

Note de tendances 03

CONSTRUCTION HORS-SITE 4.0 L'INDUSTRIALISATION, ACCÉLÉRATEUR DE TRANSITIONS

Avec le soutien de

Coordinateur de la note et rédacteur :

Jean-François Caron, Laboratoire Navier, Ecole des Ponts ParisTech

Les contributeurs :

Manon Rethouze, Bouygues Construction SA

Stéphane Fournier, Construire au Futur, Habiter le Futur

Remerciements :

Pierre Colliou, Spie Batignolles

Sophie Meynet, GA immobilier résidentiel

Romain Mesnil, Plateforme Build'In, ENPC

Pascal Chazal, Groupe Hors-site

Philippe Marras, AVELIS

Stéphane Berthier, ENSAV

Une publication proposée par Construire au Futur, Habiter le Futur et Cap Digital

Contacts :

Stéphane Fournier

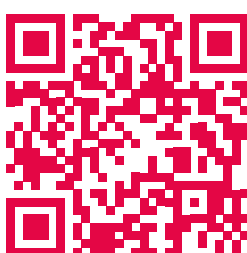
Directeur général, Construire au Futur, Habiter le Futur
stephane.fournier@habiterlefutur.fr

Benoît Bourdier

Community Leader territoires intelligents et durables & Collectivités, Cap Digital
benoit.bourdier@capdigital.com



Construire au Futur,
Habiter le Futur



Cap Digital

INTRODUCTION

Depuis les années 70, l'utilisation de la préfabrication est controversée ; architecture uniformisée et urbanisme mal maîtrisé, cette technique de construction est devenue synonyme (parfois à tort) de piètre qualité.

Ne pas remettre en cause ce constat reviendrait néanmoins à trop rapidement oublier les services inestimables si rapidement rendus en ces temps de crise du logement, grâce aux techniques industrielles déployées, grâce aux « chemins de grues » alignés partout dans les grandes villes. Le secteur de la construction dans son ensemble doit répondre à de nouvelles urgences : crise du logement, rénovation, transitions énergétiques et environnementales.

Dès lors, le hors-site s'impose comme une solution qui ne doit pas simplement changer de nom, mais être réinventée avec les outils actuels de l'industrie 4.0 pour être davantage soutenable et acceptable.



Adopter une construction hors-site remise au goût du jour promet de nombreux bénéfices : diminution des matériaux consommés, meilleure maîtrise de la qualité et des délais, réduction de la pénibilité. Par ricochet, le développement de la préfabrication pourrait avoir des effets positifs sur la filière construction. En effet, une moindre pénibilité et une productivité accrue pourraient la rendre plus attractive en termes d'emploi, et ainsi multiplier les projets de rénovation énergétique des bâtiments.

À l'heure actuelle, avec moins de 15 000 rénovations par an en France qui atteignent l'objectif de bâtiment à basse consommation¹, il faudrait des siècles pour passer le cap avec les techniques et moyens actuels !

La révolution numérique met à disposition des outils et des technologies dont le secteur de la construction doit s'emparer pour mieux construire et habiter le futur.



¹https://www.francetvinfo.fr/economie/immobilier/enquete-france-2-energie-700-000-logements-renoves-par-an-la-realite-derriere-les-chiffres-du-gouvernement_5688599.html

CONTEXTE

Révolutionner l'industrie de la construction est un défi stratégique pour l'avenir.

Alors que le **secteur émet déjà 30% des émissions de gaz à effet de serre** dans le monde et consomme de 40 à 50% des matériaux bruts consommés sur la planète, celui-ci doit néanmoins répondre à une demande croissante.

En effet, le nombre d'urbains aura probablement atteint 7 milliards d'individus en 2050. En parallèle, les tensions liées aux ressources, énergie, matériaux, s'accroissent inexorablement. La Chine a consommé en trois ans (2011-2013) plus de ciment que les États-Unis tout au long du XXe siècle², présageant une tendance exponentielle pour les années à venir.

Malgré ce contexte, 84% des concepteurs estiment que la priorité n'est pas l'économie de matière, mais plutôt la facilité d'exécution³. Ainsi 40% des aciers structurels sont actuellement surabondants pour la construction métallique⁴.

Autre défi auquel le secteur de la construction doit faire face : le recrutement.

En raison du vieillissement de la population, une image peu attrayante, une pénibilité et une dangerosité reconnues (150 accidents du travail mortels en France en 2020), les postes à pourvoir restent nombreux.

Ainsi, en France, 44% des dirigeants sont confrontés à des problématiques liées aux ressources humaines (RH)⁵, un pourcentage qui atteint même **70 à 88% dans le secteur du BTP**.

57% indiquent même avoir dû renoncer à des projets alors que la demande étant croissante, le BTP devrait pouvoir recruter 40 000 personnes supplémentaires par an dans les prochaines années, ce qui est tout simplement impossible. La situation économique amplifie le malaise puisque de nombreux licenciements économiques sont à redouter ces prochaines années (100 000 en 2024).

Enfin, la productivité stagne depuis les années cinquante⁶ partout dans le monde.

Mais si l'Europe et le Japon résistent avec une croissance faible ou une décroissance contenue, les États-Unis, l'Italie et la France décrochent le plus fortement parmi les économies développées. Il y a peu de dynamisme en termes d'innovation, les outils et techniques sont restés sensiblement les mêmes, et les budgets R&D en France sont très faibles (moins de 1% du chiffre d'affaires contre 5 à 6% pour l'automobile⁷).

Dès lors, comment la filière peut-elle intégrer les exigences environnementales à son modèle tout en répondant à l'urgence de construire 500 000 logements par an en France jusqu'en 2040⁸ et de réhabiliter 7,2 millions de passoires thermiques⁹?

Une réorganisation profonde du secteur s'avère incontournable, nécessitant d'intensifier les efforts en cours en matière d'organisation, d'interopérabilité des acteurs, d'intégration, de *lean-management* et d'industrialisation des process.

Une révision du modèle industriel est donc essentielle pour améliorer la productivité et la qualité des constructions. 7,6 milliards d'euros par an constituent le coût des sinistres enregistrés dans la construction, selon l'Agence qualité construction (AQC), ce qui représente environ 10% du CA des entreprises.

S'inspirer des pratiques d'autres secteurs et d'autres pays. La révolution numérique met à disposition des outils tels que la programmation orientée objet, le design paramétrique, la robotisation et la cobotique¹⁰ ainsi que l'imagerie, permettant enfin une approche véritablement DfMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) pour la construction et la déconstruction. Des réalisations sérielles sur mesure (*Mass-Customization*) sont désormais possibles renvoyant aux oubliettes les craintes d'une trop grande uniformisation des architectures.

Les nouvelles chaînes de production automobile fonctionnent aujourd'hui avec très peu de stocks, et produisent « à la demande » pour satisfaire au mieux le client.

« L'approche plateformes de l'industrie automobile – standardiser ce qui peut être commun, customiser ce qui est perceptible – fait partie des piliers qui ont permis de concevoir plus vite et plus sûrement une variété plus importante de modèles et de variations » nous rappelle Pierre Colliou, transfuge de l'automobile (**focus 1, p.6**).

Ces opportunités technologiques peuvent et doivent également servir aujourd'hui le secteur de la construction.

² Ana Swanson, Washington Post, March 24, 2015

³ John Orr et al, Minimising energy in construction: Practitioners' views on material efficiency, Resources, Conservation and Recycling, Volume 140, 2019, Pages 125-136

⁴ Cyrille F. Dunant et al, Regularity and optimisation practice in steel structural frames in real design cases, Resources, Conservation and Recycling, Volume 134, 2018, Pages 294-302

⁵ Etude CPME, auprès de 1153 dirigeants de TPE-PME, Aout 2022

⁶ The Boston Consulting Group, 2018

⁷ B. Michel et R. Rivaton, L'industrialisation de la construction, rapport Ministère Chargé du logement, 2021

⁸ <https://www.lesechos-etudes.fr/blog/actualites-21/la-france-a-besoin-de-plus-de-500-000-nouveaux-logements-par-an-12191>

⁹ Observatoire national de la rénovation énergétique (ONRE)

¹⁰ La cobotique (ou robotique collaborative), est le domaine de la collaboration homme-robot, c'est-à-dire un partenariat entre homme et robot pour mieux réaliser une tâche.

DÉFIS ET PERSPECTIVES

De nombreuses initiatives voient le jour, au Japon et en Asie, aux Etats-Unis, mais également en Europe, en particulier au Royaume-Uni ou en Suède (**focus 2, p.7**). En France, cette expertise est également présente au sein de l'association Construire au Futur, Habiter le Futur (CFHF). Des solutions bois ou mixtes, bois/acier pour du petit habitat sont en développement (**Wall'up Préfa, Ecotive ou Avelis - focus 3, p.9**).

Que ce soit pour des solutions 1D (élément de structure) 2D (panneaux) ou 3D (modules), l'objectif est de gagner en temps, qualité et confort de construction en intégrant le second œuvre en usine, pour ne garder que des opérations d'assemblage sur le chantier.

Il faut également garder à l'esprit qu'en 2050, le béton sera toujours utilisé dans 80 % du bâti¹¹, or l'augmentation de la productivité ne sera possible que via une forte automatisation et digitalisation¹².

Pour ce matériau, si une industrialisation est déjà bien engagée (poutres précontraintes, pré-dalles ou pré-murs par exemple), l'apport du numérique est plus récent, mais nombre d'initiatives sont déjà lancées, notamment à l'étranger. En France, des préfabriquants béton sont précurseurs tel que **GA Smart Building (focus 4, p.10)**.

Des initiatives de co-innovation, comme **Scale One** (Bouygues, **focus 5, p.11**) et des partenariats entre laboratoires de recherche et industriels apparaissent également, car de nouveaux outils de calculs et de fabrication avancés se développent dans les laboratoires.

La plateforme technologique régionale **Build'In**¹³ de l'École des Ponts (**focus 6, p.12**), explore en collaboration avec des industriels des concepts de préfabrication intégrant robotique, fabrication additive, jumeaux numériques, collecte et stockage de données. Ce type de plateforme est stratégique pour l'amélioration des procédés de préfabrication, pour la simple raison que ce qui n'est pas mesuré ne peut pas être évalué ni amélioré. La profession commence à s'organiser, comme en témoigne la création d'une nouvelle association, **Construction Hors-Site**. Regroupant des acteurs publics et parapublics, entrepreneurs et bureaux d'ingénierie, elle a pour objectif de développer des règles, des normes et une méthodologie commune pour améliorer le processus de préfabrication. La position des architectes vis-à-vis du hors-site sera également décisive.

Des agences telles que **A26**, forte d'une dizaine d'année d'expérience sur du modulaire à structure métal, sont convaincues de l'intérêt de cette nouvelle manière de construire. Le sujet est d'ailleurs encore vivace au sein de la profession et des écoles d'architecture, en témoigne le récent colloque et l'exposition « Hors site (mais pas hors sol) » qui s'est tenu à la maison de l'architecture en octobre 2023 (**focus 7, p.13**).

« La qualité architecturale des constructions préfabriquées qui fut leur point faible dans la seconde moitié du XXème siècle est une clé de la réussite du retour en grâce de ces modes constructifs »

souligne l'architecte Stéphane Berthier, organisateur du colloque.

Le chemin est encore long pour que la construction hors-site 4.0 atteigne la maturité.

L'environnement technologique est prêt, mais il inspire de la méfiance en France où les apports de la robotique et du generative design¹⁴ sont très peu explorés alors qu'ils soufflent un vent nouveau à l'étranger. Ainsi, la fabrication additive béton dont le marché était estimé entre 1,5 et 3,5 milliards de dollars en 2022 devrait exploser pour atteindre entre 523 et 748 milliards en 2030¹⁵!

En France, **XtreeE**, membre de CFHF, propose une technologie bi-composant mondialement reconnue qui s'intègre déjà dans des projets d'usine de construction hors-site.

Le faible nombre de connexions avec le monde de la recherche reste malheureusement à déplorer, alors que des initiatives de ce type existent partout dans le monde, permettant d'importants écarts technologiques portant sur les matériaux ou les process. Comme en Suède, État, collectivités, et industriels, entreprises, architectes, ingénieurs et chercheurs doivent bousculer leurs habitudes et leurs façons de faire.

« La façon dont le bâtiment sera produit n'est pas vraiment le sujet de préoccupation pendant les années du développement immobilier. Avec ce modèle, pas d'industrialisation possible, les usines ont besoin de visibilité et de volume pour progresser » souligne Pascal Chazal.

Migrer vers un système de production manufacturier qui adopterait les moyens, méthodes et technologies venues d'autres industries, pour aboutir à de meilleures conditions de travail, une meilleure mixité homme-femme (**focus 8, p.14**), ne se fera pas sans faire évoluer le modèle d'affaire du secteur, en s'inspirant de ceux qui ont rendu ces approches économiquement viables et prospères. L'implication des investisseurs en capital risque pour accompagner les profonds changements de la filière et des organismes de certification et d'assurances seront la clé pour que ces nouveaux modes constructifs soient largement adoptés.

¹¹Etude Ademe-CSTB (2019) Prospectives 2035 et 2050 de consommation de matériaux pour la construction neuve et la rénovation énergétique

¹²Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0 - Computers in industry, 83, 121-139

¹³<https://www.buildin-enpc.fr/>

¹⁴La conception générative permet de créer de façon totalement autonome (process itératif, IA...), des conceptions optimales à partir d'un ensemble de contraintes.

¹⁵3D Printing for Construction Market Size Report, Industry Share, Analysis, Growth, 2030

Rapport d'étonnement d'un transfuge de l'automobile



Pierre Colliou a fait l'essentiel de sa carrière dans l'industrie automobile où il a passé deux décennies (1990 – 2010) sur des fonctions liées à la ligne de valeur du produit aussi bien en Europe qu'à l'international. Venu tout récemment à la construction, il côtoie désormais des acteurs du BTP, entreprises, MOA et MOE. Ce profil atypique est idéal pour poser un regard original et critique sur le secteur.

Nombreux sont les points d'étonnement que suscite le BTP pour un industriel. J'en distinguerai trois en particulier : l'état d'esprit du prototype, la culture orale, et la valorisation de la résolution des problèmes.

« Ah, oui, mais nous, c'est un prototype ! » est invariablement ce que répond un acteur de la construction quand on l'interroge sur ce qui distingue la construction de l'industrie, automobile en particulier. Ce faisant, il commet une double erreur :

- Il oublie, d'une part, que l'industrie automobile conçoit et industrialise, à chaque nouveau projet, un ensemble et des sous-ensembles uniques, comportant, de surcroît, une part d'innovations techniques, ainsi que les moyens qui permettront de produire en maîtrisant les objectifs QCD (qualité, coûts, délais) de projet et de la production ;
- Il omet, d'autre part, que la construction a elle aussi dans ses processus de production, une quantité substantielle d'opérations répétitives de projet en projet, et de chantier en chantier.

La culture orale du BTP est une manifestation de l'importance des rapports humains sur les chantiers et les bases vie ; elle en fait sûrement l'un des attraits du métier. Elle aboutit néanmoins à très peu écrire et à éviter de formaliser - ce qui a ses conséquences en termes de management des hommes et des processus, et de performance. Ainsi, dans la plupart des chantiers et des bureaux, hormis l'information réglementaire en sécurité, on voit très peu d'informations opérationnelles permettant de piloter l'activité. Les méthodes de l'industrie automobile japonaise (*lean management*, excellence opérationnelle, qualité totale) ont depuis une trentaine d'années, permis de développer des pratiques simples et ritualisées de management collaboratif et visuel, qui ont montré leurs bénéfices et se sont très largement répandues dans l'industrie un peu partout dans le monde, et même dans les services.

Résoudre les problèmes au quotidien est sans doute en haut de la hiérarchie des qualités attendues d'un conducteur de travaux ; la journée de travail se charge ainsi d'actions à haute intensité. C'est valorisant,

grisant sans doute, mais c'est aussi usant et ce n'est sans doute pas étranger à la difficulté du secteur à retenir ses talents, et, par ricochet, à en attirer. Dans l'industrie, on met aussi beaucoup d'énergie à résoudre les problèmes, mais on le fait en phase de conception : on met l'effort à anticiper, de façon systématique et organisée avec une série de pratiques et d'outils, les problèmes de production très en amont. Cela n'empêche pas qu'on puisse avoir des aléas et urgences en production, problèmes qu'il faut alors traiter en mode de crise – car ils sont très coûteux. Mettre l'effort en amont en va de la capacité des industriels à maintenir leur performance opérationnelle.

Les évolutions des philosophies et des pratiques des industriels de l'automobile depuis une trentaine d'années, dans un contexte de très forte concurrence internationale, d'adaptation aux technologies de l'information, de normes environnementales toujours plus strictes, et de variations fortes à la hausse comme à la baisse des marchés, ont été concomitantes à la montée en puissance des outils de conception digitalisée. Les défis de la construction aujourd'hui ressemblent beaucoup à ceux d'hier pour l'automobile, et la digitalisation devrait donc aider à changer la donne. L'impulsion des grands donneurs d'ordres – constructeurs, équipementiers – a été déterminante pour l'ensemble de l'industrie automobile : ils ont fixé la direction et ont participé par leur implication active à faire grandir l'ensemble de la chaîne de valeur.

De la même façon, sans doute faut-il que les grands donneurs d'ordre de la construction endossent aussi un rôle moteur pour faire évoluer le secteur vers la construction industrialisée – le hors-site.

Le hors-site hors de nos frontières

« La France accuse un train de retard dans le domaine de la construction 4.0, le développement du digital, du BIM de la robotique par rapport à d'autres pays qui développent la construction hors-site depuis une vingtaine d'année. C'est le cas de l'Asie, de la Scandinavie, du Royaume-Uni, du Japon depuis les années 70 et de la Chine qui prépare une invasion massive des pays Européens avec des produits hors-site »

constate **Pascal Chazal** créateur en 1981 de la société Ossabois, construction bois, et maintenant CEO du groupe Hors-site, qui publie un magazine, développe une école de formation et propose un conseil spécialisé dans le domaine : Hors-site Conseil.

Il est vrai que si l'on regarde vers l'Orient, les avancées sont très impressionnantes aussi bien pour les maisons individuelles (**SCG Heim** ou **Toyota**) que le bâtiment (**Kajima**). Malgré le peu d'informations disponibles, exceptées certaines vidéos comme celle de *SCG Heim, Tomorrow's Home Construction Technology (Factory)*¹⁶ ou quelques éléments sur les *Toyota house*, construites, vendues, et maintenues pendant plusieurs années, allant parfois jusqu'à être démontées par l'opérateur ; on découvre un niveau de préfabrication très élevé et des usines très robotisées.

Dès les années 80, la productivité du travail dans ces entreprises a cru de 10% par an et très vite 80% de la valeur d'une maison était produite hors-site en trois jours. Les salaires des employés comparables à ceux de l'automobile sont bien supérieurs à ceux pratiqués dans le BTP. L'entreprise **Sekisui House** a produit jusqu'à 78 275 maisons en 1994, à titre de comparaison, le plus gros constructeur français construit 6 000 maisons par an¹⁷.

Loin de se cantonner aux maisons individuelles, l'entreprise construit aujourd'hui des villas haut de gamme en bois (**Shawood**), y compris aux Etats-Unis.

SCG Heim, une filiale de **The Siam Cement Public Company** (Thaïlande) et **Sekisui Chemical Group** (Japon) montre dans ses vidéos, un niveau de robotique (**Kawasaki**) digne du secteur automobile. Ils assemblent et soudent de l'acier léger et intègrent panneaux, huisseries et réseaux en modules d'environ 2,5x5m qui seront assemblés en architectures très variées. Une usine aurait la capacité de produire 1 000 maisons par an¹⁸.

Concernant le collectif et tertiaire, **Kajima**, entreprise japonaise du secteur du bâtiment, basée à Tokyo, et spécialiste des gratte-ciel, investit beaucoup dans la construction 4.0. Le centre de recherche **KaTRI's** pour

Kajima Technical Research Institute et le nouveau bâtiment en construction **The GEAR**, qui regroupe des espaces d'innovation et des laboratoires de recherche et de développement dédiés à la construction de demain, illustrent parfaitement cette stratégie.

Aux Etats-Unis, plusieurs initiatives de construction hors site hautement robotisée ont été lancées. Si la licorne **Katerra**, qui a levé 2 milliards d'euros en proposant, dès 2015, des solutions de constructions modulaires en intégrant et standardisant l'ensemble des phases clé de la construction a déposé le bilan en 2021, c'est, d'après les analystes, en voulant sans doute aller trop vite, et peut-être d'avoir eu raison trop tôt.

Il faut cependant saluer l'ambition et l'éveil des consciences qui a permis à d'autres, comme **Autovol** en Idaho, de reprendre le flambeau en proposant du petit résidentiel abordable grâce, là aussi, à une industrialisation et robotisation intensive (65 robots 6 axes ABB dans son usine). Il est vrai que tout comme pour le marché asiatique, le marché américain est familier d'un bâti plus léger, moins pérenne, ayant moins de valeur que le foncier qui le porte. Le contexte est plus difficile en Europe où la culture du patrimoine est très forte.



Assemblage robotisé de cadre bois - Courtesy from Autovol Idaho

¹⁶<https://www.youtube.com/watch?v=NdqN4FYBez8>

¹⁷Bock, T., & Linner, T. (2015). *Robotic industrialization*. Cambridge University Press.

¹⁸Kanana Katharangsiporn, 15 MARS 2013, <https://www.bangkokpost.com/business/general/340569>

Il existe cependant des initiatives au Luxembourg (**Startup LEKA**) ou en Allemagne par exemple. Dans ces pays de culture industrielle, on peut voir des usines très automatisées telles que **Gropypus**, qui propose un process digital intégré du design à la fabrication pour de petits collectifs ou **Ecoworks**, qui s'attaque à l'enjeu majeur de la réhabilitation.

Pascal Chazal, souligne les avancées remarquables de la Suède, « pays de bois, pays d'industrie et de nouvelles technologies, qui après avoir comme nous, adopté le béton après-guerre, qu'elle préfabrique d'ailleurs beaucoup plus que nous, a souhaité revenir à la construction bois pour utiliser la ressource nationale, mais également pour répondre à la nécessité de faire baisser les coûts de la construction, d'améliorer la qualité, et de réduire l'impact carbone. Il y a 20 ans, le gouvernement a investi dans la recherche, et soutenu des projets (**Kombohus**) de milliers de logements hors-site. Des entreprises se sont développées et ont créé des usines très impressionnantes, l'usine **Lindbäcks Bygg** de Pitea est un exemple très intéressant.

L'usine, de 500 m de long et 100 m de large, située au niveau du cercle polaire, utilise du bois local, de l'énergie solaire pour sa production électrique, des déchets de bois pour son chauffage. Lindbäcks, qui est également parvenu à atteindre la parité homme-femme sur ses chaînes de production, est un modèle de vertu. Elle produit un module toutes les 30 minutes, soit un logement toutes les 2 heures. Les avantages proposés par Lindbäcks sont tels, que dans un marché en pleine crise car très impacté par la guerre en Ukraine, l'entreprise développe fortement son chiffre d'affaires sur le marché sinistré du logement.

L'université de Lulea a engagé depuis 20 ans un programme de recherche visant à mesurer l'amélioration de productivité des usines hors-site, les résultats sont éclairants puisque certaines usines ont amélioré de 30% leur productivité ces dernières années. Signe que la bascule vers le modèle industriel de l'amélioration continue est possible dans la construction. »



Crédit Lindback's Bigg

Un projet à 80% hors-site, le bâtiment tertiaire bas carbone « Melun Infrapôle » par Avelis

Avelis est une entreprise spécialisée dans la construction modulaire et hors site depuis 2011, avec une usine de production en Bourgogne et une antenne en Île-de-France. En 2017, poussée par une forte croissance, Avelis implémente un pôle R&D chargé de développer un nouveau principe constructif bas carbone 3D bois/acier destiné au marché tertiaire et à l'habitat. À partir de 2020, Avelis commercialise ses bâtiments tertiaires RE2020, puis ses bâtiments dédiés au logement RE2025 à partir de 2023. Le principe constructif « Avelis Inspir » (certification qualité et fiabilité CSTB) intègre également les enjeux environnementaux grâce à une conception DfMAD qui autorise toutes les évolutions et réassemblage possibles, voire une mutabilité complète du bâtiment.



Débutée en 2021, la première phase consiste en la construction d'un bâtiment de 800 m² à vocation professionnelle (bureaux, salles de réunion). La surélévation est effectuée un an plus tard, ajoutant un étage et augmentant la surface au sol de 370 m². Cette opération « éclair » a été réalisée par Avelis en 3 nuits seulement, tout en maintenant l'exploitation du bâtiment existant la journée et sans interruption des services.

Pour se donner plus de chances, consciente du foisonnement existant hors de ses murs, Avelis crée **Nova** en 2021, un concours d'open innovation qui a pour but d'imaginer les bâtiments et les services de demain. Une Chaire d'enseignement et de recherche intitulée « **Construction hors-site et industrialisée pour l'humain et l'environnement** » voit également le jour en 2022 avec l'école d'ingénieurs CESI afin d'associer recherche, innovation et formation au service de la construction industrialisée. En 2022, Avelis agrège la RSE (Médailles d'or 2023/2024 par Ecovadis) à ses pratiques et sa stratégie.

« **Melun infrapôle** » est un bel exemple de ce qui devient possible de réaliser grâce aux technologies hors-site. Le principe **Avelis Inspir** intègre des modules fabriqués à 80% en atelier, privilégiant la mixité des matériaux avec une structure porteuse tridimensionnelle en acier et un complexe murs à ossature bois. Une ventilation double-flux et une isolation biosourcée perspirante optimisent quant à elles, la qualité des échanges. La conception DfMAD native permet d'envisager facilement l'évolution d'usage du bâtiment.



GA Smart Building pionnier de la construction lourde hors-site en France, a l'ambition de devenir champion français grâce à une approche durable et différenciante.



Créateur et droits d'auteur :
© L. Guichardon / Graphix-Images

“En 50 ans rien n’a vraiment changé, on construit plus lentement et avec plus de réserves. Comment respecter la RE2020 et ses différents seuils dans ces conditions ?! Contrairement aux autres secteurs, l’immobilier et la construction n’ont pas encore fait leur révolution. Nous sommes convaincus que l’industrialisation de la construction via le hors-site permettra de répondre aux nombreux défis, tels que décarbonation et crise du logement”

Sophie Meynet, Directrice générale Immobilier Résidentiel de GA Smart Building

GA Smart Building a 150 ans. Créée en 1875, l’entreprise participe activement à la reconstruction du territoire français en 1918, puis dans les années 60, elle mise sur la préfabrication en usine pour construire jusqu’à 640 logements en moins de 2 ans.

Précurseurs dans le déploiement de la démarche BIM (2000), du bâtiment à énergie positive (2015), ou de l’ossature bois (rachat de Ossabois en 2018), GA Smart Building créé le pôle GA Immobilier Résidentiel en 2022 et lance Rooj by GA, la 1ère marque de logements bas-carbone construits hors-site, avec le constructeur comme gestionnaire final.

Ce modèle intégré novateur favorise une industrialisation poussée, la modélisation des éléments de structure, de façades, de métallerie et des équipements en BIM.

C’est également grâce à la production hors-site dans une des 9 usines françaises et l’assemblage sur chantier que l’entreprise parvient à maîtriser délais de livraison et qualité.

Le constat est sans appel : réduction de près de 50 % des quantités de matière utilisées, des baisses des délais de réalisation de 20 à 30 % (jusqu’à 60 % pour les projets en modulaire bois), sans compter les bénéfices en termes de nuisances, de flux, de bruit et de pollutions. Ce mode d’organisation et de production offre également des conditions de travail et de sécurité optimum aux salariés.



Un panneau Atom Wood, un nouveau plancher mixte bois-béton, en cours d’assemblage en usine.
Photo : Laurent Barranco

Bouygues Construction s'empare de la construction hors-site 4.0



Romain Vondière



Damien Bahun

Chez **Bouygues Construction**, l'ambition est de bâtir des lieux de vie qui créent des liens et des opportunités pour tous. Chaque jour, Bouygues Construction innove pour concevoir, rénover et construire autrement. La construction hors-site illustre leur réponse à ces enjeux et aux trois grands défis actuels du secteur : la productivité et les coûts ; le manque de main-d'œuvre et l'attractivité ; et les contraintes environnementales. En privilégiant la fabrication en usine et l'assemblage sur site, Bouygues Construction agit sur ces enjeux de façon positive. Cette méthode permet de construire de manière plus efficace, plus durable et de répondre aux besoins croissants d'urbanisation « apaisée » et de rénovation énergétique, tout en optimisant les ressources disponibles.

« Notre objectif est de standardiser, dès la conception, les prestations et les modes constructifs en intégrant des systèmes énergétiques performants et des méthodes industrialisées en 2D et 3D. Nous visons à massifier les achats standards pour garantir une fabrication et un assemblage optimisés. Cette méthode permet de délivrer des ouvrages de qualité supérieure, mieux adaptés aux besoins spécifiques de chaque projet. » précise **Romain Vondière**, Directeur Projet BRYCK et Industrialisation chez Bouygues Construction.

La démarche **Bryck - New Way to Build** est une transformation majeure pour Bouygues Construction avec une approche novatrice : décomposer un bâtiment en briques élémentaires industrialisées en intégrant les savoir-faire du terrain, créer le jumeau numérique du projet et digitaliser les briques dans la plateforme digitale 3D Experience (Dassault Systèmes) pour la conception, le partage et la communication. Les briques sont préfabriquées en usine avec des industriels, ou à proximité des chantiers dans des micro-factory. Cette méthode améliore la personnalisation des projets pour les clients et permet de construire mieux et plus rapidement, avec le suivi des coûts et un pilotage fin de la trajectoire carbone.



Lancé en 2021, **le projet UNIK** pour la modernisation des hébergements militaires en France a permis à Bouygues Construction et au ministère des Armées de mettre en œuvre des solutions "hors-site" pour construire 65 bâtiments sur 42 sites, offrant ainsi 4 800 lits en 2025. Chaque bâtiment, conçu pour répondre aux spécificités locales, intègre des matériaux et des méthodes de construction durables, comme des panneaux de façade en ossature bois à faible impact carbone, des puits climatiques et des récupérateurs de chaleur sur les eaux grises. La préfabrication de l'ossature béton, des gaines techniques et des salles de bains a permis de réduire les déchets et les nuisances sur site. Ce projet pionnier, qui respecte les standards RE2020, démontre la capacité à allier rapidité d'exécution, efficacité énergétique et innovation.

Enfin, pour accélérer le déploiement des innovations de pointe, Bouygues Construction a lancé le **projet Scale One** avec le soutien financier de la Région Île-de-France et du gouvernement dans le cadre de France 2030.

« Scale One est un tiers-lieu d'innovation pour le BTP, ouvert à tous les innovateurs de la filière, qui ouvrira ses portes en 2025 et proposera plus de 3000 m² d'espaces innovants, dont près de 1000 m² d'espaces d'entraînements recréant des conditions de chantier. Cet espace hybride entre laboratoire et chantier, permettra à l'ensemble de la profession de tester et valider tout type d'innovation à l'échelle 1, dans un cadre sécurisé et facilement accessible », explique **Damien Bahun**, responsable du pôle Scale One chez Bouygues Construction.

Build'in, une plateforme régionale pour la construction hors-site et numérique



Gare Palaiseau - ligne 18
Grand Paris Express (Société du Grand Paris)
Poutres optimisées chantier (crédit : ISC)



La plateforme régionale Build'in de l'ENPC
Usinage collaboratif d'éléments de structure bois
(crédit : Stefano Borghi, Ecole des ponts)

L'École nationale des ponts et chaussées, membre de CFHF, a créé en 2017, **Build'in**¹⁹, une plateforme technologique de co-innovation dédiée à la robotique dans la construction.

Cette plateforme, soutenue par la Région Île-de-France, s'appuie sur l'expertise des laboratoires de recherche de l'École, et notamment le **laboratoire Navier, UMR CNRS/ENPC/UGE**, spécialisé dans la mécanique pour le génie civil.

La plateforme permet le test et l'expérimentation à grande échelle de ces technologies. Outre les dispositifs d'essais mécaniques classiques, Build'in dispose d'équipements de fabrication robotisée (3 robots de charge utile de 150kg dont un sur axe de 9 m, pont roulant, quai camion, usinage, pick-and-place, impression 3D béton avec technologie XtreeE et impression 3D thermoplastique grande échelle, tracker, scanner, makerspace...) et de l'expertise fournie par des chercheurs, ingénieurs et techniciens dédiés à son fonctionnement.

La mission de cet équipement est de faire le pont entre recherche et applications métiers à travers des collaborations industrielles protéiformes. Des formations dédiées, tels que le Mastère Spécialisé® Design Building Design, ou BIM, Conception intégrée et cycle de vie du bâtiment et des infrastructures, s'appuient également sur cette plateforme inédite.

Romain Mesnil, Dr.Ing.ENPC, en est le chef de projet et nous la décrit en quelques mots :

« A travers nos projets et recherches, nous avons vite identifié le fort potentiel de la construction hors-site pour faire face aux défis de la construction. C'est naturellement devenu l'un des axes de développement privilégié. Couplée aux nouveaux outils d'optimisation de forme et à des matériaux plus vertueux, la précision des robots industriels permet de matérialiser des systèmes constructifs et des formes inédites, plus économes en ressources. Dans cet esprit, nous travaillons sur la construction de structures en béton armé optimisées.

Un partenariat avec ISC, filiale de Vinci, a abouti à la conception de poutres armées ayant la même résistance que des poutres standard, mais avec une réduction de masse comprise entre 20 et 50%. La matérialisation de ces poutres nécessite la construction de coffrages très complexes, difficilement envisageable dans un contexte de fabrication traditionnelle. L'impression 3D, la flexibilité et la précision des robots industriels permet de les fabriquer à coût raisonnable. Plusieurs poutres ont été mises en œuvre, notamment dans une des gares du Grand Paris Express. Le concept a également été intégré dans le projet européen LIAISON qui propose des solutions d'infrastructure de transport bas carbone²⁰.

Dans le prolongement de ces concepts, nous menons également une action financée par le projet Construire au Futur Habiter le Futur qui vise à lever des verrous plus généraux propres à la construction hors-site robotisée en prenant la construction des poutres susmentionnées comme hypothèse de travail.

La complexité des composants constructifs nécessite l'intégration de plusieurs procédés au sein d'un appareil productif modulaire. Il s'agit désormais d'adapter l'usine à la spécificité du monde du bâtiment et non plus de réduire la construction à la répétition de modules identiques. Des développements techniques inédits sont en cours avec nos partenaires, comme l'impression de mortiers renforcés par fibres longues avec **XtreeE**, et d'autres seront bientôt mis en œuvre : calibration automatique, traitement de données issues de capteurs et création de jumeaux numériques de l'usine et de l'objet construit avec **Hal-Robotics**, fabrication de démonstrateurs plus proches de l'application. En collaboration avec le **CSTB**, nous adressons également les aspects de contrôle qualité et de normalisation. Ces outils génériques, qui permettent la fabrication industrielle sur mesure, ont également le potentiel d'accélérer la rénovation énergétique des bâtiments tout en donnant des garanties et des mesures de performances réelles. »

¹⁹<https://www.buildin-enpc.fr/>

²⁰<https://liaison-transport.eu/>

"Hors site - mais pas hors-sol, la construction hors site face à l'anthropocène" à la Maison de l'architecture Île-de-France

Le colloque "La construction hors-site face à l'anthropocène" a été organisé par le Laboratoire de École nationale supérieure d'architecture de Versailles (LéaV) et le bailleur social I3F. Les 19 et 20 octobre 2023, il a réuni une centaine d'architectes, ingénieurs, chercheurs, et constructeurs dans la chapelle du couvent des Récollet, Stéphane Berthier, président du comité scientifique, architecte et Maître de conférences à l'ENSAV nous en parle.

L'objectif était de dresser un panorama des enjeux de la construction préfabriquée comme élément de réponse aux défis que le dérèglement climatique pose au secteur du bâtiment. Cette manifestation a été précédée d'une très belle exposition « Hors-site (mais pas hors-sol)²¹ » et a réuni une vingtaine de contributions organisées en 4 sessions²²:

- histoire et problématiques environnementales ;
- concepts et méthodes ;
- outils numériques et robotiques ;
- retours d'expériences de praticiens réflexifs.

Les intervenants ont pu échanger leurs points de vue lors de tables rondes organisées en débats. Ils ont aussi, par leurs origines géographiques diverses, permis d'éclairer les questions depuis la France, la Suisse, l'Allemagne, l'Autriche et le Japon.

Deux axes principaux émergent de ces rencontres : l'intégration des matériaux bio et géosourcés à la construction hors site au service d'une architecture bioclimatique et bas carbone d'une part, et, d'autre part, les méthodes de conception et fabrication robotique susceptibles de réaliser des économies de matière significative, notamment dans le secteur du béton armé.

Le sujet de la rénovation et du réemploi des matériaux et produits de construction a fait l'objet de plusieurs contributions qui témoignait d'un déplacement des marchés de construction du neuf vers la réhabilitation.

Enfin, la qualité architecturale des constructions préfabriquées qui fut leur point faible dans la seconde moitié du XXe siècle, a été réaffirmée comme une clé de la réussite future du retour en grâce de ces modes constructifs. Une publication des actes de ce colloque est prévue pour la fin 2024. Les captations vidéos des interventions sont en ligne sur le site de la Maison de l'Architecture Île-de-France²³.



²¹https://www.maisonarchitecture-idf.org/wp-content/uploads/2023/09/Communiqu%C3%A9-de-presse-_Hors-site-mais-pas-Hors-sol-28-sept.pdf

²²<https://www.maisonarchitecture-idf.org/2023/10/18/la-construction-hors-site-face-a-lanthropocene/>

²³<https://www.versailles.archi.fr/fr/les-actualites/la-construction-hors-site-face-lanthropocene-1>

Le digital, opportunité de féminisation des métiers de la construction

Les femmes représentent 51,7% de la population française et 48,5% de la population active. Et pourtant, la part des femmes dans le BTP n'était que de 12,3% en 2021 selon l'Observatoire des métiers du BTP, en progression certes d'année en année mais manifestement insuffisante.

Dans une volonté de parité et de meilleure égalité des chances, de nombreuses actions se font jour pour une meilleure équité telles que :

- la mise en œuvre d'une charte sectorielle pour prévenir les violences sexistes et sexuelles au travail ;
- la publication, par l'Observatoire des métiers du BTP, d'une étude visant à un état des lieux et des recommandations pour parvenir à une plus grande mixité ;
- des groupements de dirigeantes du secteur du BTP ou le réseau BatiFemmes des artisanes du 2nd œuvre ;
- des campagnes de communication sur l'accès aux métiers de la construction organisées par la FIB (Fédération des industries du Béton) dans le cadre de la Journée des droits des femmes.

En 2022, la FFB soulignait qu'une parfaite mixité était en passe d'être atteinte chez les employés et techniciens (46,3%), mais demeurait un objectif de plus long terme chez les cadres du secteur (21 %) et surtout les ouvriers (1,8%).

Certains facteurs influent sur la sous-représentation des femmes dans les métiers de la construction comme la pénibilité du travail de chantier, le risque de harcèlement plus élevé dans des milieux fortement masculins, etc.





La mutation des métiers de la construction vers la construction hors-site et l'automatisation des process constructifs vont transformer progressivement le marché de l'emploi du BTP avec une réduction de la pénibilité et des métiers plus qualifiés.

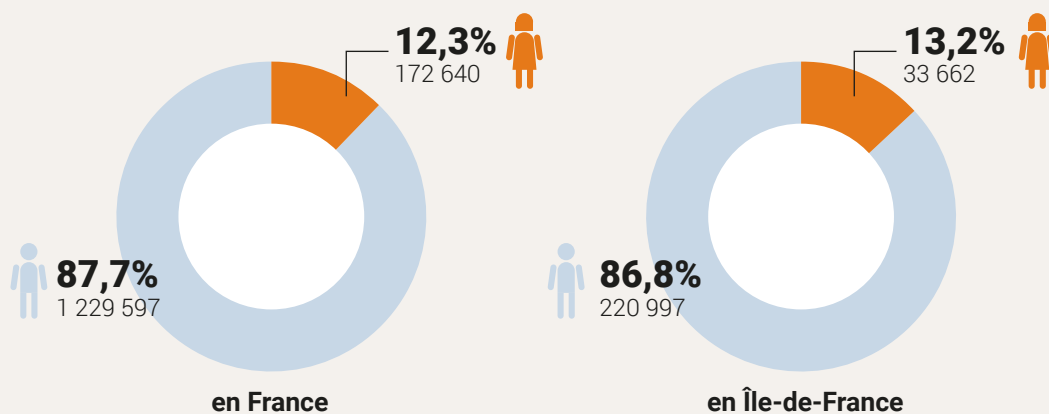
On constate à ce titre un renforcement de la présence des étudiantes dans les grandes écoles des métiers du bâtiment et des travaux publics comme nous le confirme Emmanuel Natschitz de l'ESITC.

Dès la candidature en 2019, Construire au Futur Habiter Futur - le programme de la Région Île-de-France lauréat du PIA3 Territoires d'innovation - portait de nombreuses ambitions sur le développement des

procédés constructifs et la construction hors-site, et de façon ainsi corrélée, l'objectif de doubler la part des femmes dans le secteur de la construction. L'accélération de la préfabrication 4.0 avec l'apport du numérique et du BIM contribuent à cet objectif.

Le programme a par ailleurs souhaité renforcer ce mouvement par une action pilotée par **Social Builder**, l'association pour la mixité dans les métiers du numérique, pour un renforcement de la place des femmes dans le numérique de la construction.

Répartition des salarié.es par sexe en 2021



Source : Observatoire des métiers du BTP
<https://dataviz.metiers-btp.fr/salaries/sexe?>

UN PROJET



SOUTENU PAR

