

La conception modulaire au service du bâtiment bas carbone ?

Thomas Jusselme, professeur à la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR) et adjoint scientifique de l'EPFL à Fribourg <thomas.jusselme@epfl.ch>

Quels sont les avantages de la construction modulaire dans le cadre des objectifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur de la construction? Cet article propose un éclairage des interactions entre modularité et empreinte carbone. La durée de vie et la qualité environnementale des matériaux de construction sont deux paramètres ayant une forte influence sur le calcul de cette empreinte carbone. Ainsi, pour observer un effet positif, les stratégies de flexibilité et de modularité doivent rallonger la durée de vie des composants du bâtiment sans pour autant dégrader la qualité environnementale des produits mis en œuvre. Il s'agit donc d'investir la juste quantité d'énergie/carbone gris, au bon moment, pour un composant du bâtiment dont la fin de vie sera sanctionnée par la dégradation de ses qualités physiques (assez prévisible), ou par son inadéquation à de nouveaux usages (hautement imprévisible).

RELATION ENTRE LES USAGERS ET LES BÂTIMENTS

À l'échelle mondiale, les bâtiments sont responsables de 33% des émissions de CO₂¹. Face à l'urgence climatique, la réduction des gaz à effet serre du secteur de la construction est fondamentale. Pour les bâtiments nouveaux et performants, le choix des matériaux – le carbone gris – représente plus de 75 % de l'impact global, que l'on mesure grâce à l'analyse du cycle de vie (ACV)². Une ACV prend en compte les durées de vie des composants du bâtiment, ramenées sur la durée de vie totale d'une construction. On peut d'ores et déjà comprendre qu'un bâtiment à faible empreinte carbone est celui qui saura choisir des composants à forte durée de vie, ou dont le renouvellement est compatible avec des objectifs ambitieux si leur impact environnemental est très faible.

Pour comprendre la relation entre usagers et bâtiments, il faut se pencher sur l'équation de l'économiste japonais Kaya, déclinée pour la Suisse et le secteur de la construction (fig. 1)³. On y apprend que les émissions de gaz à effet de serre sont fonction de la population suisse, qui elle-même va engendrer une pression immobilière pour ses différents usages – usages qui vont consommer de l'énergie et ainsi émettre du CO₂. La relation entre immobilier et usagers est donc fondamentale car un changement des usages va mener à une

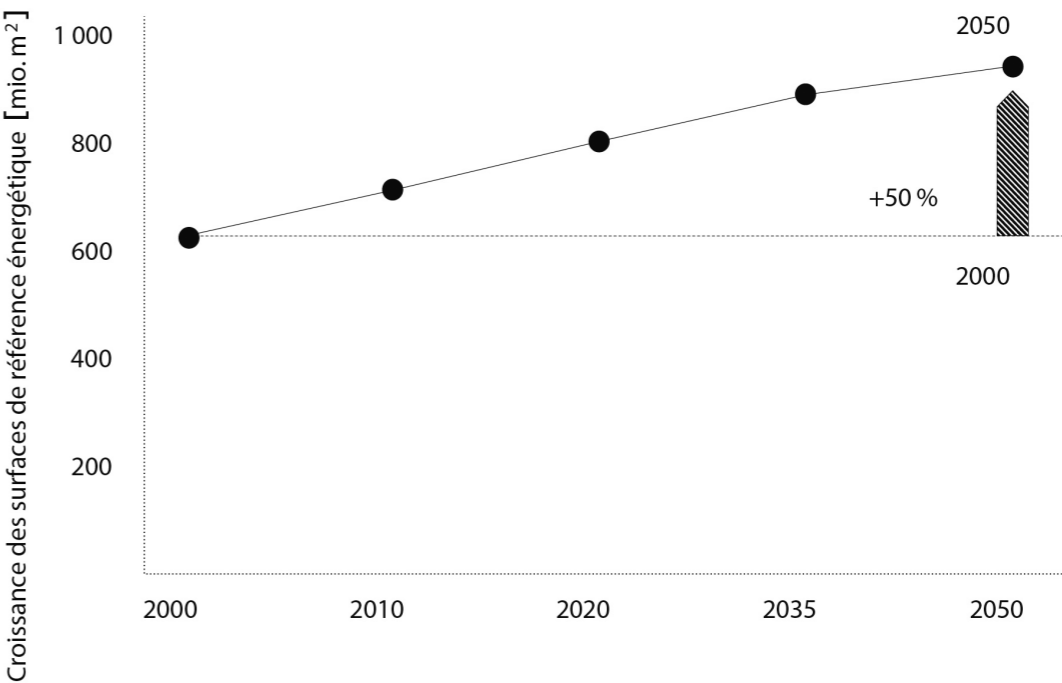
modification du parc bâti, quitte à écourter la durée de vie des bâtiments et de leurs composants, augmentant de fait la facture carbone. Ainsi, la construction modulaire a un rôle fondamental à jouer, pour faciliter ce renouvellement et assurer une flexibilité des bâtiments.

Pour cela, il est nécessaire de prendre en compte les impacts environnementaux dès les premiers pas du processus de conception, de même que la capacité d'adaptation future des espaces construits sans gaspillage de ressources non renouvelables. En effet, la question du changement climatique est avant tout une question de comptabilité carbone. Pour limiter le réchauffement à 1,5° C selon les estimations du dernier accord de Paris, il ne nous reste plus que 420 GtCO₂ à émettre à l'échelle mondiale⁴. Si on maintient le rythme actuel de 42 GtCO₂ par an, nous aurons épuisé ce budget dans 10 ans. On comprend ainsi pourquoi on parle d'urgence, dans un secteur à très forte inertie. La Suisse par exemple dispose de 1,68 millions de bâtiments à usage d'habitation avec un taux d'assainissement énergétique de seulement 0,9 %, soit environ 1 bâtiment sur 100 remplacé tous les ans⁵.

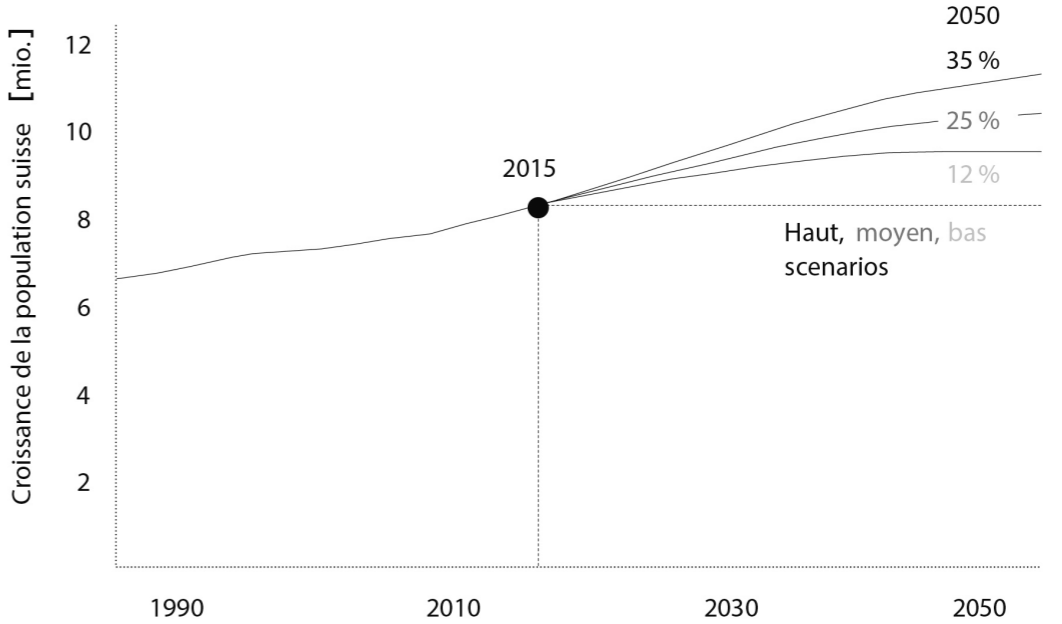
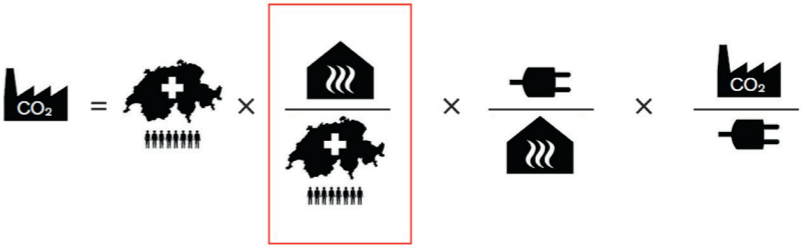
VERS UNE FORTE UTILISABILITÉ DU PARC IMMOBILIER

Pour atteindre cet objectif, il faudrait augmenter drastiquement le taux de rénovation sans alourdir l'énergie grise, ce qui serait totalement contre-productif. Il faut donc entreprendre un processus de conception dynamique et concevoir des bâtiments avec une capacité de changement et d'adaptation dans le temps, ce qu'on appelle la flexibilité. Celle-ci doit garantir une forte utilisabilité des bâtiments pour un ratio [surface bâtie/population] minimum, tel qu'exprimé dans l'équation de Kaya revisitée. En effet, il n'y a pas moins performant qu'un logement vacant. Cette utilisabilité se mesure en termes d'efficacité (atteinte d'un objectif), d'efficience (en minimisant les ressources) et de satisfaction (pour un plus grand confort). Elle est influencée tout autant par le contexte urbain, culturel, la situation du bâtiment que par les usagers^{6, 7}.

Pour maintenir une forte utilisabilité du parc, on retiendra deux stratégies de flexibilité. La première s'opère grâce à la séparabilité des éléments constructifs, qui peut s'obtenir par la modularité et le montage d'éléments préfabriqués, ou par le report des choix de conception dans une phase ultérieure. La seconde stratégie consiste à opérer des changements physiques de l'espace habité, grâce à des techniques mises en œuvre



SRE (surface de référence énergétique)
Scénario d'évolution des surfaces de référence énergétique



Scénarios d'évolution de la population suisse
(OFS 2015)

1 L'identité de Kaya déclinée pour la Suisse et le secteur de la construction, avec notamment la mise en évidence de l'importance de l'évolution du ratio entre la surface de référence énergétique totale et le nombre total de personnes³.
(© T. Jusselme)



2 Visualisation intérieure du projet HOP par Behnisch Architekten (© Behnisch Architekten, Drees & Sommer Schweiz AG, ZPF Ingenieure AG)

en vue d'éventuelles évolutions des usages. Cependant, l'analyse de la littérature en termes de flexibilité démontre que le coût de la flexibilité technique ne se justifie qu'en cas de forte intensité d'usage⁸. En effet, l'efficacité des techniques de flexibilité est faible si l'intensité d'usage n'est pas très élevée.

ADAPTER LE PROCESSUS DE CONCEPTION POUR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DES USAGES

Il s'agit donc plutôt de mettre en œuvre le bon matériau/la bonne technique de construction au bon moment. Lors d'un processus de construction, la compréhension des besoins des utilisateurs est de plus en plus fine avec le temps. En revanche, les possibilités de modification du projet sont de plus en plus difficiles. En effet, étant plus précis, tout changement a plus de conséquences sur le projet. Une stratégie de flexibilité réside ainsi dans la séparation de l'ensemble du projet en deux étapes de conception/construction : un projet primaire puis secondaire. Le projet primaire comprendra la peau extérieure, la structure et les services centraux du bâtiment, qui interagissent peu avec les usagers. Le projet secondaire est lui en contact direct avec les occupants d'un bâtiment et sera donc soumis à modifications en cas de changement d'usages. Il comprend la peau intérieure, les composants techniques fixes, les meubles et appareils mobiles ainsi que les cloisonnements et portes.

Il est également possible d'émettre quelques règles générales⁹ pour favoriser la flexibilité d'un bâtiment. Il s'agira d'être attentif à la plasticité (permettre des découpes, des trous, de la dilatation, etc.), à l'indépendance (matériaux utilisables indépendamment les uns des autres) et à l'impact environnemental des matériaux mis en œuvre (un faible impact autorisant son renouvel-

lement dans un budget carbone défini). Les composants devront être modulaires, privilégier des assemblages secs et de préférence être indépendants des réseaux CVSE. Enfin, à l'échelle de l'espace, il est recommandé d'avoir une trame structurelle avec des dimensions physiques neutres suivant une grille universelle. Une hauteur d'étage généreuse permettra la transformation pour différents types d'usages.

En synthèse, la conception modulaire sera au service du bâtiment bas carbone si les techniques employées pour parvenir à cette modularité ont un faible impact environnemental et si la modularité permet réellement un allongement de la durée de vie des matériaux mis en œuvre, voire un réemploi de ceux-ci. Ces enjeux font partie de la réflexion en cours pour la réalisation du futur bâtiment (fig. 2) du Smart Living Lab à Fribourg¹⁰.

1 UNEP, United Nations Environmental Programme, «Buildings and climate change: Summary for decision-makers», *Sustainable Buildings and Climate Initiative*, Paris, 2009, pp. 1–62.
2 Chastas P, Theodosiou T, Bikas D, et Kontoleon K, «Embodied Energy and Nearly Zero Energy Buildings: A Review in Residential Buildings», *Procedia Environmental Sciences*, 38, 2017, pp. 554–561.
3 Jusselme T, «Research at the service of design» in *Exploring - Research-driven Building Design*, Andersen M, Rey E (Éd.), Park Books, Zurich, 2019.
4 *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2018. Global warming of 1.5° C.
5 SIA, Société suisse des ingénieurs et des architectes, «Modernisation du parc immobilier suisse», www.sia.ch/fr/themes/energie/modernisation-du-parc-immobilier-suisse (consulté le 12.09.2019).
6 Alexander K, «Usability of workplaces: phase two: philosophy and concepts», *Project Report*, International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), Rotterdam, The Netherlands, 2008.
7 Haron SN et Hamid MY, «Quality of Hospital In-use: Usability Evaluation Method as an Assessment», *Journal of Sustainable Development*, vol. 4, no. 2, April 2011.
8 Olsson NOE, «Management of flexibility in projects», *International Journal of Project Management*, Vol 24, issue 1, pp. 66-74, 2006.
9 Jusselme T, Brambilla A, Hoxha E, Jiang Y, Vuarnoz D, Cozza S, «Building 2050 – State-of-the-arts and preliminary guidelines», EPFL – Fribourg, 2015.
10 Bâtiments du Smart Living Lab, www.smartlivinglab.ch/fr/infrastructures/smart-living-building/.