuplées. Les éléments bâtis, tels que les bâtiments, les routes et les autres infrastructures, absorbent et diffusent davantage la chaleur solaire que les paysages naturels, tels que les forêts et les plans d'eau.

Les façades et les toits verts sont d'autres moyens efficaces d'influencer positivement le climat intérieur, été comme hiver. Les arbres peuvent protéger une façade des vents froids en hiver. Les arbres à feuilles

caduques fonctionnent également comme des pare-soleil dynamiques naturels : ils fournissent de l'ombre en été et n'ont pas d'influence négative sur les apports de chaleur solaire en hiver, une fois qu'ils ont perdu leurs feuilles. Les considérations relatives à la biodiversité doivent également être prises en compte lors de l'élaboration d'un concept de végétalisation.

Les efforts visant à réduire l'énergie utilisée pour le rafraîchissement doivent inclure des stratégies de rafraîchissement passif efficace. Il peut s'agir d'une ventilation transversale efficace dans les appartements, ou d'une ventilation naturelle par les cours intérieures ou les escaliers. En ce qui concerne les fenêtres, il convient de noter que les châssis hauts sont plus efficaces que les châssis larges en termes de refroidissement naturel.

Stratégies de rafraîchissement passif

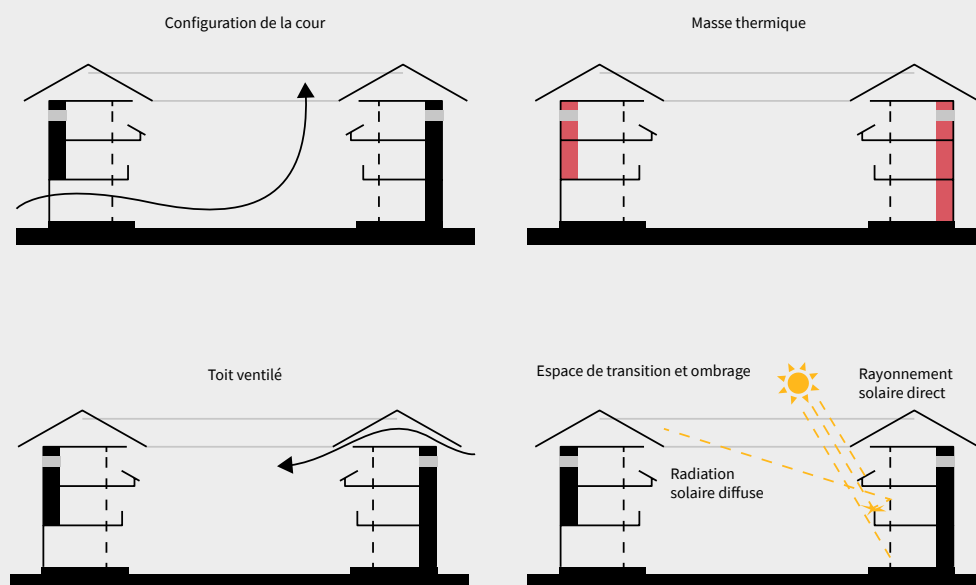


Figure 16 : Exemples de stratégies de rafraîchissement passif extraits de « Stratégies de refroidissement passif de Tulou dans le Fujian », Chine, 2018. ¹³

Niveaux souterrains

L'excavation et les fondations représentent environ 10 % des émissions de carbone embarqué. En fonction du nombre de niveaux souterrains, cette valeur peut être nettement plus élevée.

Les éléments porteurs tels que les fondations, les dalles de sol et de couverture, les murs extérieurs sous le niveau du sol ne peuvent généralement être réalisés qu'en béton armé, un matériau à forte intensité de CO₂. Les excavations entraînent également un énorme déplacement des matériaux du sol, ce qui nécessite une grande quantité d'énergie pendant la construction.

Il y a deux façons de réduire les émissions de carbone embarqué dans les niveaux souterrains. La première, la plus efficace, consiste à réduire le nombre de niveaux souterrains au strict minimum, en donnant la priorité aux zones de stockage et de service nécessaires. Cette approche

implique généralement de réduire ou de supprimer les places de stationnement pour voitures et de compenser par des places de stationnement pour vélos. Aujourd'hui, il existe également des concepts viables pour placer des places de parking en surface dans des tours dédiées non chauffées, si l'espace le permet. La deuxième approche, qui peut être combinée avec la première, devrait donner la priorité à la réutilisation des matériaux d'excavation pour le remblayage et les aménagements extérieurs et, si la qualité des matériaux le permet, pour la production sur place de béton ou de matériaux de construction. Cette procédure garantit un cycle fermé des matériaux.

Vitrage de façade

Déterminer le taux de vitrage optimal d'un bâtiment n'est pas une tâche simple, car cela concerne toute une série de questions qui peuvent avoir des effets opposés. L'un des compromis les plus courants est le suivant : plus la surface vitrée de la façade est grande, plus le risque de surchauffe des pièces pendant les mois d'été est grand et plus le carbone embarqué est élevé, puisque le verre est en général plus intensif en carbone que les matériaux typiques des murs extérieurs et des façades. Parallèlement, plus la surface vitrée est grande, plus les apports solaires sont importants en hiver et plus le facteur de lumière du jour est élevé.

En tenant compte de ces aspects, et sur la base de l'analyse de 36 projets de développement interne, l'équilibre idéal semble être un ratio de vitrage de l'ordre de 50-70 % pour les bureaux et de 20-50 % pour les bâtiments résidentiels. La surface vitrée devrait toujours être définie spécifiquement pour le projet à l'intérieur de ces deux fourchettes, en tenant compte de facteurs tels que le carbone embarqué, la lumière du jour, les apports solaires, les bâtiments environnants et les conditions climatiques locales.



Installations techniques

Lors de la planification des installations techniques des bâtiments, l'accent est mis sur la réduction de la consommation d'énergie par la mise en oeuvre d'options intelligentes, peu techniques et efficaces.

Comme le montrent les deux diagrammes suivants, la répartition de la consommation d'énergie finale pour les bureaux et les bâtiments résidentiels est très différente. Pour les bâtiments résidentiels et de bureaux, la plus grande consommation d'énergie est attribuable au chauffage, suivi de la production d'eau chaude sanitaire pour les bâtiments résidentiels et de climatisation pour les bureaux. Le chauffage, l'eau chaude et la climatisation sont responsables de 81 % de la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels et de 68 % dans les immeubles de bureaux, ce qui signifie qu'il s'agit des leviers les plus importants pour réduire l'empreinte carbone opérationnelle d'un bâtiment. Les émissions de carbone d'une installation technique dépendent évidemment de la source d'énergie et du niveau de consommation d'énergie, mais ces deux graphiques indiquent clairement les leviers à actionner pour réduire le plus efficacement possible les émissions liées à l'exploitation.

Les installations techniques doivent être évaluées non seulement du point de vue de leurs émissions opérationnelles, mais aussi du point de vue de leurs émissions embarquées. L'analyse interne des projets de dévelop-

pement montre que 15 à 20 % des émissions de carbone embarquées sont générées par les installations techniques. Les données disponibles sur le carbone embarqué dans les installations étant encore très rares, il sera nécessaire à l'avenir d'analyser ce domaine plus en détail et de mesurer les émissions de chaque installation sur l'ensemble de son cycle de vie. Ce domaine recèle encore un grand potentiel d'amélioration.

Une question importante qui se pose souvent au niveau des projets est de savoir si un système de ventilation centralisé ou décentralisé est plus efficace en termes de consommation d'énergie et d'émissions de carbone sur l'ensemble du cycle de vie. Si les systèmes de ventilation décentralisés nécessitent moins de conduits pour la distribution, ils impliquent de nombreuses petites installations plutôt qu'une seule grande, ce qui pourrait éventuellement compenser les gains en termes d'émissions de carbone embarqué. Par ailleurs, l'efficacité d'un système de ventilation centralisé est supérieure à celle de plusieurs solutions décentralisées plus petites. Cependant, la consommation d'énergie pour la distribution est plus élevée pour les solutions centralisées en raison des pertes de charge des réseaux. En fin de compte, ces facteurs doivent être analysés plus en détail pour prendre une décision éclairée sur le système à privilégier.

Répartition de la consommation d'énergie des ménages privés (2020)

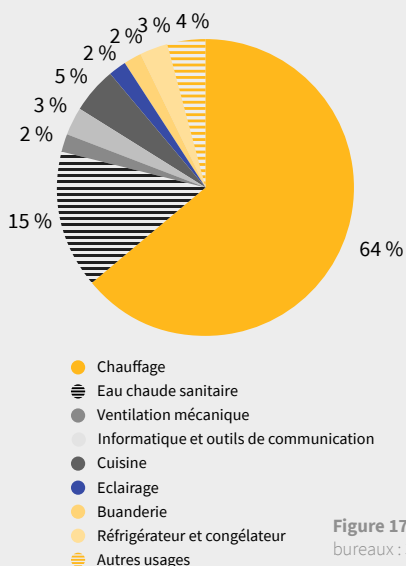


Figure 17 : Consommation d'énergie finale des bureaux : 38 TWh/an (2020) ¹⁶

Répartition de la consommation d'énergie des bureaux pour le secteur des services (2020)

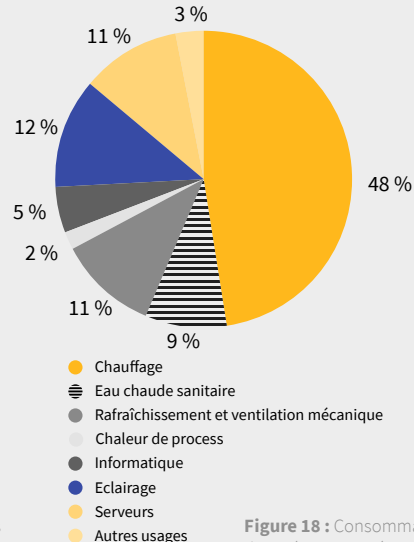


Figure 18 : Consommation d'énergie finale des ménages privés : 60 TWh/an (2020) ¹⁷

¹⁵d'après Kemmler et Spillmann, 2021, pp. 45-58

¹⁶d'après Kemmler et Spillmann, 2021, p. 58

¹⁷d'après Kemmler et Spillmann, 2021, p. 45

Consommation thermique

Les émissions opérationnelles émises par le système de chauffage et de rafraîchissement d'un bâtiment dépendent de trois facteurs : premièrement, la performance d'isolation du bâtiment ; deuxièmement, son efficacité opérationnelle, y compris le comportement de consommation ; et troisièmement, les sources d'énergie utilisées pour le chauffage et le rafraîchissement et le facteur d'impact carbone associé.

Pour les nouveaux bâtiments, l'effet de levier réel du point de vue de la décarbonation se situe au niveau de la source d'énergie, puisque les valeurs d'isolation prescrites par la loi sont déjà relativement élevées. En outre, une augmentation des valeurs d'isolation a toujours un impact négatif sur le niveau des émissions embarquées. Il n'est pas surprenant qu'un système de chauffage ou de rafraîchissement basé exclusivement sur les énergies renouvelables, telles que les pompes à chaleur alimentées par un système photovoltaïque sur site ou par l'énergie géothermique, présente un bilan carbone nettement meilleur que les systèmes à base de combustibles fossiles. Il s'agit donc de maximiser la part des énergies renouvelables utilisées pour le chauffage et le rafraîchissement (y compris l'eau chaude sanitaire).

Il est important de noter que, quel que soit le système de chauffage utilisé, les émissions de carbone dépendent également de l'installation, de l'entretien

et de la maintenance opérationnelle corrects d'un bâtiment. De nombreux systèmes dans le monde fonctionnent de manière inefficace, ce qui se traduit par un écart de performance entre les émissions de carbone prévues et les valeurs réelles. Il est donc essentiel de garantir un niveau élevé d'efficacité opérationnelle. Dans une étude menée par Global Emissions Model of Integrated Systems (GEMIS), différents systèmes de chauffage ont été comparés sur la base de leurs émissions de gaz à effet de serre. La Figure 19 présente les principaux résultats de l'étude GEMIS. Les données suisses fournies par la KBOB, présentées sur le même graphique, montrent une image similaire - à l'exception de tous les systèmes basés sur des pompes à chaleur. Cet écart, mesuré en kgCO₂/kWh, est imputable au mix de consommation d'électricité en Suisse, qui présente un facteur d'impact nettement plus faible en raison d'une part plus importante d'énergies renouvelables.

Émissions de gaz à effet de serre des différents systèmes de chauffage

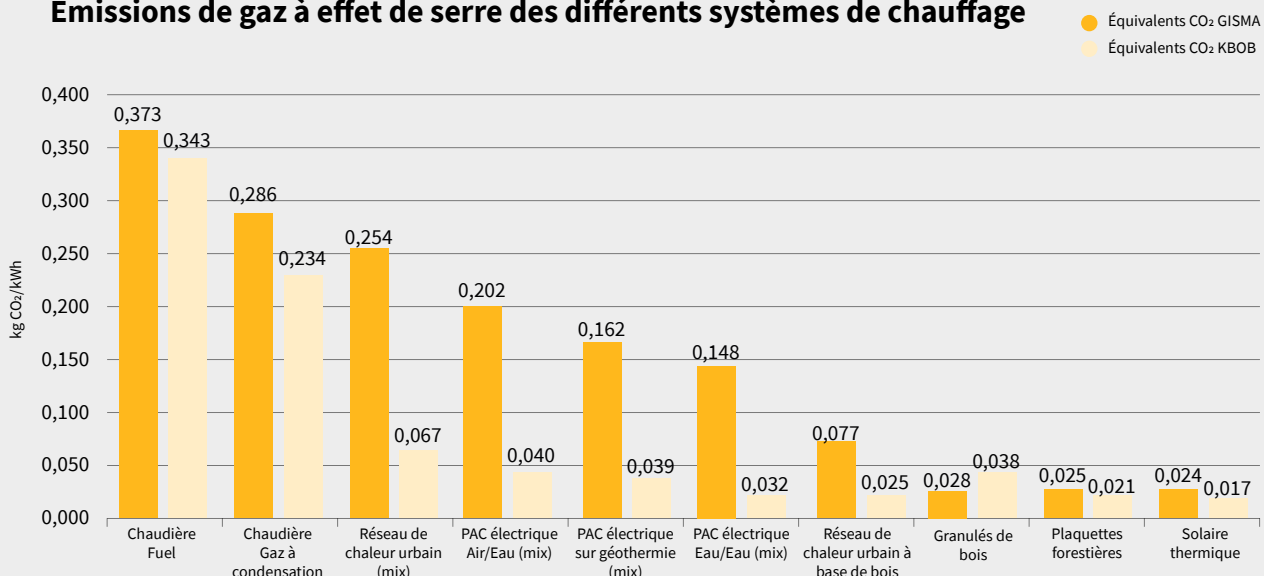


Figure 19 : Émissions de gaz à effet de serre des différents systèmes de chauffage ^{18 19}

¹⁸ basé sur IINAS GMBH, 2021

¹⁹ basé sur Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, 2022

Matériaux et produits de construction

Un ensemble de données sur le carbone embarqué et le carbone total du cycle de vie des bâtiments à travers l'Europe a été évalué afin de déterminer la distribution du carbone embarqué au niveau du bâtiment et d'identifier les leviers de changement les plus importants.

L'évaluation de 168 immeubles collectifs et de 53 immeubles de bureaux nous a permis de déterminer les émissions moyennes de carbone des différents composants et services des bâtiments. Bien qu'il s'agisse de valeurs moyennes, les principaux leviers peuvent être identifiés à un niveau relativement élevé (cf. Figure 20 et Figure 21). Bien entendu, comme nous l'avons suggéré dans les chapitres précédents, les chiffres dépendent fortement des paramètres spécifiques du bâtiment tels que la taille du bâtiment, sa compacité, le nombre de

niveaux souterrains, la structure porteuse appliquée, le type de façade et le type d'équipements techniques du bâtiment. Une comparaison de huit projets de développement d'Implenia basés sur la norme SIA 2040 montre une variation relativement importante d'un projet à l'autre (Figure 22). La répartition spécifique du carbone embarqué doit donc toujours être déterminée au niveau du projet.

Carbone embarqué (A-C)

(Moyenne de 169 immeubles d'appartements)

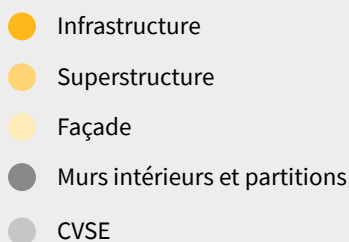
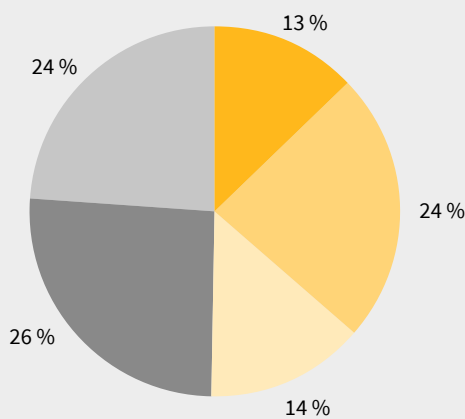


Figure 20 : Carbone embarqué (A-C) de 169 immeubles d'appartements

Carbone embarqué (A-C)

(Moyenne de 53 immeubles de bureaux)

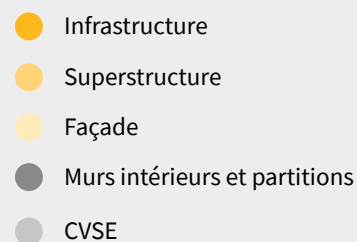
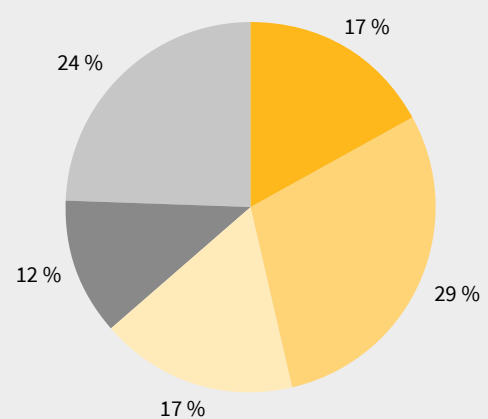
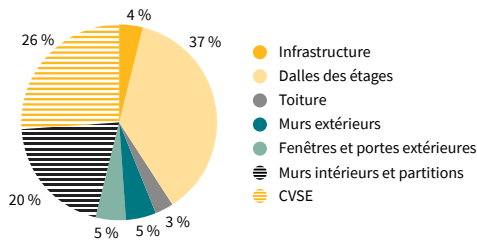


Figure 21 : Carbone embarqué (A-C) de 53 immeubles de bureaux

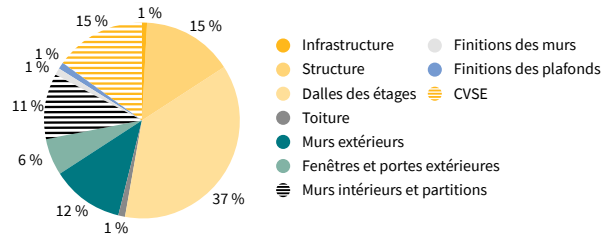
Comparaison de huit projets de développement d'Implenia au niveau du carbone embarqué

Carbone embarqué (A-C), Projet Krokodil



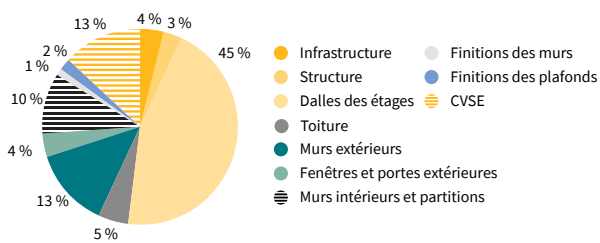
- Utilisation : Résidentiel, Supermarché, Administration
- Surface m2 (SBP) : 31'035
- Niveaux hors sol : 6 (sur un côté 7)
- Niveaux souterrains : 1,5
- Structure : Construction en bois du R+1 au R+7

Carbone embarqué (A-C), Projet Rocket



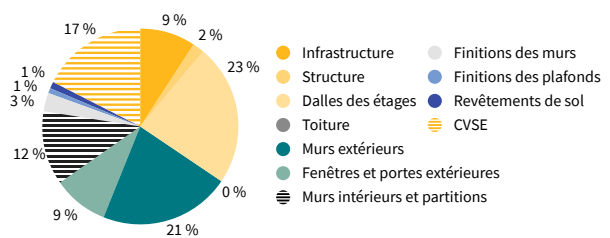
- Utilisation : Résidentiel, Commercial, Hôtel
- Surface m2 (SBP) : 44'800
- Niveaux hors-sol : 32
- Niveaux souterrains : 3-4
- Structure : Construction horizontale PI (combinaison bois-béton armé), construction verticale en bois

Carbone embarqué (A-C), Projet Tigerli



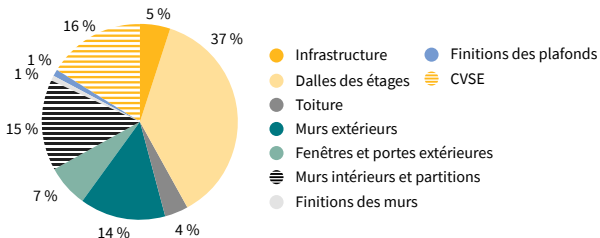
- Utilisation : Logement social, Commercial
- Surface m2 (SBP) : 7'481
- Niveaux hors-sol : 6-7
- Niveaux souterrains : 3-4
- Structure : Construction horizontale PI (combinaison bois-béton armé), construction verticale en bois

Carbone embarqué (A-C), projet Roy



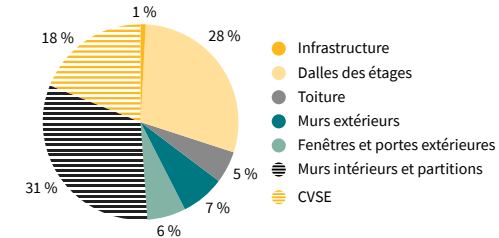
- Utilisation : Résidentiel, Supermarché
- Surface m2 (SBP) : 31'739
- Niveaux hors-sol : 6-7
- Niveaux souterrains : 1
- Structure : Poteaux et dalles en béton armé

Carbone embarqué (A-C), Projet Bigboy



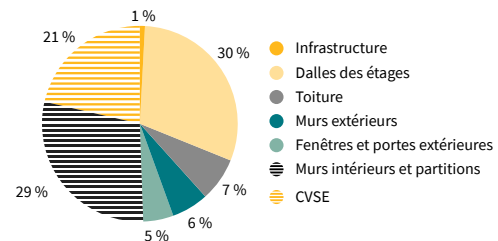
- Utilisation : Résidentiel, Supermarché, Commerce de détail
- Surface m2 (SBP) : 15'994
- Niveaux hors-sol : 15
- Niveaux souterrains : 2
- Structure : Béton armé

Carbone embarqué (A-C), projet Tender Highrise



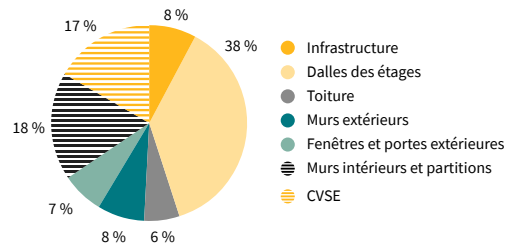
- Utilisation : Résidentiel, Supermarché, Commerce de détail
- Surface m2 (SBP) : 5'884
- Niveaux hors-sol : 10
- Niveaux souterrains : 2
- Structure : Poteaux et dalles en béton armé

Carbone embarqué (A-C), Appel d'offres Riegel



- Utilisation : Résidentiel, Commerce de détail, Supermarché
- Surface m2 (SBP) : 6'428
- Niveaux hors-sol : 6
- Niveaux souterrains : 2
- Structure : Poteaux et dalles en béton armé

Carbone embarqué (A-C), Projet Sue Til



- Utilisation : Résidentiel
- Surface m2 (SBP) : 40'139
- Niveaux hors-sol : 5-6
- Niveaux souterrains : 1
- Structure : Construction en bois

Figure 22 : Comparaison de huit projets de développement d'Implenia au niveau de leur carbone embarqué

Afin de réduire les émissions de carbone embarqué au niveau des composants, différentes options pour les divers composants doivent être comparées au niveau du CO₂ tout au long du processus de planification et de développement. Une telle comparaison permet d'identifier l'option présentant l'empreinte carbone la plus faible et, le cas échéant, de procéder à d'autres optimisations. Grâce à l'analyse de la SIA 2040, Implenia a pu développer des benchmarks au niveau des différents composants et apporter ainsi plus de certitude à l'équipe de développement. Comme le suggère la Figure 23 qui compare différentes variantes de dalles, il est également intéressant de comparer l'impact des coûts des différentes options. L'équipe peut alors identifier les variantes les plus performantes, non seulement au niveau CO₂, mais aussi sur le plan financier. La tarification du CO₂ devient de plus en plus importante, et il vaut donc la peine d'intégrer cet aspect dans le calcul.

Les éléments de construction les plus importants en termes de carbone embarqué :

- Systèmes structurels
- Construction de murs extérieurs (porteurs)
- Construction de murs intérieurs (porteurs)
- Construction de murs intérieurs (non porteurs)
- Systèmes de bardage de façade
- Construction de dalles de plancher
- Construction de dalles de toit
- Construction de fondations
- Cadres de fenêtres et vitrages
- Finitions de sol

Tarification du CO₂

La tarification du CO₂ incite les entreprises à réduire leurs émissions en introduisant un prix sur les émissions de gaz à effet de serre. Bien que la tarification du CO₂ ne soit pas encore obligatoire dans la plupart des pays, certaines entreprises intègrent déjà une évaluation de leurs émissions internes de carbone en tant que « tarification fictive » dans leur analyse de rentabilité pour en identifier l'impact.

Constructions de dalles de plancher

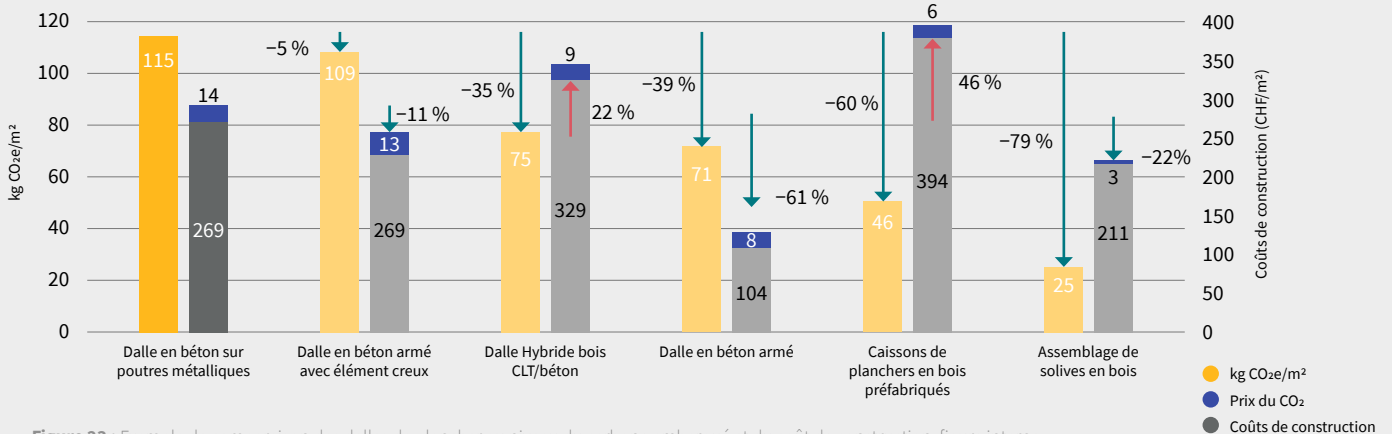


Figure 23 : Exemple de comparaison des dalles de plancher au niveau du carbone embarqué et du coût de construction, figure interne.

Une fois que la structure d'un composant a été définie, il est possible de poursuivre l'optimisation au niveau des différentes couches de matériaux en utilisant moins de matériaux ou en sélectionnant des matériaux ou des produits alternatifs plus respectueux de l'environnement (par exemple, un contenu de recyclage plus élevé, un processus de production économe en énergie, une distance de transport plus courte). Ce faisant, il est important de comparer des matériaux et des produits

présentant des niveaux de performance similaires. Les matériaux et produits sélectionnés ne doivent évidemment pas compromettre les performances fonctionnelles de l'élément (par exemple, l'acoustique ou la protection contre l'incendie). Pour comparer correctement différents matériaux d'isolation thermique, par exemple, il faudrait définir une valeur u ciblée (transmission thermique) et la comparer aux valeurs λ respectives (conductivité thermique) des produits étudiés.

Isolation thermique

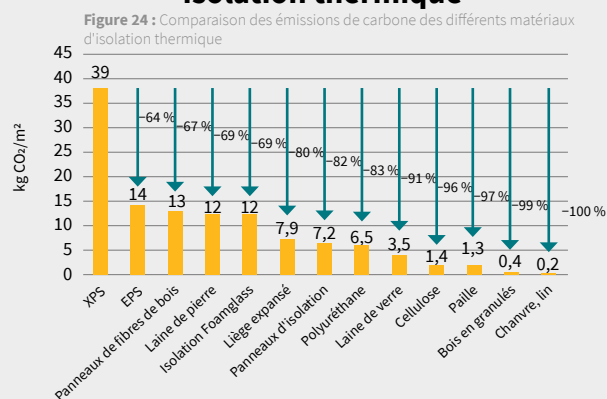


Figure 24 : Comparaison des émissions de carbone des différents matériaux d'isolation thermique

Produits du bois

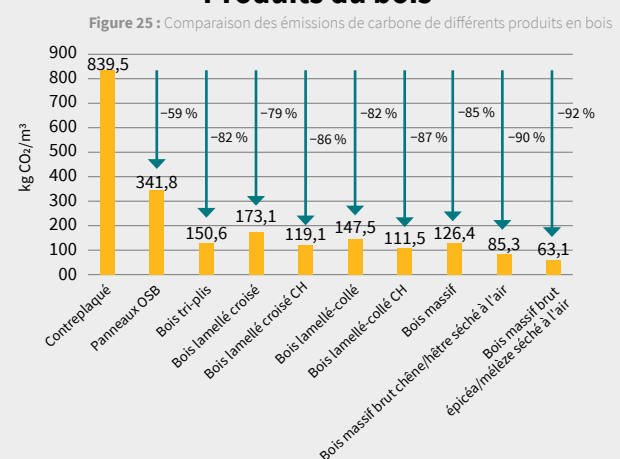


Figure 25 : Comparaison des émissions de carbone de différents produits en bois

Précisions sur les matériaux de construction

Matériaux à haute teneur en carbone :

Matériaux qui génèrent une quantité considérable de carbone opérationnel et embarqué au cours de leur cycle de vie.

Matériaux à faible teneur en carbone :

Matériaux dont les émissions de carbone embarqué et opérationnel sont inférieures à celles des matériaux conventionnels, sans compromettre les exigences fonctionnelles et les propriétés de performance du produit final.

Exemples :

- Métaux recyclés
- Linoléum
- Argile

Matériaux neutres en carbone :

Matériaux qui, tout au long de leur cycle de vie, éliminent autant de carbone de l'atmosphère qu'ils n'en émettent.

Exemples :

- La plupart des produits en bois, parce qu'ils libèrent du CO₂ en fin de vie
- Produits ayant la capacité de capturer le carbone (c'est-à-dire des produits en béton spécifiques)

Matériaux à teneur en carbone négative :

Matériaux qui éliminent plus de carbone de l'atmosphère qu'ils n'en émettent au cours de leur cycle de vie.

Exemples :

- Fibres naturelles à croissance rapide (chanvre, paille, laine)
- Mycélium (matériaux à base de champignons)



Capacité de stockage sur place

Les travaux d'excavation entraînent un énorme déplacement des matériaux du sol, ce qui nécessite un apport d'énergie important pendant la construction. Cela a un impact sur le bilan CO₂ de l'ensemble de la phase d'exécution. Comme suggéré dans un chapitre précédent, la réutilisation des matériaux d'excavation est un levier important pour réduire l'empreinte carbone d'un bâtiment. Toutefois, si les déblais sont utilisés pour le remblayage, l'aménagement paysager ou la production de béton sur le site, il faut disposer de suffisamment d'espace pour les stocker pendant la phase d'exécution. Il en va de même pour la réutilisation d'éléments de construction existants dans des projets de rénovation, puisque ces éléments doivent être stockés correctement pendant toute la durée de la construction. Si la réutilisation est possible, les planificateurs doivent déjà penser à l'espace de stockage disponible lorsqu'ils choisissent l'emplacement du projet. Si l'espace de stockage est suffisant, il doit être intégré dès le départ dans le concept logistique du site. La nécessité de disposer d'un espace suffisant signifie que les projets de grande envergure construits en plusieurs phases offrent généralement les meilleures conditions pour la réutilisation.

Compensation des émissions de carbone

Le terme « net zéro » ne signifie pas qu'il n'y a absolument aucune émission, car il laisse la possibilité de compenser les émissions de carbone restantes par des stratégies de séquestration ou d'« émissions négatives ».

Les émissions de carbone restantes au niveau du bâtiment sont compensées à un autre niveau que le bâtiment lui-même en investissant dans des programmes de compensation. Toutefois, le concept de compensation des émissions de carbone est très contesté dans le contexte de l'objectif « zéro émission ». Les critiques soulignent à juste titre que la simple possibilité d'acheter des crédits carbone à des tiers réduit la motivation des entreprises à travailler sur leur propre empreinte carbone par le biais de la planification, de l'innovation, etc. - de sorte que la véritable source du problème n'est pas abordée. Le présent document partage cet avis et considère la compensation carbone uniquement comme une solution provisoire lorsque des solutions techniques ou des raisons circonstancielles font qu'un bâtiment ne peut pas atteindre le net zéro. La compensation carbone ne devrait donc être utilisée pour atteindre le net zéro que si toutes les mesures techniques ont échoué ou si des facteurs exogènes incontrôlables (par exemple, une obligation légale de se connecter à un système de chauffage urbain basé sur des combustibles fossiles) rendent impossible la réalisation de l'objectif.

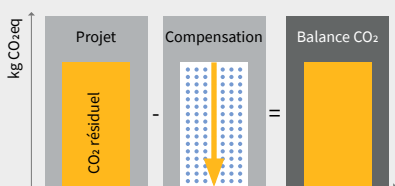
Il existe différentes manières de compenser les émissions de carbone. Toutes les méthodes de compensation n'ont pas un effet compensatoire à long terme.

Certains types de compensation peuvent simplement empêcher les émissions de carbone, d'autres peuvent seulement séquestrer les émissions de carbone à court et à moyen terme, tandis que d'autres peuvent servir de puits de carbone à long terme.

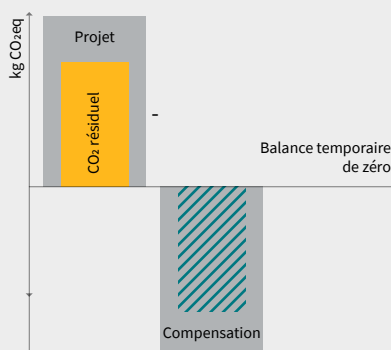
Pour atteindre le niveau net zéro au moyen de la compensation, celle-ci doit conduire à l'extraction du carbone de l'atmosphère et à la séquestration de ce carbone dans la biomasse ou dans les minéraux. Le simple fait d'éviter les émissions de carbone en augmentant l'efficacité des processus industriels, par exemple, ne crée pas de compensation carbone. L'équation globale reste positive en termes de carbone. En outre, la prudence est de mise en ce qui concerne la séquestration biologique. Les matériaux biosourcés peuvent éliminer le dioxyde de carbone par photosynthèse au fur et à mesure de la croissance d'une plante ou d'un arbre - ou de sa repousse une fois la biomasse récoltée. Cependant, le carbone capturé ne reste lié à la biomasse que jusqu'à ce qu'elle brûle ou pourrisse, moment où le bois, par exemple, libère la même quantité de carbone que celle qu'il avait stockée auparavant. La séquestration géologique du carbone offre une solution à long terme : elle extrait le carbone de l'atmosphère et le capture dans des formations géologiques souterraines - des roches - pour une durée indéterminée.

Bilan carbone des différents types de compensation

Type 1 : Compensation par l'amélioration de l'efficacité des processus industriels



Type 2 : Séquestration temporaire via la reforestation (puits temporaire)



Type 3 : Séquestration géologique permanente (puits permanent)

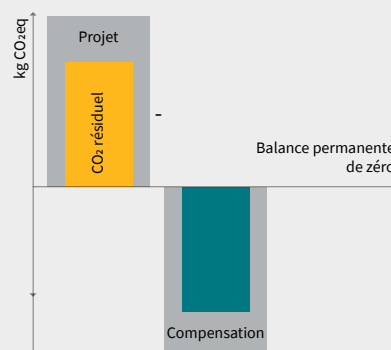


Figure 26 : Bilan carbone des différents types de compensation

Conclusion

Parce qu'il représente 37 % des émissions de gaz à effet de serre, le secteur de l'immobilier a un grand potentiel pour contribuer aux efforts visant à atteindre les objectifs climatiques mondiaux.

Afin d'atteindre ces objectifs, la réglementation gouvernementale devrait s'intensifier dans les années à venir, à mesure qu'un cadre est établi pour les bâtiments à très faible consommation. On observe déjà une augmentation sensible de la demande du marché pour des bâtiments à zéro émission et résistants au climat, en particulier de la part des investisseurs institutionnels. Pour répondre à cette demande, les promoteurs immobiliers, les entrepreneurs et les opérateurs doivent adapter leurs approches, leurs processus et leurs prises

de décision, et prendre en compte la question des émissions de carbone à tous les niveaux du processus décisionnel. Si des appels sont déjà lancés en faveur de bâtiments à impact positif sur le climat, le chemin vers les bâtiments à zéro émission ne fait que commencer.

En conclusion, sur la base de la recherche et de l'analyse qui sous-tendent dans le présent document, il convient d'envisager les lignes directrices suivantes pour la décarbonation en vue d'atteindre le niveau net zéro :



Introduire des **indicateurs** de carbone dans toutes les phases du projet et appliquer des outils de mesure des émissions.

Définir un **objectif carbone réalisable** pour un projet à un stade précoce de son développement, en fonction de sa localisation et de sa typologie d'utilisation.



Mettre tout en oeuvre pour identifier les **paramètres de conception optimum d'un** projet en termes de compacité, de taille, d'orientation, de potentiel d'énergies renouvelables, de ratio de vitrage, de système structurel et de niveaux au moyen d'études de faisabilité et d'analyses comparatives.

Se concentrer sur le **carbone embarqué** : optimiser l'assemblage de chaque composant et opérer, dans la mesure du possible, pour des matériaux neutres ou négatifs en carbone. Placer les **indicateurs d'ACV** au centre de la prise de décision tout au long du processus de conception.



Produire et acheter des **énergies renouvelables** pour le chauffage, le refroidissement et la consommation d'électricité.

Choisir uniquement des **installations techniques** efficaces, privilégier avant tout la sobriété technique. Assurer une exploitation efficace de tous les systèmes pendant la phase opérationnelle.



Introduire de nouveaux processus de gestion de projet fondés sur la collaboration entre les phases et des incitations partagées pour atteindre l'empreinte carbone visée.

Bibliographie

- Bagda, Engin (2016) : Photovoltaik Fassaden. Leitfaden zur Planung. [Netzschkau] : DAW SE, Geschäftsbereich LITHODECOR (Lithodecor innovative Fassadensysteme).
- BuGG Bundesverband GebäudeGrün e. V. (Ed.) (2022) : BuGG-Fachkongress « Solar-Gründach » 20. - 21. Oktober 2022 in Berlin und online. Disponible en ligne à l'adresse <https://www.gebaeudegruen.info/fachkongress>, vérifié le 8/9/2022.
- Burkhardt, Jens (2022a) : Photovoltaik Neigungswinkel - Tabelle, Ertrag & Optimum. Disponible en ligne à l'adresse <https://echtsolar.de/photovoltaik-neigungswinkel/>, vérifié le 28/07/2022.
- Büttner, Sina ; Stampfli, Janine ; Domingo-Irigoyen, Silvia ; Settembrini, Gianrico ; Schrader, Björn (2021) : Bereit für den Klimawandel ? Handlungsempfehlungen für Bauherrschaften und Planende. Hochschule Luzern - Technik & Architektur, Luzern. Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE, vérifié le 28/03/2022.
- Projet CRREM (2021) : CRREM Global Pathways. Disponible en ligne à l'adresse <https://www.crrem.org/pathways/>, vérifié sur <https://www.crrem.org/pathways/>.
- Hill, Stephen ; Dalzell, Ann ; Allwood, Mel (2021) : Net Zero Carbon Buildings : Three Steps to Take Now. ARUP, vérifié le 4/6/2022.
- IINAS GMBH (Ed.) (2021) : 2021_GEMIS-Ergebnisse_Daten_Version_5. Disponible en ligne à l'adresse <https://iinas.org/downloads/gemis-downloads/>, vérifié le 8/9/2022.
- Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (Ed.) (2021) : Planung von Photovoltaikanlagen. Disponible en ligne à l'adresse <https://solar.stoffstrom.org/solar-leitfaden/planung-von-solaranlagen/planung-von-photovoltaikanlagen/>, vérifié le 8/10/2022.
- Kemmler, Andreas ; Spillmann, Thorsten (2021) : Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2020 nach Verwendungszwecken. Disponible en ligne à l'adresse <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/energieverbrauch-nach-verwendungszweck.html>, vérifié le 7/10/2022.
- Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB (Ed.) (2022) : Ökobilanzdaten im Baubereich. Disponible en ligne à l'adresse https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html, vérifié le 8/16/2022.
- Liu, Zhu ; Deng, Zhu ; Davis, Steven J. ; Giron, Clement ; Ciais, Philippe (2022) : Surveillance des émissions mondiales de carbone en 2021. In Nature reviews. Earth & environment 3 (4), pp. 217-219. DOI: 10.1038/s43017-022-00285-w.
- SIA-Effizienzpfad Energie. Ergänzungen und Fallbeispiele zum Merkblatt SIA 2040:2017 (2018). Zürich : SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (Dokumentation D / sia, 0258).
- Sobek, Werner (2020) : Werner Sobek : 17 thèses : Groupe Zumtobel.
- Programme des Nations unies pour l'environnement (2020) : 2020 Global Status Report for Buildings and Construction. Vers un secteur des bâtiments et de la construction à zéro émission, efficace et résilient - Résumé exécutif, vérifié le 4/4/2022.
- Yang, Jiaji ; Cadima, Paula (2018) : Stratégies de refroidissement passif de Toulou dans le Fujian, Chine.

Clause de non-responsabilité

This paper, material, any associated oral presentation and/or discussion (hereafter together, the « MATERIAL ») has been prepared by IMPLENIA Ltd and/or its affiliates (hereafter « IMPLENIA ») for informational purposes only and may contain confidential and/or legally protected information. The MATERIAL may include forward-looking information and statements, including statements concerning the outlook for IMPLENIA's businesses. These statements are based on current expectations, estimates and projections about the factors that may affect IMPLENIA's future performance, including global economic conditions and the economic conditions of the regions and industries that are major markets for IMPLENIA. These expectations, estimates and projections are generally identifiable by statements containing words such as « expects », « believes », « estimates », « targets », « plans », « outlook », or similar expressions.

Numerous risks and uncertainties, many of which are beyond IMPLENIA control, could cause IMPLENIA's actual results to differ materially from the forward-looking information and statements made in this MATERIAL, and could affect IMPLENIA's ability to achieve any or all of its stated targets. The information and opinions contained in this MATERIAL do not purport to be comprehensive, are provided as of the date of this MATERIAL or as of the date specified herein and are subject to change without notice.

Although IMPLENIA believes that the expectations reflected in all such forward-looking statements are based upon reasonable assumptions, it can give no assurance that these expectations will be achieved. IMPLENIA also disclaims any obligation to update these forward-looking statements to reflect future events or developments.

This MATERIAL is not an offer to sell or a solicitation of offers to purchase or subscribe for shares of IMPLENIA Ltd. This MATERIAL is (i) not a prospectus within the meaning of article 652a of the Swiss Code of Obligations, (ii) not a listing prospectus as defined in articles 27 et seqq. of the listing rules of the SIX Swiss Exchange Ltd or of any other stock exchange or regulated trading venue in Switzerland, (iii) not a prospectus within the meaning of the Swiss Financial Services Act and (iv) not a prospectus under any other applicable laws.

This MATERIAL does not constitute an offer to sell, or a solicitation of an offer to purchase, shares in IMPLENIA Ltd. or any other securities in the United States.

This MATERIAL is not for publication, transmission or distribution, directly or indirectly, into the United States or its territories or possessions or to persons in the United States (within the meaning of Regulation S under the U.S. Securities Act of 1933, as amended (the « Securities Act »)) and are only addressed to and directed at persons outside the United States, as defined in Regulation S under the Securities Act. This MATERIAL does not constitute an « offer of securities to the public » within the meaning of the Prospectus Regulation (EU) 2017/1129 of the European Union and is not a public offering in the United Kingdom. The information contained herein shall not constitute an offer to sell or the solicitation of an offer to buy, in any jurisdiction in which such offer or solicitation would be unlawful prior to registration, exemption from registration or qualification under the securities laws of any jurisdiction. Neither this MATERIAL nor any part or copy of it nor the information contained in it and any related materials may be taken or transmitted into the United States or any jurisdiction which prohibits the same or distributed or redistributed, directly or indirectly, in the United States or any jurisdiction which prohibits the same or to any resident thereof.

All of the information and material used in this MATERIAL, including text, images, logos and product names, is either the property of IMPLENIA, or is used by IMPLENIA with permission.

Whilst IMPLENIA uses all reasonable attempts to ensure the accuracy and completeness of all contents, IMPLENIA gives no warranties or representations of any kind that material in this MATERIAL is complete, accurate, reliable or timely, or that it does not infringe third-party rights. IMPLENIA does not accept any liability for any direct, indirect or consequential loss and/or damage arising from reliance on this MATERIAL.

The contents of this MATERIAL may not be reproduced, modified or copied, or used for any commercial purposes, or communicated to any third parties without written consent from IMPLENIA. All trademarks mentioned are legally protected.

Copyright © 2023 Implenla Ltd and/or its affiliates. All rights reserved.

By attending this presentation and/or by accepting this MATERIAL you will be taken to have represented that you agree to accept the terms set out above.

Remerciements et contacts

L'équipe du projet Livre blanc Net Zéro tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration du contenu de ce document. Nous remercions en particulier Tobias Gottschling, qui a grandement contribué à ce document dans le cadre de son mémoire de licence, ainsi que Benoît Klein et Yves Deluz.

Remerciements au département Global Sustainability d'Implenla, qui a fourni de précieuses informations dans le cadre de l'analyse de portefeuille réalisée sur la base de la norme SIA 2040.

Nicolas Fries

Responsable de l'économie circulaire et de l'innovation
D +41 58 474 16 06
nicolas.fries@implenia.com

Christian Bandi

Chef d'équipe
M +41 79 784 35 84
christian.band@implenia.com

Implenia Suisse SA

Division Real Estate – Real Estate Development
Thurgauerstrasse 101A, 8152 Glattpark (Opfikon), Suisse



Nicolas Fries



Christian Bandi

[Rapport de développement durable](#)