



Minskad klimatpåverkan från flerbostadshus

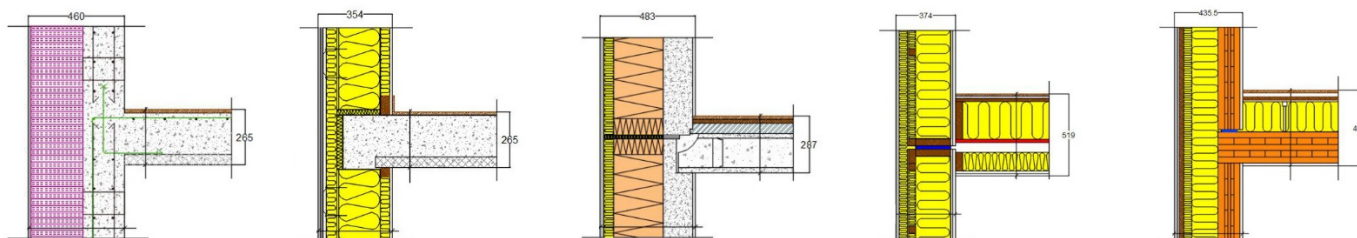
LCA AV FEM BYGGSYSTEM



Tove Malmqvist • Martin Erlandsson • Nicolas Francart • Johnny Kellner



**SVERIGES
BYGGINDUSTRIER**



Ett samarbete mellan KTH, IVL, Sveriges Bygginstrumenter och medverkande bolag.
Finansiering av SBUF, IVL:s forskningsstiftelse och Regeringskansliet.

AUGUSTI 2018 • FOTO: SVENSKA BOSTÄDER

Contenu

Préface.....	3
Contexte et objectif	4
Résumé de l'analyse du cycle de vie	4
Cinq systèmes de construction conçus pour une maison de référence	5
Résultats par système de construction	6
Système 1. Cadre carré en béton coulé avec moule quadruple (VST)	7
Système 2. Cadre en béton coulé avec des murs découvrants légers	8
Système 3. Ossature préfabriquée en béton avec solives de pont à trous	9
Système 4. Éléments de volume en bois	dix
Système 5. Cadre en bois massif en bois KL	11
Potentiels d'amélioration	12
Béton renforcé par le climat	12
Autres choix de produits améliorés par le climat	13
Impact climatique des transporteurs et opportunités d'amélioration	13
Cabines renouvelables et économes en énergie sur le chantier	14
Recommandations aux entrepreneurs et constructeurs	16
Références	17

Préface

Ce rapport résume certains des résultats les plus importants du projet de R&D "Impact climatique des immeubles d'habitation nouvellement produits avec analyses comparatives de l'ACV pour une maison à plusieurs logements en tant que maison type", projet SBUF numéro 13355. Le groupe de projet a précédemment mené deux sous-études sur l'impact climatique dans une perspective de cycle de vie pour deux immeubles d'appartements nouvellement construits. , Blue Virgo (stade I), et en bois, Strandparken (stade II). Ces études ont grandement contribué à accroître la connaissance de l'impact climatique du bâtiment. Dans ce projet (étape 11), l'impact climatique est calculé dans une perspective de cycle de vie pour cinq systèmes de construction différents projetés sur la même maison de référence. Dans le projet, l'impact climatique des bâtiments est étudié tout au long du cycle de vie, ainsi que les possibilités avec des technologies connues de prendre des mesures qui peuvent réduire l'impact climatique de la phase de construction.

L'étude a été entièrement réalisée sans aucun intérêt particulier quant aux choix de matériaux et aux solutions de conception les plus avantageux. Il est probable que divers systèmes de construction d'immeubles d'appartements continueront d'exister car le marché pèse plus d'aspects que l'impact climatique. Toutes les solutions étudiées répondent aux exigences fonctionnelles de base selon BBR, complétées par des exigences légèrement plus élevées pour la classe sonore et la consommation d'énergie. En plus de ces exigences de base, il peut y avoir des caractéristiques ou d'autres aspects qui différencient les alternatives et qui doivent être pris en compte si les données doivent être utilisées comme base de décision. Les responsables du rapport étaient: Tove Malmqvist, KTH (chef de projet scientifique), Martin Erlandsson, IVL, Nicolas Francart, KTH, Johnny Kellner, propre consultant, et Pär Åhman, Industries suédoises de la construction (président des groupes de pilotage et de référence). La composition du groupe de pilotage était la suivante: Pär Åhman, Sweden's Construction Industries, Johnny Kellner, propre consultant, Per Löfgren, JM, Caroline Erström, Bonava, Ingemar Löfgren, Thomas Concrete Group, Birgitta Govén, Swedish Construction Industries, Jessica Szyber / Mikael Lindberg, Stora Enso, Agneta Wannerström, Skanska, Martin Erlandsson, IVL et Tove Malmqvist, KTH. La composition du groupe de référence était la suivante: Rickard Langerfors, Magnolia Bostad AB, Ola Larsson, WSP, Maria Brogren, WSP, Kenneth Wilén, Folkhem, Andreas Rahlén, Järntorget, Patrik Andersson, Stockholmshem, David Grimheden, Veidekke, Helena Lidelöw, Lindbäcks, Peters Martinsons, Henrik Ödeen / Sofia Eriksson / Johan Samuelsson Johnny Kellner, consultant, Per Löfgren, JM, Caroline Erström, Bonava, Ingemar Löfgren, Thomas Concrete Group, Birgitta Govén, Sweden's Construction Industries, Jessica Szyber / Mikael Lindberg, Stora Enso, Agneta Wannerström, Skanska, Martin Erlandsson, IVL, et Tove Malmqvist, KTH. La composition du groupe de référence était la suivante: Rickard Langerfors, Magnolia Bostad AB, Ola Larsson, WSP, Maria Brogren, WSP, Kenneth Wilén, Folkhem, Andreas Rahlén, Järntorget, Patrik Andersson, Stockholmshem, David Grimheden, Veidekke, Helena Lidelöw, Lindbäcks, Peters Martinsons, Henrik Ödeen / Sofia Eriksson / Johan Samuelsson Johnny Kellner, consultant, Per Löfgren, JM, Caroline Erström, Bonava, Ingemar Löfgren, Thomas Concrete Group, Birgitta Govén, Sweden's Construction Industries, Jessica Szyber / Mikael Lindberg, Stora Enso, Agneta Wannerström, Skanska, Martin Erlandsson, IVL, et Tove Malmqvist, KTH. La composition du groupe de référence était la suivante: Rickard Langerfors, Magnolia Bostad AB, Ola Larsson, WSP, Maria Brogren, WSP, Kenneth Wilén, Folkhem, Andreas Rahlén, Järntorget, Patrik Andersson, Stockholmshem, David Grimheden, Veidekke, Helena Lidelöw, Lindbäcks, Peters Martinsons, Henrik Ödeen / Sofia Eriksson / Johan Samuelsson et Tove Malmqvist, KTH. La composition du groupe de référence était: Rickard Langerfors, Magnolia Bostad AB, Ola Larsson, WSP, Maria Brogren, WSP, Kenneth Wilén, Folkhem, Andreas Rahlén, Järntorget, Patrik Andersson, Stockholmshem, David Grimheden, Veidekke, Helena Lidelöw, Lindbäcks, Peters Martinsons, Henrik Ödeen / Sofia Eriksson / Johan Samuelsson et Tove Malmqvist, KTH. La composition du groupe de référence était la suivante: Rickard Langerfors, Magnolia Bostad AB, Ola Larsson, WSP, Maria Brogren, WSP, Kenneth Wilén, Folkhem, Andreas Rahlén, Järntorget, Patrik Andersson, Stockholmshem, David Grimheden, Veidekke, Helena Lidelöw, Lindbäcks, Peters Martinsons, Henrik Ödeen / Sofia Eriksson / Johan Samuelsson et Tove Malmqvist, KTH. La composition du groupe de référence était la suivante: Rickard Langerfors, Magnolia Bostad AB, Ola Larsson, WSP, Maria Brogren, WSP, Kenneth Wilén, Folkhem, Andreas Rahlén, Järntorget, Patrik Andersson, Stockholmshem, David Grimheden, Veidekke, Helena Lidelöw, Lindbäcks, Peters Martinsons, Henrik Ödeen / Sofia Eriksson / Johan Samuelsson et Tove Malmqvist, KTH. La composition du groupe de référence était la suivante: Rickard Langerfors, Magnolia Bostad AB, Ola Larsson, WSP, Maria Brogren, WSP, Kenneth Wilén, Folkhem, Andreas Rahlén, Järntorget, Patrik Andersson, Stockholmshem, David Grimheden, Veidekke, Helena Lidelöw, Lindbäcks, Peters Martinsons, Henrik Ödeen / Sofia Eriksson / Johan Samuelsson et Tove Malmqvist, KTH.

Le projet a été financé par des subventions du SBUF (Fonds suédois de développement de l'industrie de la construction), des bureaux du gouvernement, de la SIVL (Fondation IVL) et des organisations et entreprises participantes. Le groupe de projet espère que les preuves factuelles indépendantes qui sont maintenant rapportées sur l'impact climatique pour différentes plates-formes de construction et les potentiels d'amélioration conduiront à la fois au développement continu des connaissances et des méthodes et à la priorisation des bonnes mesures dans le bon ordre afin de réduire l'impact climatique à toutes les étapes de la phase de construction et d'utilisation. . Stockholm en août 2018

Pär Ohman

Président du groupe de pilotage et de référence du projet Swedish
Construction Industries

Contexte et objectif

Les études ACV des bâtiments individuels fournissent des conseils sur les tailles de consommation d'énergie, l'impact climatique, etc. Souvent, ces études sont utilisées pour comparer directement les résultats du cycle de vie, mais cela est rendu plus difficile par le fait qu'il existe généralement des différences fonctionnelles et des conditions différentes pour les bâtiments analysés. Par conséquent, dans cette étude, l'intention était de faire une analyse aussi précise et indépendante de l'impact climatique dans une perspective de cycle de vie que possible, pour un certain nombre de systèmes de construction différents pour les immeubles à appartements qui sont appliqués aujourd'hui sur le marché suédois. Dans l'étude, nous avons veillé à ce que les différentes solutions projetées répondent aux exigences fonctionnelles de base selon BBR, complétées par des exigences légèrement plus élevées pour la classe sonore et la consommation d'énergie. Si nous voulons atteindre les objectifs climatiques, l'impact climatique des bâtiments au cours de leur cycle de vie doit être réduit, quel que soit le matériau principal d'un système de construction. Puisqu'un système de construction ne se compose pas d'un seul matériau, mais de plusieurs, c'est la combinaison des matériaux qui est la plus intéressante et donc un point de départ pour des mesures d'amélioration du climat. Il est donc important, quel que soit le choix de la plateforme, de mettre en évidence les potentiels d'amélioration du climat. Par conséquent, nous avons encore besoin de plus de connaissances sur ce qui est grand et petit pendant le cycle de vie d'un bâtiment et sur les opportunités qui existent avec diverses mesures d'amélioration du climat. Cette étude contribue précisément avec ces connaissances actuelles pour le type de solutions de construction appliquées dans la construction d'immeubles d'appartements aujourd'hui en Suède. Le projet de R&D a pour objectif de compléter deux études précédentes du SBUF (Liljenström et al., 2015; Larsson, et al., 2016) en effectuant des calculs d'ACV dans la même maison de référence, mais avec cinq solutions de conception différentes. Les calculs montreront l'impact climatique des solutions sur le cycle de vie et mettront en évidence les potentiels d'améliorations au niveau du bâtiment. Les problèmes de coûts sont en dehors des objectifs du projet.

Cette version courte des résultats du projet ne contient pas tous les éléments étudiés dans le projet R&D. Un nombre supplémentaire de sous-projets est présenté dans le rapport final plus long du projet:

- Calculs plus détaillés et discussion du processus de construction et d'installation (module A5), de maintenance et de remplacement (modules B2 et B4).
- Calcul de l'impact climatique pour une période d'analyse de 100 ans.
- Prise en compte de la façon dont la part de la phase de construction dans l'impact climatique total est affectée par le choix des scénarios pour la phase d'utilisation, y compris la description et le calcul du scénario alternatif d'impact climatique pour l'énergie de fonctionnement (module B6), basé sur l'élimination progressive des combustibles fossiles dans le système énergétique d'ici 2045.
- Calcul de la consommation d'énergie cumulée pour les scénarios de base des cinq systèmes.
- Description de la façon dont le carbone biogénique et la carbonatation du béton sont traités aujourd'hui dans des analyses de cycle de vie similaires.
- Calcul de l'impact climatique lié aux dégâts d'eau pour les différents systèmes.

Mémoire sur l'analyse du cycle de vie

Afin d'évaluer l'impact environnemental d'un produit dans une perspective de cycle de vie, une méthodologie d'analyse du cycle de vie est utilisée. Une analyse du cycle de vie (ACV) décrit l'impact environnemental numériquement dans diverses catégories d'impact environnemental telles que l'impact climatique, l'eutrophisation, l'ozone troposphérique et l'utilisation des ressources. Dans ce projet, seul l'impact climatique a été calculé et aucun autre impact sur l'environnement et la santé humaine, l'utilisation des ressources naturelles, la biodiversité, etc.

Pour qu'une analyse du cycle de vie soit sans ambiguïté, c'est-à-dire pour donner les mêmes résultats indépendamment de qui fait le calcul, les instructions de méthode et autres spécifications doivent être développées et verrouillées. Les choix de méthodes et les clarifications apportées ici respectent les normes liées au règlement européen sur les produits de construction (EN15804 et EN 15978). Cela signifie, entre autres, que les calculs sont effectués selon les principes d'une "ACV comptable" et le principe de "modularité". Selon ces normes, le cycle de vie d'un bâtiment est divisé en modules et l'étape du cycle de vie selon la figure 1. La carbonatation du béton est incluse dans le module B1. Le stockage de carbone biogénique n'a pas été inclus dans les calculs de ce résumé de projet.

L'impact climatique a été calculé dans le projet à l'aide des données de la base de données environnementale d'IVL qui comprend des mises à jour et des ajouts de 2018. Ces données sont des données LCA dites (génériques), mais représentatives des produits utilisés sur le marché suédois. Les hypothèses formulées et une description des calculs à d'autres égards sont présentées dans le rapport du dossier de projet (Erlandsson et Malmqvist, et al., 2018).

A 1-3 Produktskede			A 4-5 Byggproduktions- skede		B 1-7 Användningsskede							C 1-4 Slutskede				D Tilläggs- info
Råvaruförsörjning (A1)	Transport (A2)	Tillverkning (A3)	Transport till byggplatsen (A4)	Bygg- och installationsprocessen (A5)	Användning (B1)	Underhåll (B2)	Reparation (B3)	Utbyte (B4)	Ombyggnad (B5)	Driftsenergi (B6)	Driftens vattenanvändning (B7)	Demontering och rivning (C1)	Transport (C2)	Restproduktbehandling (C3)	Bortskaffning (C4)	Fördelar och belastningar utanför systemgränsen
X	X	X	X	X	X	X		X		X		X	X	X	X	

Figure 1. Un cycle de vie de bâtiment selon la norme européenne EN 15978. X indique quelles parties du cycle de vie sont incluses dans les calculs des systèmes de construction étudiés. Dans la traduction suédoise de EN15978, SIS a introduit le terme phase de construction pour le module A1-5.

Cinq systèmes de construction conçus pour une maison de référence

Cinq solutions de conception différentes ont été étudiées pour une même maison de référence. La maison de référence est basée sur l'un des quatre immeubles à appartements de Svenska Bostäder dans le bloc Blue Virgin à Hökarängen en dehors de Stockholm, achevé 2010. La maison actuelle compte 6 étages, y compris le rez-de-chaussée, peut accueillir 22 appartements (figure 2) et dispose de deux ascenseurs mais pas de garage sous-jacent. Le bloc Blue Virgin était la maison à plusieurs logements en béton qui a été étudiée pour la première fois (Liljenström et al., 2015) dans la série des projets SBUF dans lesquels ce projet est inclus. Les calculs sont basés sur une conception de bâtiment commune par les cinq alternatives pour suivre les mêmes dessins architecturaux. De plus, l'application des systèmes de construction doit répondre aux mêmes exigences fonctionnelles de base. Les cinq systèmes sont:

1er Cadre carré en béton moulé de forme quadrangulaire (VST) - Cadre en béton moulé où intérieur et

les murs extérieurs sont moulés en place dans des moules en quarantaine de panneaux liés au ciment et avec des solives moulées sur site sur des couches de lit plat. Il s'agit du design original de la maison de référence et est commercialisé et vendu sous la désignation VST. Les calculs de base sont basés sur les données de Skanska, qui a érigé le bloc Blue Virgin en 2010, mais mis à jour (principalement en ce qui concerne l'impact climatique pour le béton), pour correspondre à la façon dont la maison serait érigée aujourd'hui.

2e Cadre en béton moulé en béton avec des murs extérieurs légers - Les solives de plancher et les murs intérieurs porteurs sont coulés

placer dans le béton. Les murs extérieurs se composent de murs de compartiments légers avec des dalles d'acier et de bois et des piliers en acier de soutien intégrés dans la façade. Les calculs sont basés sur une plate-forme de construction standard de NCC et sont donc représentatifs d'un cadre moulé sur site moderne.

3e Cadre préfabriqué en béton - Cadre sous forme d'éléments en béton préfabriqués avec

solives de plancher à plancher creux en béton, complétées par le système de commande susmentionné en tôle d'acier et aggloméré (Granab) pour répondre aux exigences sonores, entre autres. Les calculs sont basés sur les données de String Concrete et sont représentatifs de ce type de béton préfabriqué et des conditions de production suédoises.

4e Éléments de volume en bois - Éléments de volume en bois préfabriqués fabriqués en usine. Les calculs sont basés

sur les données de Lindbäcks et est représentatif des solutions de conception de cette entreprise ou des entreprises avec des concepts similaires. D'autres fabricants d'éléments de volume sont présents et bien que la conception puisse différer légèrement, cette alternative doit être considérée comme représentative d'un autre fournisseur qui utilise le bois comme base du système et de ses pièces de support.

5e Structure solide en bois KL - Cadre et mur extérieur en bois KL, c.-à-d. cadre en bois massif où les solives

Fabriquée avec le système de contrôle susmentionné en tôle d'acier et aggloméré (Granab) pour répondre aux exigences sonores. Les calculs sont basés sur une solution de conception de Stora Enso et peuvent être considérés comme représentatifs du concept moderne de bois KL pour les maisons à plusieurs logements de cette taille.

Les systèmes de construction ont été choisis en partie pour représenter la façon dont la majorité des immeubles à appartements en Suède sont construits aujourd'hui, et en partie pour représenter des systèmes de construction significativement différents qui sont appliqués aujourd'hui.



Figure 2. La maison 3 à Svenska Bostäders bloque la Vierge bleue dans le Hökarängen, qui est la maison de référence pour laquelle chaque solution de construction a été conçue (Images: Reflex Arkitekter AB).

Chaque système de construction a été conçu pour la maison de référence conformément aux plans d'étage et aux dessins de type conformes à l'original. Autrement dit, le **même nombre d'appartements, de plans d'étage, de fenêtres et de balcons, etc.** Les différentes alternatives de plates-formes ont donc le même A_{temp} (2198 m²) mais les détails des solutions de balcon diffèrent légèrement entre les systèmes. Dans tous les cas les façades sont enduites, la toiture est recouverte de carton et la fondation une plaque au sol. Toutes les plates-formes de construction répondent aux exigences de base du Règlement sur la construction (BBR) ainsi qu'à la classe sonore B et à une **exigence énergétique théorique commune définie à 41 kWh / m² UNE_{temp} et année avec chauffage urbain acheté et 12 kWh / m² UNE_{temp} et l'année de l'immobilier.**

Des calculs de coûts et d'autres documents ont été demandés aux fournisseurs / constructeurs des cinq systèmes étudiés, qui ont été utilisés comme base pour le montant des ressources d'entrée. Si nécessaire, ces quantités ont été ajustées et complétées de sorte que les calculs de base uniques pour chaque système de bâtiment soient de portée égale.

Résultats par système de construction

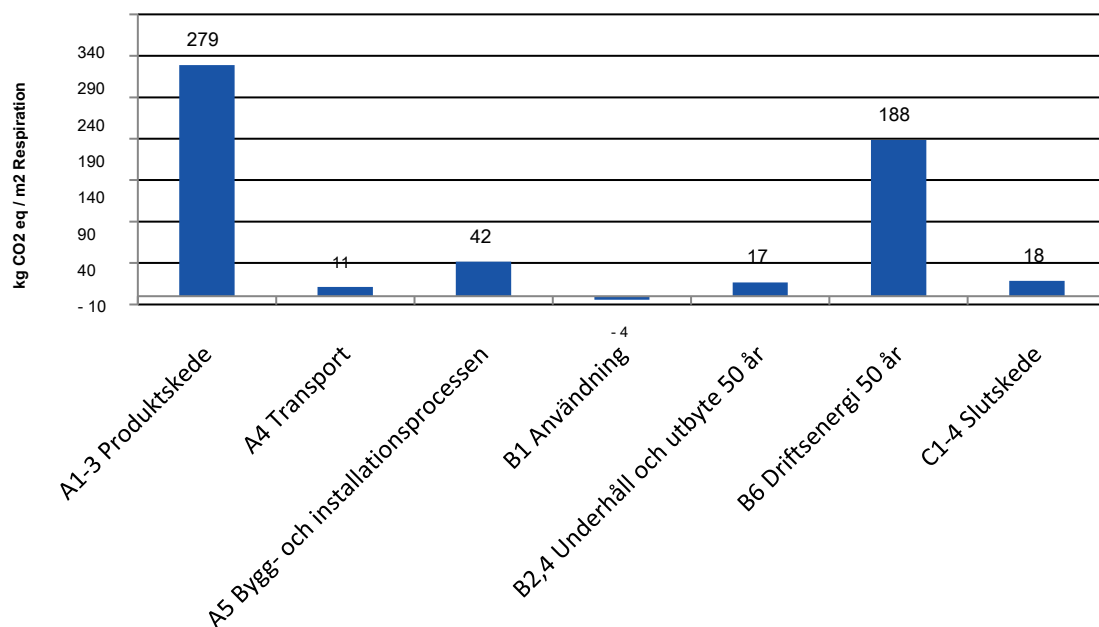
Ci-dessous, les résultats de l'impact climatique sont présentés sur une période d'analyse de 50 ans pour les cinq solutions projetées dans la maison de référence ^{1er} Ces résultats correspondent *Parce que le cas*, c'est-à-dire que la maison serait construite aujourd'hui avec les exigences prescrites par le projet mais sans améliorations. La base est une plaque sur un terrain sans garage et un scénario énergétique pour l'énergie de fonctionnement (module B6) basé sur les valeurs moyennes actuelles du mix électrique nordique et du chauffage urbain suédois pendant toute la période d'analyse.

En plus des résultats présentés ci-dessous, un montant d'un garage sous-jacent et partiellement agrandi prévu a été réalisé correspondant à un nombre de stationnement de 0,5, ce qui correspond alors à l'ordre de 48 kg de CO₂-ekv./m² UNE_{temp} construire.

¹ Dans le rapport complémentaire plus long du projet, une analyse de sensibilité est également réalisée pour une période d'analyse de 100 ans.

Système 1. Cadre en béton moulé de forme quadruple (VST) Étape de construction

(module A1-A5): 331 kg CO₂-ekv./m² UNE temp



System 1: Platsgjuten betongstomme med kvarsittande form (VST)

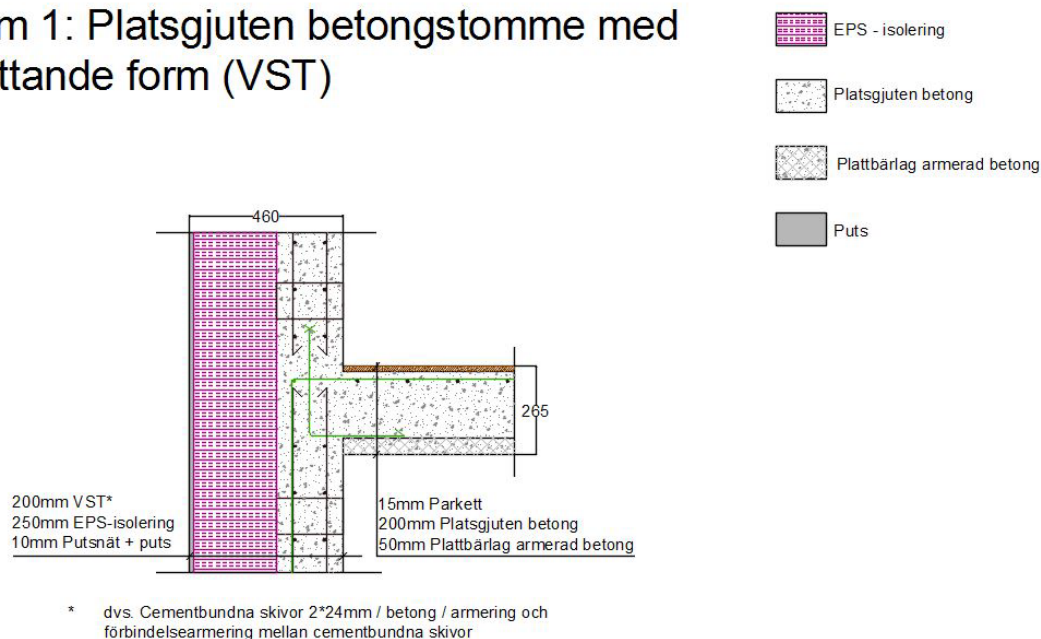
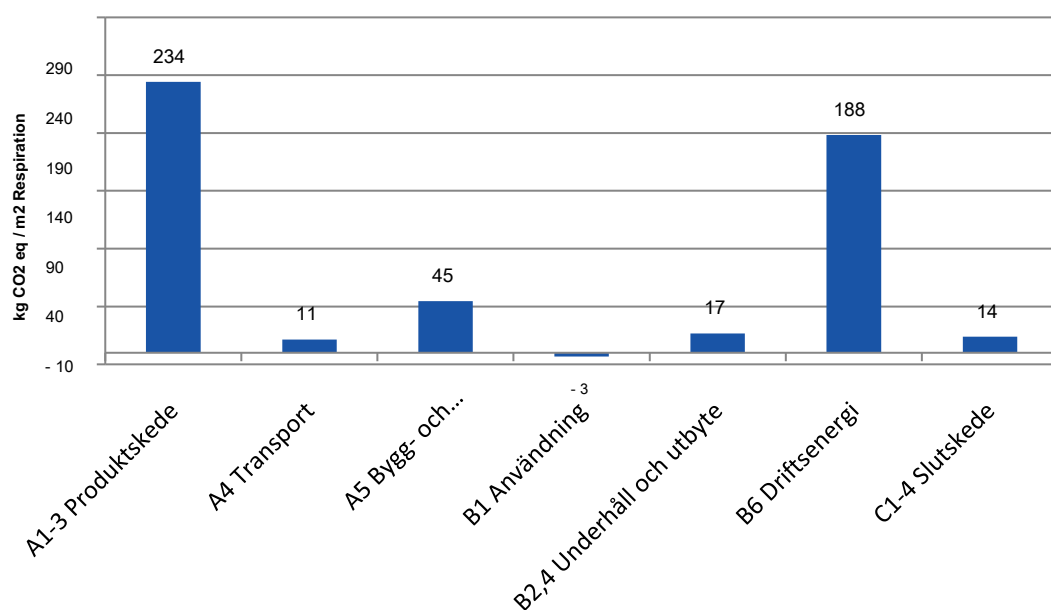


Figure 3. Système 1. Cadre en béton moulé en béton (VST) - Impact climatique sur le cycle de vie, période d'analyse 50 ans. Au niveau du produit, l'impact climatique du béton (45%), suivi des panneaux collés au ciment (20%), est dominé par l'isolation (9%).

(module A1-A5): 290 kg CO₂-ekv./m² UNE temp



System 2: Platsgjuten betongstomme med lätta utfackningsväggar

-  Glasullisolering
-  Stenullisolering
-  Platsgjuten betong
-  Plattbärlag armerad betong
-  Puts

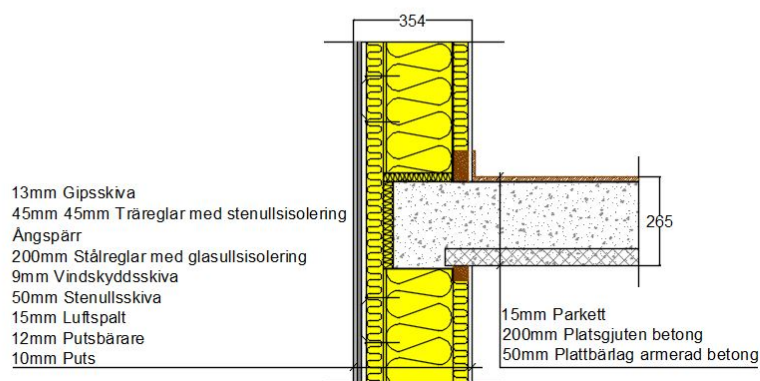
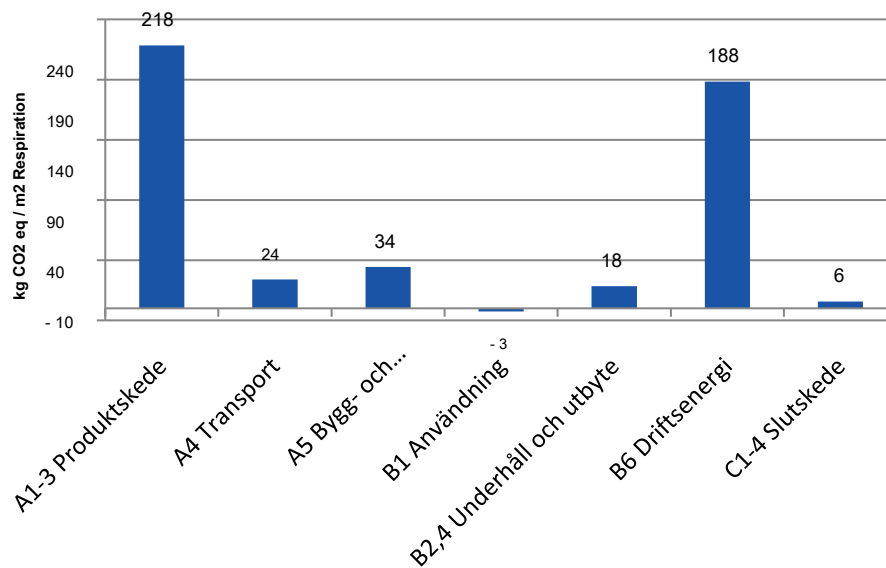


Figure 4. Système 2 - Charpente en béton moulé avec murs de soutènement en bois clair et tôle - Impact climatique sur le cycle de vie, période d'analyse 50 ans. Pour l'étape produit, l'impact climatique du béton (58%) domine, suivi par les détails de tôle et acier, les règles, etc. (10%) et les installations (6%).

construction (module A1-A5): 276 kg CO₂-ekv./m² UNE temp



System 3: Prefabricerad betongstomme

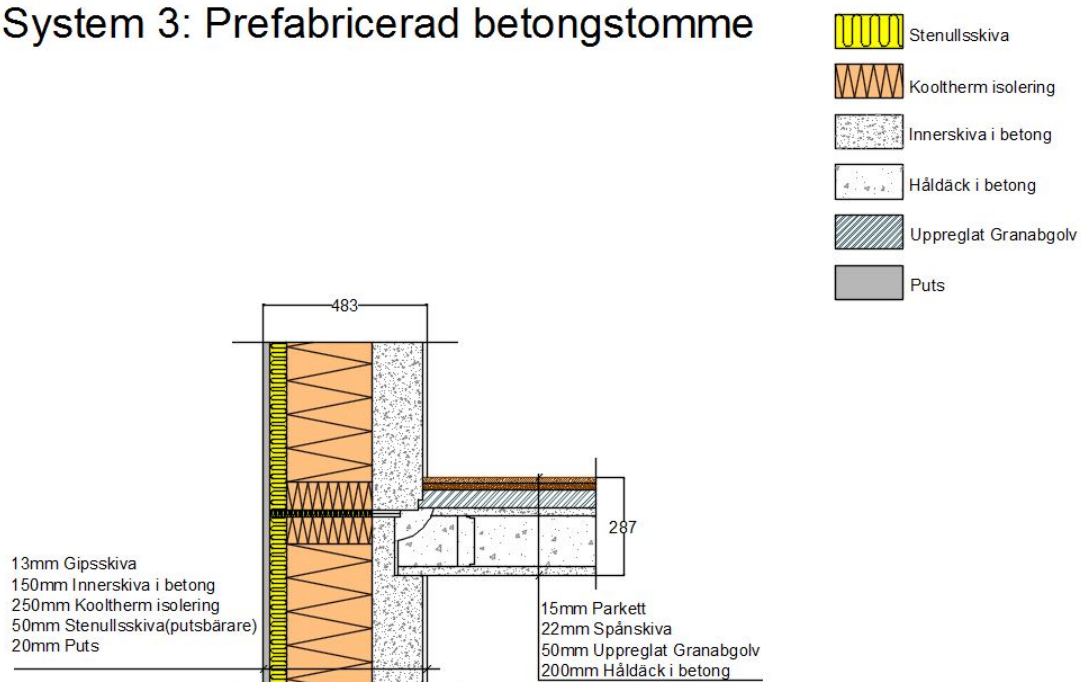
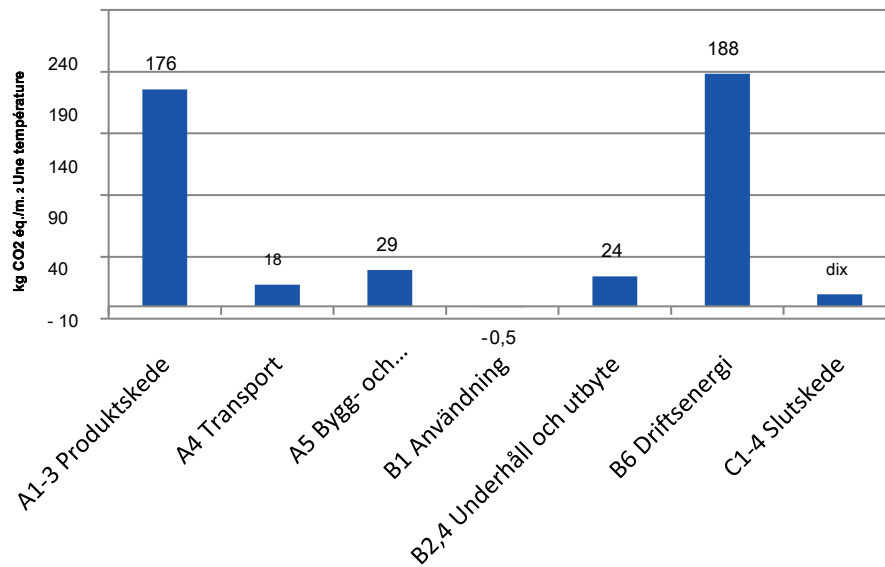


Figure 5. Système 3 - Charpente préfabriquée en béton - Impact climatique sur le cycle de vie, période d'analyse 50 ans. Pour l'étape produit, l'impact climatique du béton (43%) domine, suivi des armatures (23%) et de l'isolation (10%).

A1-A5): 223 kg CO₂ ekv./m² UNE temp



System 4: Volymelement i trä

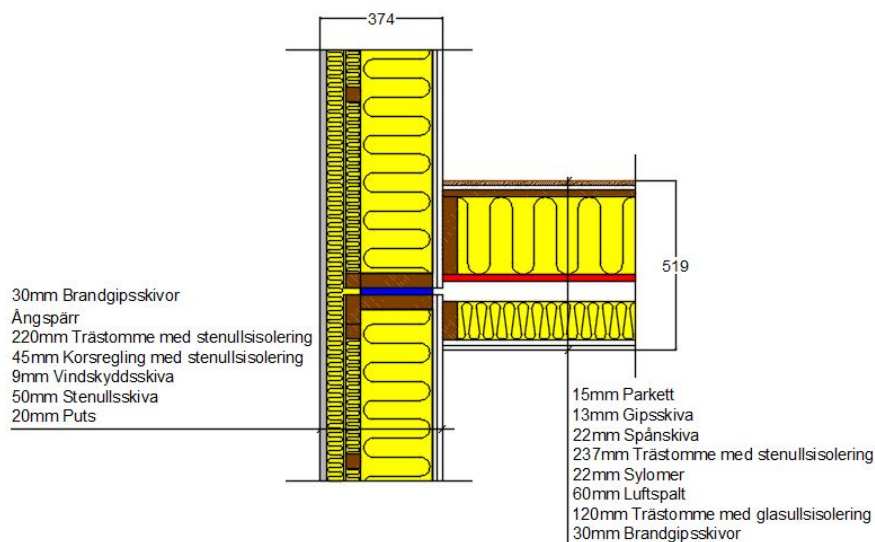
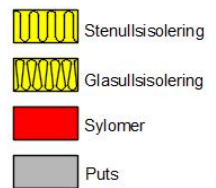
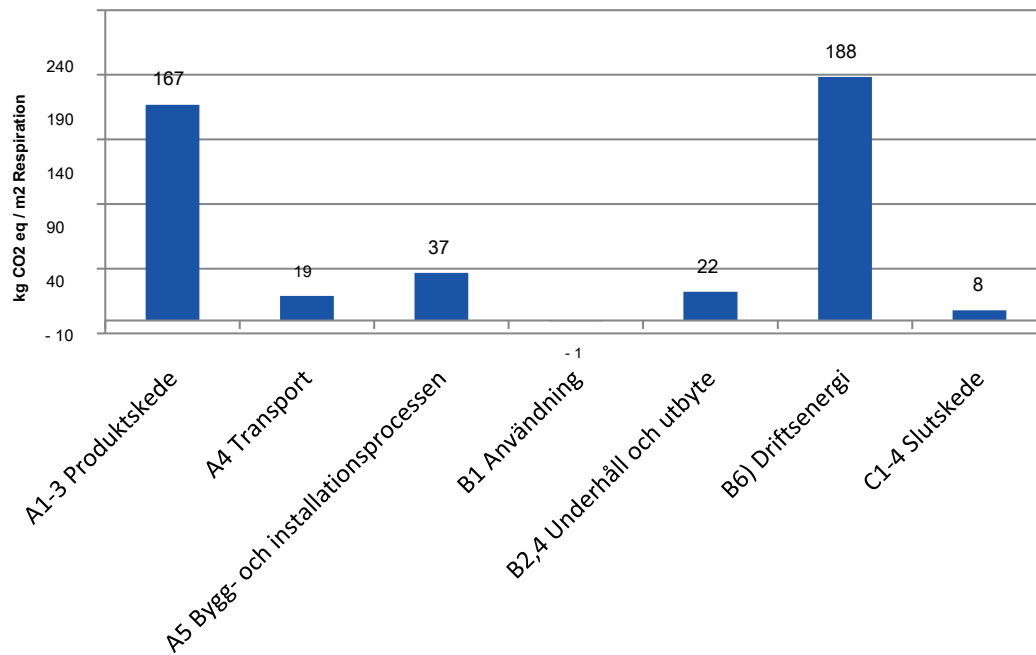


Figure 6. Système 4 - Éléments volumiques en bois - Impact climatique sur le cycle de vie, période d'analyse 50 ans. Pour l'étape produit, l'impact climatique des plaques de plâtre (31%) domine, suivi de l'isolation (13%) et du béton (12%).

A1-A5): 223 kg CO₂-ekv./m² UNE temp



System 5: Massiv stomme i KL-Trä

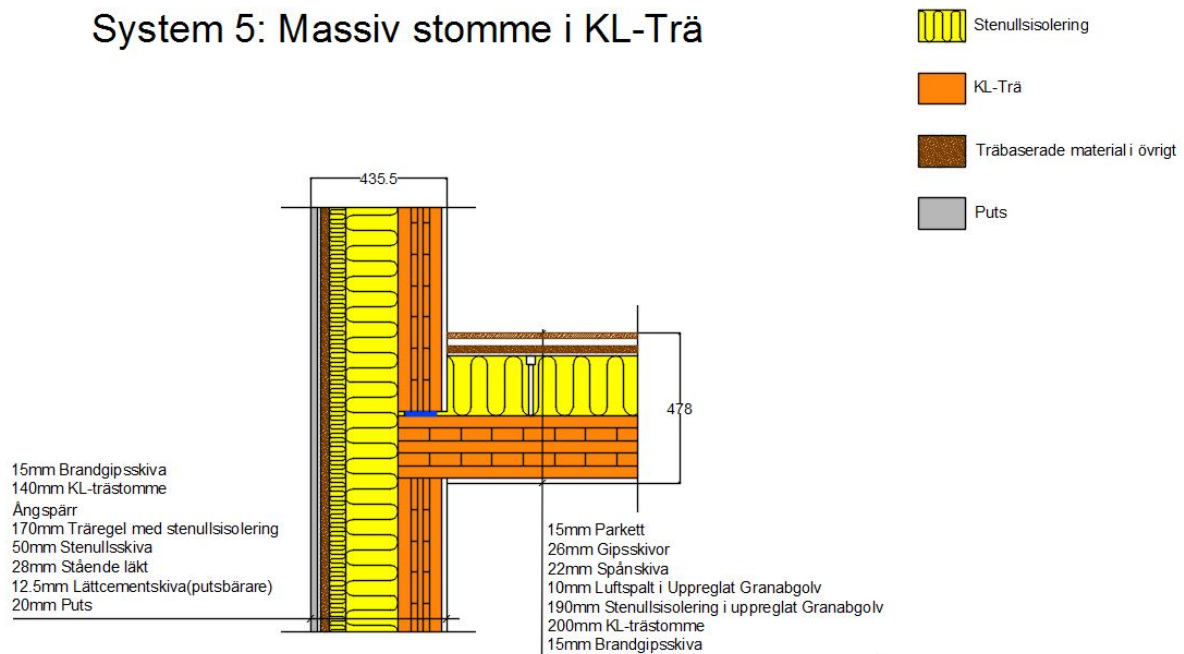


Figure 7. Système 5 - Structure solide en bois KL - Impact climatique sur le cycle de vie, période d'analyse 50 ans. Pour l'étape produit, le bois KL contribue le plus à l'impact climatique (21%), suivi de l'isolation (16%) et des plaques de plâtre (13%).

potentiels d'amélioration

Étant donné que la phase de construction représente aujourd'hui une grande partie de l'impact climatique d'un bâtiment sur son cycle de vie, il est temps de commencer sérieusement à mettre en œuvre des mesures qui peuvent réduire son impact climatique. Dans le travail avec l'étude, nous avons identifié certaines de ces mesures que les entreprises qui ont conçu les différents systèmes de construction ont considéré comme intéressantes et réalistes à mettre en œuvre. Les mesures d'amélioration envisagées visent à réduire l'impact climatique dès la phase de construction, tout en conservant une fonction de base. Les coûts et les impacts sur la production de construction, etc. n'ont pas été analysés. Ci-dessous est montré combien l'impact climatique peut être réduit si de telles mesures étaient mises en œuvre.

Béton renforcé par le climat

Pour les trois systèmes de construction à base de béton, les produits en béton et en ciment dominent le grand impact climatique lié à l'utilisation des matériaux du bâtiment. La quantité de béton a une importance, la solution de béton préfabriqué avec poutres-trous a un volume de béton de l'ordre de 20% inférieur à celui des deux systèmes coulés sur site. Mais même les recettes de béton utilisées sont d'une grande importance. Dans le système de paroi de compartiment léger, le béton a une proportion plus faible d'adhésifs, ce qui réduit l'impact climatique. Dans le système préfabriqué, une partie du ciment dans le liant a également été remplacée par du laitier de haut fourneau, ce qui signifie une "amélioration du climat" déjà dans le cas de base.

La mesure d'amélioration la plus importante, pour les systèmes à base de béton, est donc d'étudier la possibilité de choisir un béton amélioré par le climat. 3 alternatives envisageables, considérées comme possibles aujourd'hui, ont été développées dont le potentiel pour l'étape de produit pour les différentes solutions projetées est illustré à la figure 8. Le cas A correspond à un degré de mélange de scories disponible aujourd'hui sur le marché suédois et correspond essentiellement au béton déjà Aujourd'hui, le cas de fondation est utilisé pour les éléments préfabriqués en béton du système 3. Le cas B correspond à un ciment de laitier légèrement plus optimisé avec une croissance à haute résistance et le cas C contient un ciment de laitier optimisé avec le plus haut niveau de remplacement possible aujourd'hui (65 pour cent).

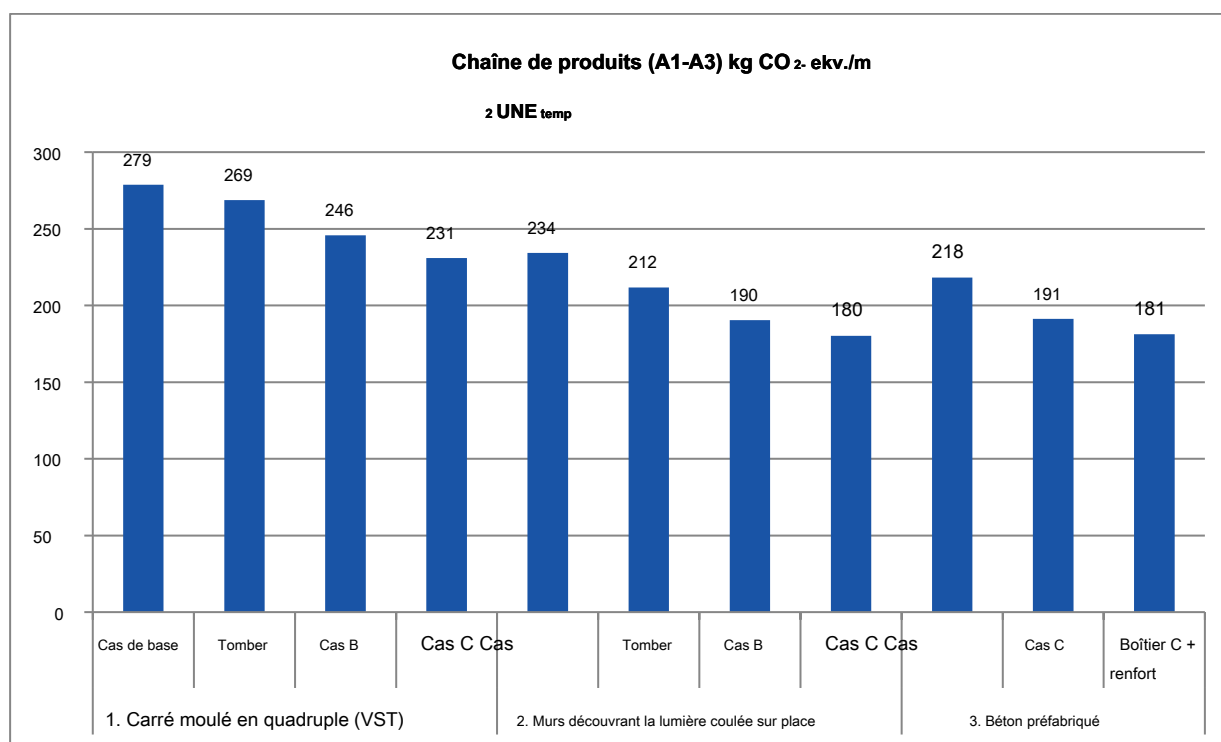


Figure 8. Potentiels pour améliorer la phase de production des systèmes de construction à base de béton avec trois alternatives de béton renforcé par le climat.

Pour l'ensemble de la phase de produit (A1-A3), les calculs montrent que l'utilisation de béton renforcé climatique tel que décrit ci-dessus peut être réduite de 4 à 17% pour le système VST et de 9 à 23% pour le système en béton coulé sur site avec des murs de chaussée légers. Pour le système préfabriqué, la réduction est de 12%. Étant donné que les systèmes à base de bois ont également une dalle de béton au sol, une amélioration en choisissant du béton renforcé par le climat peut également être obtenue pour ces systèmes, voir la figure 9.

Autres choix de produits améliorés par le climat

Pour le système de construction préfabriqué en béton, le renforcement dans les éléments en béton représente également une grande partie de l'impact climatique pour l'étape du produit. En faisant un *Plus précisément* sélection d'un produit de renforcement à faible impact climatique pendant la fabrication, l'impact climatique peut être encore réduit, voir la dernière barre à droite sur la figure 8. En effet, ce produit a une meilleure performance climatique que la "moyenne" des produits de renforcement qui devraient être utilisés dans des calculs similaires si un Les acheteurs n'ont pas clairement identifié les produits achetés. Ce potentiel d'amélioration est également réaliste pour les autres systèmes à base de béton.

Pour les systèmes à base de bois, l'isolation a une part relativement importante de l'impact climatique au stade du produit (A1-A3). Par conséquent, un changement d'une grande partie de l'isolation en laine de roche de ces systèmes vers le produit en laine de verre avec les meilleures performances climatiques sur le marché aujourd'hui a été mis en œuvre sur les systèmes, ce qui donne une réduction significative de l'impact climatique pour l'étape du produit, Figure 9.

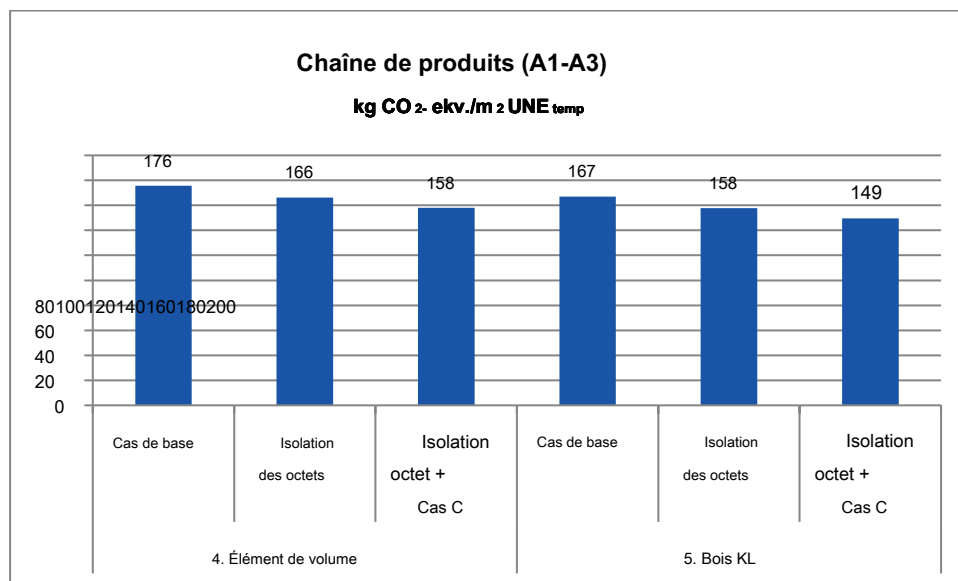


Figure 9. Potentiels pour améliorer la phase de produit des systèmes de construction à base de bois lors du passage à l'isolation en laine de verre à haute performance climatique, ainsi qu'au béton amélioré selon le cas C dans la plaque au sol.

Impact climatique des transports et opportunités d'amélioration

Les résultats des scénarios de base pour les systèmes de construction préfabriqués (figure 5-7) montrent que le transport d'éléments préfabriqués vers le chantier représente une proportion relativement importante de l'impact climatique du bâtiment. Le transport d'éléments volumiques en bois a lieu aujourd'hui par camion depuis Lindbäcks et dans le scénario de base (figure 6), le diesel fossile a été utilisé comme carburant². La figure 10 montre le potentiel relativement important de réduction des émissions si le carburant HVO remplace le diesel fossile lors du transport des éléments de volume de Piteå. Le même diagramme montre également comment la distance au chantier de construction affecte le résultat. La colonne "courte distance" montre à quel point la charge serait moindre si le chantier était situé à seulement 100 km de l'usine de Lindbäck (avec du diesel fossile comme carburant). Dans le cas du système de béton préfabriqué, un fournisseur local des éléments en béton est supposé, c.-à-d. une distance de transport de 150 km. Stora Enso transporte aujourd'hui ses trains préfabriqués par train depuis l'Autriche pour les grands projets de construction tels que le bloc Blue Virgin, qui correspond à la charge du cas de base ("original" sur la figure

dix). Si le transport des éléments de carrosserie KL avait été effectué par camion à la place, il augmenterait selon la figure 10.

² Lindbäcks fonctionne déjà aujourd'hui avec du carburant HVO, mais il est toujours difficile de garantir que 100% du carburant est utilisé.

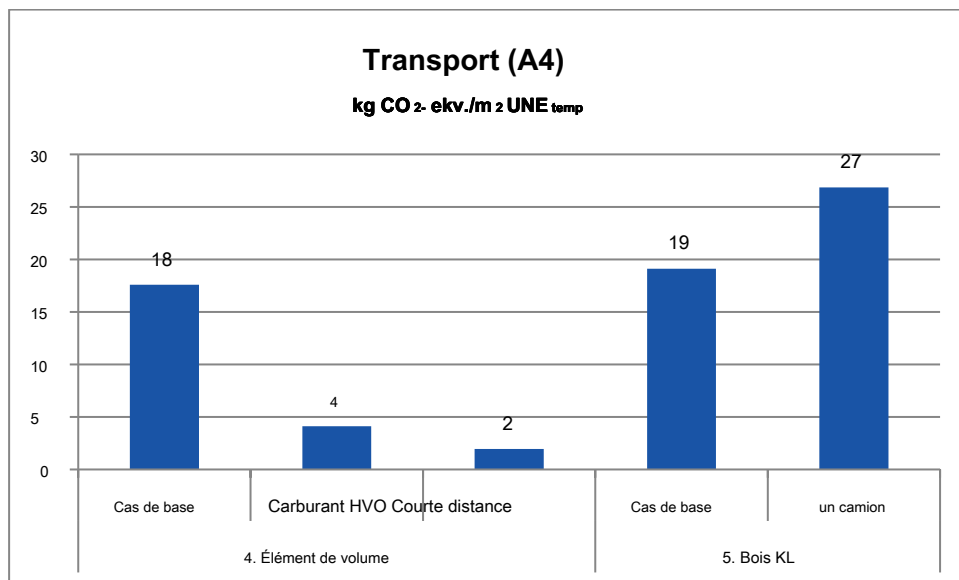


Figure 10. Analyse de l'impact climatique du transport en fonction du choix de carburant et de la distance de transport, illustrée pour les deux systèmes de construction préfabriqués à base de bois.

Cabines à carburant renouvelable et écoénergétiques sur le chantier

Le calcul de l'impact climatique associé aux activités énergivores sur le chantier s'est basé, entre autres, sur des entretiens avec les fournisseurs des systèmes de construction. Sur cette base, c'est principalement la consommation d'électricité et de diesel sur le chantier qui représente une part relativement importante de l'impact climatique et environnemental du processus de construction et d'installation (module A5). La figure 11 illustre le potentiel d'amélioration de la construction et de l'achèvement du cadre avec des grues mobiles, si le fonctionnement de celui-ci passe du diesel fossile au carburant 100% HVO, et si des cabines plus écoénergétiques sont utilisées pendant la période d'établissement.

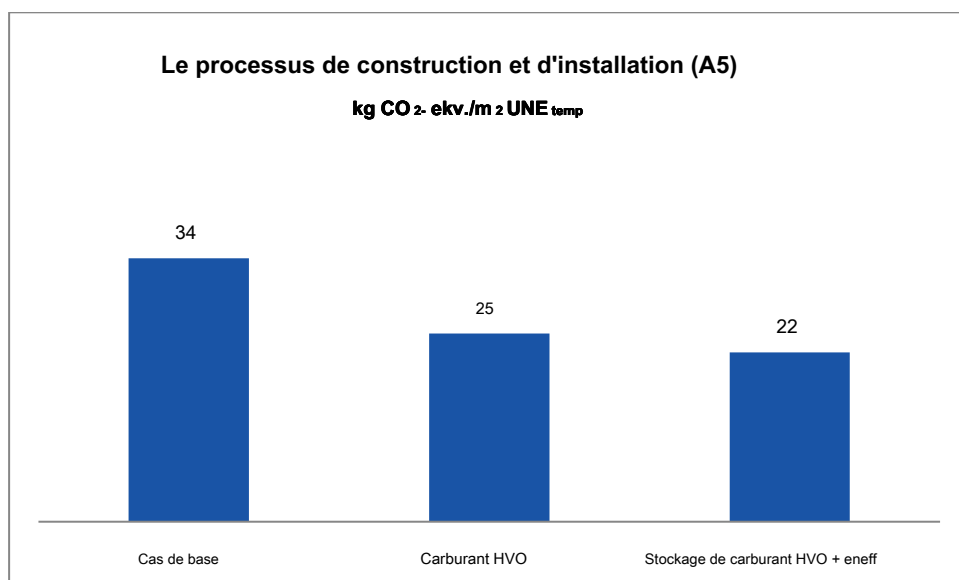


Figure 11. Potentiel d'amélioration du processus de construction et d'installation (module A5) illustré pour le système préfabriqué en béton lorsque les machines de travail (y compris la grue mobile) utilisent 100% de carburant HVO et avec des cabines plus écoénergétiques.

En résumé, les mesures indiquées ci-dessus signifient que l'impact climatique du bâtiment (A1-A5) pour la base des différents systèmes de construction (figure 3-7) peut dans tous les cas être considérablement réduit. Parmi les mesures décrites, les plus importantes pour chaque système de construction ont été mises en œuvre dans le tableau 1. Il montre qu'il y a des potentiels avec ces mesures seules pour réduire l'impact climatique pour la phase de construction (module A1-A5) de près de 1/5 pour la plupart des systèmes de construction étudiés quand ils appliqués à la maison de référence de l'étude.

Tableau 1. Résumé du potentiel de réduction de l'impact climatique résultant de mesures importantes pour chaque système de construction, lorsqu'il est mis en œuvre dans la maison de référence de l'étude.

Systèmes de construction	Améliorations mises en œuvre	Impact climatique réduit pour la phase de construction (module A1-A5)
1: Cadre en béton moulé carré en quartz (VST)	Béton amélioré par le climat selon le cas C Changement du diesel fossile au carburant 100% HVO sur le chantier	19%
2: Cadre en béton coulé avec des murs découvrants légers	Béton optimisé pour le climat selon Case C Cabines écoénergétiques sur le chantier	20%
3: Cadre en béton préfabriqué	Béton amélioré climatique selon le cas C Choix spécifique du produit de renforcement Passage du diesel fossile au carburant 100% HVO sur le chantier Cabines écoénergétiques sur le chantier	18%
4: Éléments de volume en bois	Passage d'une laine de roche générique à un choix spécifique de laine de verre Béton renforcé climatique dans la plaque inférieure selon le cas C Transport par camion d'éléments volumiques avec 100% de carburant HVO Passage du diesel fossile au carburant 100% HVO sur le chantier	18%
5: Structure solide en bois KL	Changement de la laine de roche au choix spécifique du produit de laine de verre Béton renforcé par le climat dans la plaque de base selon le cas C Changement du diesel fossile au carburant 100% HVO sur le chantier Cabines écoénergétiques sur le chantier	13%

Bien sûr, pour tous les systèmes, il existe des mesures supplémentaires qui auraient pu être mises en œuvre, mais les exemples ci-dessus illustrent un certain nombre de choix / mesures qui ont un grand potentiel pour chaque système. Des mesures qui réduisent l'impact du climat sur l'entretien pendant la durée de vie du bâtiment peuvent également être importantes à considérer. Dans cette étude, les matériaux et installations de toiture et de façade sont les mêmes dans toutes les conceptions des systèmes de construction, mais pour les balcons dans les systèmes en bois, l'impact climatique dû au remplacement du revêtement de protection en composite plastique ou caoutchouc est relativement élevé. Cela signifie qu'il y a toutes les raisons de trouver des alternatives respectueuses du climat pour ces types de solutions de balcon.

Recommandations aux entrepreneurs et constructeurs

Comme dans les études précédentes que nous avons menées (Liljenström et al., 2015 et Larson et al., 2016), cette étude montre également que la phase de construction représente une proportion importante de l'impact climatique des immeubles d'habitation nouvellement construits au cours du cycle de vie. Quel que soit le choix du matériau dans la carrosserie, la phase de construction représente de l'ordre de 50 à 60% sur la période d'analyse de 50 ans. Et si le système énergétique suédois se développe conformément à l'objectif fixé par le Riksdag de zéro émission nette de gaz à effet de serre en 2045, cette proportion est encore plus élevée, jusqu'à 70%.

Il existe des différences significatives dans l'impact climatique pour la phase de construction, selon la solution de conception, mais le projet montre également qu'il existe des solutions plus ou moins éco-climatiques, que le matériau principal du cadre soit le béton ou le bois.

Il existe des potentiels relativement importants pour réduire l'impact climatique dès la phase de construction, quelle que soit la solution de conception choisie. Il est donc important d'identifier et de mettre en œuvre les choix climatiques intelligents importants dans toutes les nouvelles productions (mais aussi les projets de remodelage plus étendus). Sur la base des résultats de cette étude, les étapes suivantes sont très intéressantes à considérer. Les mesures d'amélioration envisagées visent à réduire l'impact climatique dès la phase de construction, tout en conservant la fonction de base comme dans la maison de référence.

- **Commandez du béton renforcé par le climat.** Quel que soit le système de construction utilisé, une mesure très importante consiste à choisir un béton amélioré par le climat. Ceux-ci sont déjà disponibles aujourd'hui pour acheter sur le marché suédois sans affecter de manière significative le cycle de coulée. Ensuite, il est possible de commander du béton encore meilleur du point de vue climatique, mais cela nécessite un dialogue entre le fournisseur de béton, le concepteur et l'entrepreneur.
- **Choisissez les meilleurs produits climatiques pour les grands groupes de matériaux.** L'étude montre que d'importantes améliorations climatiques doivent être apportées lors de l'achat en choisissant le bon fournisseur et le bon produit pour les groupes de matériaux importants. Des exemples de cela de l'étude sont le renforcement et l'isolation en laine de verre où il y avait de grandes différences entre les produits de différents fournisseurs. Cette mesure s'applique quel que soit le matériau ou le système de construction choisi.
- **Choisissez des carburants renouvelables pour le transport.** De même, le choix du transport par chemin de fer ou par camion avec des carburants renouvelables, tels que le HVO, présente d'importants avantages pour le climat lorsque des systèmes de construction préfabriqués sont choisis.
- **Évitez les expéditions longues de matériaux et de composants.** Bien que des carburants renouvelables soient utilisés pour le transport de matériaux et de composants sur le chantier, il est également important d'éviter un transport trop long de matériaux et de composants qui représentent une grande partie du poids du bâtiment. Il est donc particulièrement important de prendre en compte les grands matériaux de cadre.
- **Optimiser la consommation d'énergie sur le chantier.** L'utilisation intensive de machines à moteur diesel sur le chantier a également un impact climatique relativement important. L'étude montre notamment que l'utilisation de grues mobiles à moteur diesel peut avoir un impact majeur. L'électrification des véhicules de chantier peut être un moyen de s'améliorer. Dans la mesure où il est possible d'acheter du carburant renouvelable, tel que le HVO, pour les véhicules du chantier, l'impact climatique est considérablement réduit. Il est également important d'optimiser et de minimiser le fonctionnement de tous les véhicules et d'utiliser des cabines écoénergétiques.
- **Choisissez un revêtement de sol sur les balcons à faible impact climatique en ce qui concerne l'entretien.** Historiquement, il y a eu des problèmes avec les balcons en béton, mais ils sont considérés comme gérés aujourd'hui. Pour les systèmes de construction à base de bois, l'impact climatique dû à l'entretien des balcons doit être pris en compte. Trouver des solutions avec un impact climatique et des besoins de maintenance inférieurs à ceux des solutions d'aujourd'hui est important ici.
- **Comptez sur l'impact climatique dans chaque projet de construction individuel.** Chaque projet de construction est unique et donc aussi quelles opportunités d'amélioration sont les plus importantes pour réduire l'impact climatique. Bien que les propositions énumérées ci-dessus doivent être prises en compte dans les projets, pour le projet unique, il peut y avoir un autre choix qui peut avoir un impact significatif sur l'impact climatique du projet. Par conséquent, il est important que les calculs climatiques soient effectués tôt dans la planification afin que les mesures les plus importantes pour votre projet particulier puissent être identifiées tôt et ainsi mises en œuvre pour réduire l'impact climatique du bâtiment. Cependant, les solutions techniques sélectionnées en phase de construction affecteront le bâtiment pendant son cycle de vie, c'est pourquoi une analyse d'amélioration doit toujours couvrir l'ensemble du cycle de vie.
- **Accroître l'expertise sur l'impact climatique tout au long de la chaîne de valeur.** Afin d'identifier et de mettre en œuvre les mesures les plus importantes et les plus rentables pour réduire l'impact climatique des projets de construction individuels, une augmentation générale des compétences et de la collaboration entre tous les acteurs de la chaîne de valeur est nécessaire. Cela vaut notamment pour les achats.

Les mesures décrites ci-dessus illustrent les améliorations à apporter en phase de construction (modules A1-A5). Nous avons choisi ici de lever les mesures dans la phase de construction car ce sont des questions qui n'ont jusqu'à présent pas beaucoup travaillé dans les nouveaux projets de construction. Il est bien sûr toujours important de travailler pour des coquilles climatiques écoénergétiques et d'autres mesures qui réduisent l'impact climatique de l'étape d'utilisation (étape B). Il est également important de choisir des composants avec une longue durée de vie et des solutions flexibles qui réduisent le besoin d'un important renouvellement futur des matériaux dans l'évolution des fonctions et des exigences du bâtiment.

Les mesures d'amélioration ont été jugées réalistes à mettre en œuvre dès aujourd'hui, mais bien sûr, il peut y avoir des raisons de coût et de production pour lesquelles elles ne sont pas mises en œuvre régulièrement. Cependant, la tâche du projet a été de mettre en évidence avec précision les économies climatiques qu'il est possible de mettre en œuvre, les problèmes de coûts sont en dehors des objectifs du projet. De même, seul l'impact climatique analysé dans l'étude, et aucun autre impact sur l'environnement et la santé humaine, l'utilisation des ressources naturelles, la biodiversité, etc.

À l'heure actuelle, beaucoup est susceptible de conduire à une orientation accrue vers des concepts de construction avec des performances climatiques améliorées: la proposition de Boverket pour une déclaration climatique pour les bâtiments (2018) et une construction accrue avec à la fois la dernière version de Miljöbyggnad, qui exige désormais de gérer l'impact climatique du bâtiment à l'aide de l'ACV, et d'autres certifications environnementales qui fixent des exigences similaires.

En ce qui concerne le béton amélioré par le climat, une alternative déjà utilisée sur le marché suédois (cas A) est signalée. Tout le béton dans la construction de maisons contient aujourd'hui divers produits de remplacement du ciment, ce qui signifie que la déshydratation et la croissance de la résistance, sous certaines conditions, peuvent différer du béton qui a été historiquement utilisé sur le marché suédois. Un rapport du SBUF est attendu à l'automne 2018 qui met en évidence les conséquences de cela et comment les problèmes peuvent être évités avec des recettes de béton modernes.

Il convient également de mentionner que, avec l'obligation de réduction du diesel entrant en vigueur à la fin du semestre 2018, on peut supposer qu'il sera difficile d'acheter 100% de biodiesel, car tout le biodiesel sera utilisé pour respecter l'obligation de réduction. Cependant, l'obligation de réduction entraînera une réduction de l'impact climatique pour tous les transports et véhicules utilisés dans tous les projets de construction en Suède. D'autres types de carburants renouvelables seront donc à l'avenir les plus appropriés à choisir et pour les machines de travail sur site, une conversion au biogaz ou aux véhicules électriques pourra éventuellement être une alternative.

références

Construction et planification. (2018). Déclaration climatique des bâtiments. Rapport 2018: 23. Karlskrona: Boverket. EN 15804. (2012). Durabilité des travaux de construction - Déclarations environnementales - Règles spécifiques au produit. SS-EN 15804: 2012+ A1: 2013. Stockholm: SIS.

EN 15978. (2011). Durabilité des travaux - Évaluation de la performance environnementale des bâtiments - Méthode de calcul. SS-EN 15978: 2011. Stockholm: SIS.

Erlandsson, M et Malmqvist, T., Francart, N, Kellner, J. (2018). Réduction de l'impact climatique des immeubles à appartements - ACV de cinq systèmes de construction. Rapport de base. Stockholm: Sweden's Construction Industries Liljenström, C, Malmqvist, T, Erlandsson, M., Freden, J., Adolfsson, I., Larsson, G., Brogren, M. (2015).

L'impact climatique du bâtiment. Calcul du cycle de vie de l'impact climatique et de la consommation d'énergie pour un immeuble d'appartements écoénergétique récemment construit en béton. Stockholm: les industries suédoises de la construction.

Larsson, M., Erlandsson, M., Malmqvist, T., Kellner, J. (2016). L'impact climatique du bâtiment - Calcul du cycle de vie de l'impact climatique pour un immeuble d'appartements écoénergétique récemment construit avec une ossature en bois massif. Stockholm: les industries suédoises de la construction.