

LES EXPERTS SOCOTEC

# LE HORS-SITE : CONSTRUIRE AUTREMENT MAINTENANT

---

# 2  
JUN 2021



**SOCOTEC**



## Introduction

**TOUTE CRISE EST UNE OPPORTUNITÉ. COMME L'ENSEIGNENT LES GRANDS ÉCONOMISTES, ELLE SERAIT MÊME LE PASSAGE NÉCESSAIRE POUR SE TRANSFORMER. LA CRISE SANITAIRE, ÉCONOMIQUE ET SOCIALE QUE TRAVERSENT NOS SOCIÉTÉS CONTEMPORAINES N'Y ÉCHAPPE PAS. ELLE BOUSCULE LES CERTITUDES ET APPELLE CHACUN À SE RÉINVENTER.**

Le deuxième livret de la Collection des Experts SOCOTEC aborde la grande transformation de la filière sous l'angle de la construction hors-site.

« Une crise ne devient catastrophique que si nous y répondons par des idées toutes faites »<sup>1</sup>. C'est en ces termes que la philosophe Hannah Arendt envisage la crise, comme une chance qu'il faut saisir pour penser au-delà de soi. La filière du bâtiment se trouve précisément dans cette situation. Elle subit, comme d'autres, les effets de la crise actuelle tout en faisant face à des attentes sociétales et sociales plus prégnantes que jamais. Dans le même temps, le cadre se transforme, tant pour le neuf que pour le bâti ce qui ne lui laisse guère d'autres choix que de se renouveler, en engageant un face-à-face inédit avec elle-même ! Cette situation oblige la filière à revenir aux questions premières, avant d'être en mesure d'apporter des réponses : quel est notre rôle dans la société ? Comment bâtir pour répondre aux nouvelles attentes ?

Voilà le point de départ qui lui permettra de saisir l'étendue des transformations à entreprendre. Car ce qui lui est demandé peut paraître vertigineux. Il s'agit pour elle de repenser à la fois ses concepts, de revoir ses manières de faire, de réorganiser ses processus, d'ouvrir de nouveaux marchés, etc. Tous les professionnels de la filière sont concernés, acculés à revenir à leurs fondamentaux : le premier d'entre eux étant de faire parler leur créativité...

La filière du bâtiment se trouve pour ainsi dire au pied du mur. Car dans ce contexte si particulier, elle doit aussi tenir compte de la complexité accrue des bâtiments, devenus désormais intelligents, bas carbone, évolutifs, connectés, résilients, inclusifs. Elle est sommée de bâtir toujours plus rapidement et moins cher. « Le monde du bâtiment est à la veille d'une transformation structurelle : c'est le modèle qu'il faut changer ». Ni plus, ni moins !

Ce sont des moments rares à l'échelle d'une filière, encore plus à l'échelle d'une vie humaine. Ils ouvrent la voie à tous les possibles, tout en s'inscrivant néanmoins dans une histoire. Et les professionnels du bâtiment ont la leur. Il ne partent pas de nulle part, ils ont leurs traditions, leurs savoir-faire, leurs connaissances des matériaux, leurs expériences. C'est de ce terreau qu'émerge déjà le nouveau monde du bâtiment, ni tout-à-fait le même que l'ancien, ni tout-à-fait étranger à son histoire.

<sup>1</sup> Hannah Arendt (1961), *Between Past and Future. Six exercises in Political Thought*, The Viking Press Inc, p. 174.

Quelles pratiques constructives vont émerger ? Est-ce la fin des chantiers ? Quel rôle va jouer le numérique ? Comment répondre aux attentes de la société pour un chez soi confortable et adapté ? comment respecter l'environnement et réduire son empreinte carbone ? Parmi les solutions émergentes, **le groupe SOCOTEC a choisi de consacrer le deuxième cahier de sa collection dédié au bâtiment, à la construction hors-site.**

Ce nouveau mode constructif connaît déjà une belle progression dans le monde et entame son développement en France.

Le marché mondial du hors-site devrait atteindre 108,8 milliards de dollars en 2025 contre 80,3 milliards en 2020, soit une croissance annuelle moyenne anticipée de 5,75 % sur la période<sup>2</sup>.

D'aucuns y voit LA solution aux défis de la filière du bâtiment, vantant les mérites du hors-site : réduction de la phase chantier, efficacité énergétique, sobriété carbone, durabilité, évolutivité, réversibilité, ré-usage, etc. Mais surtout, le hors-site fait rentrer la filière dans une nouvelle ère, celle de l'« industrialisation » du bâtiment ! C'est là que se situe la véritable révolution. De nouveaux acteurs apparaissent dans la chaîne de valeur, rebattant les cartes et faisant évoluer les frontières traditionnelles entre les professionnels du bâtiment.

<sup>2</sup>Markets and Markets, Modular construction market by type (Permanent, Relocatable), Material (Steel, Concrete, Wood), Modules, End-Use (Residential, Retail & Commercial, Education, Healthcare, Office, Hospitality), and Region – Global Forecast to 2025, juillet 2020.



**EXPERT NATIONAL DE LA CONSTRUCTION HORS-SITE :**



**PASCAL CHAZAL**  
Expert National Hors-Site  
Directeur du magazine HORS SITE.  
Président du Campus Hors-Site.  
CEO du Patch Conseil

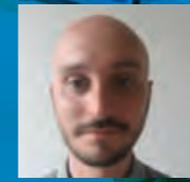
**LES EXPERTS SOCOTEC**



**PATRICK BOSSA**  
Expert SOCOTEC  
Directeur Technique  
SOCOTEC Construction et Immobilier



**LAURENT LE MAGOROU**  
Expert national Construction Bois  
Expert SOCOTEC Construction Bois  
Direction Technique  
SOCOTEC Construction et Immobilier



**VALENTIN CHADAILLAT**  
Expert SOCOTEC  
Chargé d'Affaires  
Agence de Nantes  
SOCOTEC Construction et Immobilier



**ALAIN REYNES**  
Expert SOCOTEC  
Directeur du Développement.  
SOCOTEC Construction et Immobilier.



**PIERRE COSTI**  
Expert SOCOTEC  
Directeur Commercial Grands Comptes  
SOCOTEC Construction et Immobilier



**AURELIEN SALM**  
Expert SOCOTEC  
Directeur d'Activités  
Assistance-Patrimoine-BIM  
Agence de Nantes  
SOCOTEC Construction et Immobilier

# Sommaire

## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>QU'EST-CE QUI ARRIVE ? UNE FILIÈRE PRISE EN ÉTAU.</b>	<b>7</b>
<b>LE « HORS-SITE » DE QUOI PARLE-T-ON ?</b>	<b>11</b>
UNE PRATIQUE DÉJÀ BIEN ANCRÉE DANS L'HISTOIRE	11
VERS UNE DÉFINITION CONTEMPORAINE DU HORS-SITE	12
<b>D'UNE LOGIQUE DE CHANTIER À UNE LOGIQUE INDUSTRIELLE</b>	<b>14</b>
CONCEVOIR DANS UNE CULTURE INDUSTRIELLE	14
COLLABORER D'AVANTAGE	14
STANDARDISER	15
<b>LES MATÉRIAUX DU HORS-SITE</b>	<b>16</b>
<b>LES FORCES DU HORS-SITE</b>	<b>18</b>
L'INDUSTRIALISATION DU PROCESSUS DE CONSTRUCTION	18
L'ACCÉLÉRATION DE LA PHASE CHANTIER	19
L'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ HORAIRE	19
LA RÉDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE	20
<b>LES DÉFIS DU HORS-SITE</b>	<b>22</b>
LA DURABILITÉ DES STRUCTURES HORS-SITE	22
LA CRÉATION D'UNE FILIÈRE BOIS	23
LE HORS-SITE, UNE MENACE POUR LES FORÊTS ?	24
LA RECHERCHE ARCHITECTURALE	25
<b>UNE NOUVELLE ORGANISATION DES ACTEURS</b>	<b>28</b>
DES MÉTIERS QUI ÉVOLUENT ?	28
DES PROFESSIONNELS QUI SUIVENT LE HORS-SITE DE TRÈS PRÈS	29
UN BESOIN PRÉGNANT DE FORMATION	29
<b>UN PRATIQUE TOURNÉE VERS L'INNOVATION</b>	<b>31</b>
UNE INNOVATION SCHUMPETERIENNE	31
ENERGY SPRONG	31
<b>CONCLUSION</b>	<b>33</b>
<b>L'AVIS DES EXPERTS</b>	<b>34</b>
GLOSSAIRE	59

## Qu'est-ce qui arrive ? Une filière prise en étau.

LA FILIÈRE EST PRISE EN ÉTAU ENTRE DES EXIGENCES MACROÉCONOMIQUES QUI S'INSCRIVENT DANS UN TEMPS LONG ET DES ENJEUX MICROÉCONOMIQUES QUI S'INSCRIVENT DANS UN TEMPS COURT. CETTE APPARENTE ANTIMONIE TROUVE SA **RÉSOLUTION NOTAMMENT DANS LA CONSTRUCTION HORS-SITE.**

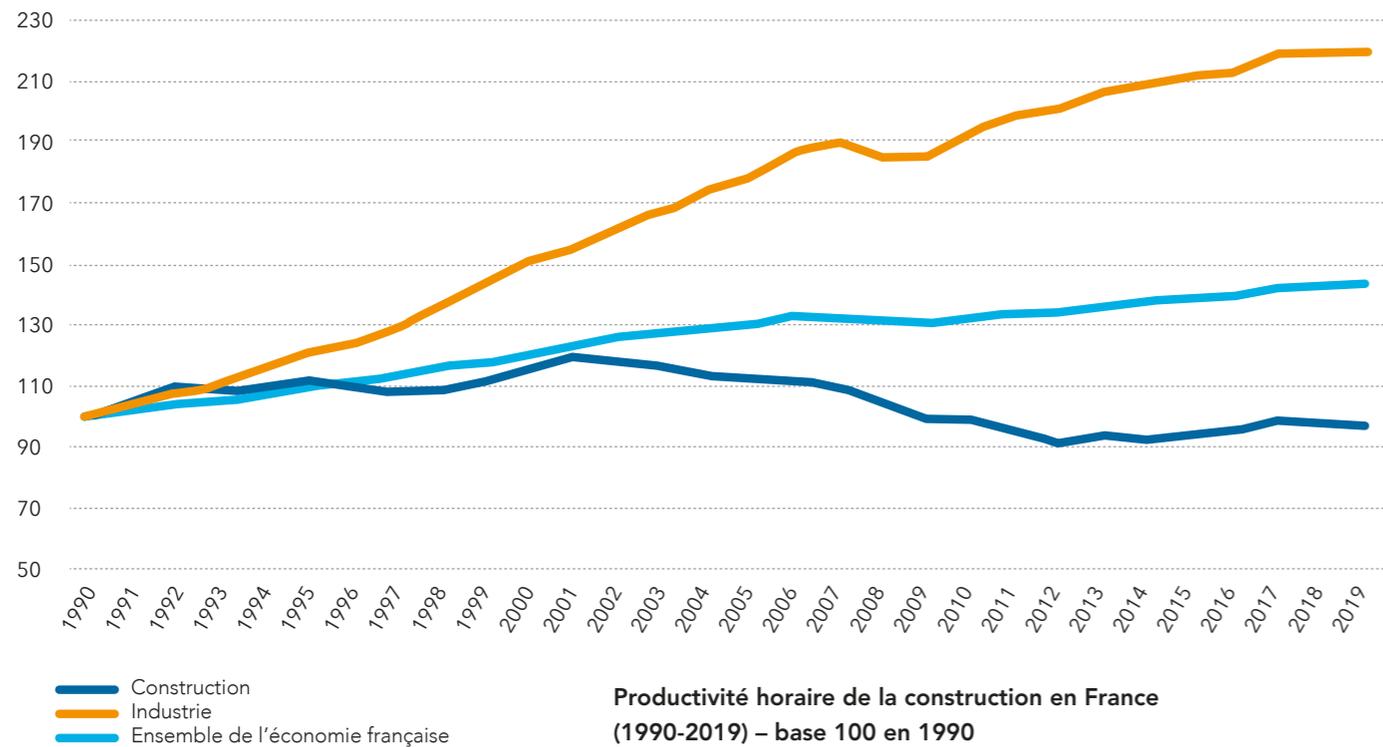
D'un côté, la filière du bâtiment est pressée par des attentes sociétales (économie d'énergie, décarbonation, nouveaux mode de vie<sup>3</sup>), sociales (prix bas, sécurité, confort, connectivité), digitales et environnementales (résilience, respect de la biodiversité, chantiers propres, etc.) de plus en plus fortes. Cette évolution est perceptible dans le monde entier, un peu comme si les sociétés humaines avaient pris conscience toutes en même temps de leurs limites et de la finitude terrestre. Ces dernières années, des stratégies nationales de lutte contre le réchauffement climatique ont fleuri un peu partout, fixant des objectifs toujours plus ambitieux et conduisant à la formulation de législations extrêmement contraignantes.

En France, c'est la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) adoptée en avril 2020 qui porte cette ambition. La feuille de route qu'elle définit pour la filière du bâtiment prévoit une réduction de 94,5 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) en 2050 par rapport à leur niveau de 1990<sup>4</sup>.

De l'autre, la construction connaît un ralentissement historique de son efficacité. Partout, les gains de productivité se réduisent. En France, le décrochage est particulièrement visible à partir du début des années 2000 après un demi-siècle d'amélioration continue des gains de productivité : entre 2001 et 2019, la baisse cumulée de la productivité de la construction y atteint -18,8 %. Il s'agit de l'une des plus fortes baisses des pays de l'OCDE. Par comparaison, l'industrie française n'a cessé de connaître une amélioration de sa productivité horaire depuis 1950 (hormis une baisse en 2008). L'écart de productivité entre l'industrie et la construction est désormais saisissant : il atteint un facteur 5 (base 100 en 1950) et un facteur 2,3 (base 100 en 1990), ce qui fait de la France un cas unique en Europe.

<sup>3</sup> Citons les tiny-houses ou bien encore les studios de jardin qui ont fleuris un peu partout pendant la pandémie de Covid-19.

<sup>4</sup> Ministère de la transition écologique et solidaire (2020), Stratégie nationale Bas-Carbone, la transition écologique et solidaire vers le bas carbone, mars, p. 9



**Productivité horaire de la construction en France (1990-2019) – base 100 en 1990**

Source : INSEE, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/series/110316986> (consultation du 08/06/2021)

La dépression provoquée par l'épidémie de Covid-19 ébranle donc une filière française déjà à la peine, subissant une érosion de ses marges depuis deux décennies. Pressée par des législations appelées à devenir de plus en plus contraignantes (RE2020, Décret tertiaire)<sup>5</sup>, à bout de souffle, la filière du bâtiment n'a d'autre choix que de se renouveler. Il lui faut trouver une voie vertueuse qui lui permettrait à la fois de gagner en efficacité pour reconstituer ses marges tout en restant économe en énergie et en diminuant son empreinte carbone ! En apparence contradictoire, ces impératifs ne sont pas irréconciliables. Dans sa troisième étude, l'Observatoire de la Construction Tech® s'est attaché à mettre en lumière les gisements de productivité dans la construction : « l'industrialisation du secteur », « le déploiement massif du digital » et « le développement de nouvelles compétences »<sup>6</sup>.

**C'est ici qu'intervient la construction hors-site, car elle porte en elle la promesse d'une revitalisation de la filière par la réconciliation de tous ces impératifs.**

<sup>5</sup> Voir SOCOTEC, Livret 1.

<sup>6</sup> Observatoire de la Construction Tech® (2019), Une étude exclusive sur la productivité et les principaux gisements actuels dans la construction, BATIMAT, GIMELEC, réalisé par Xerfi, p. 8.





## Le « hors-site » de quoi parle-t-on ?

CONSTRUCTION HORS-SITE, PRÉFABRICATION, PRÉ-ASSEMBLAGE, MODULARISATION...  
**L'ÉVENTAIL DES PRATIQUES EST LARGE ET PEUT PRÊTER À CONFUSION.**  
AVANT DE DÉFINIR CES TERMES ET CE QUI LES DISTINGUE, IL CONVIENT DE RAPPELER QUE LE HORS-SITE N'EST PAS UNE PRATIQUE RÉCENTE.

### UNE PRATIQUE DÉJÀ BIEN ANCRÉE DANS L'HISTOIRE

« Visez à construire la plus grande partie possible du bâtiment à couvert, protégé de la pluie<sup>7</sup> ». Même si elle peut paraître très simple, cette première définition donnée par Hugh Anthony en 1945 dit déjà l'essentiel : éloigner l'acte de construire du chantier ! Elle décrit ce qui a probablement existé sous des formes diverses à toutes les époques. Songeons aux cathédrales gothiques dont la construction est si bien décrite dans le carnet de Villard de Honnecourt, maître d'œuvre et dessinateur du XIII<sup>e</sup> siècle<sup>8</sup>. On y découvre avec stupéfaction que nombre d'éléments et de motifs décoratifs d'édifices tels que la Tour de Laon ou encore les chapelles absidales de la cathédrale de Reims ont été préfabriqués. Force est de constater, à l'instar d'Alain Reynes, qu'« il existe depuis toujours des éléments préfabriqués sur les chantiers ».

Plus près de nous, après la deuxième guerre mondiale, la construction hors-site connaissait un nouvel élan car elle répondait à la nécessité de construire rapidement des habitations fiables et confortables tout en maîtrisant les coûts. C. Bob Tatum considère alors que la fabrication hors-site « correctement utilisée, offre une opportunité substantielle d'améliorer la performance du projet »<sup>9</sup>. Cela amènent Richard Neale, William Sher et Andrew Price à s'interroger sur « les avantages d'une utilisation efficace des principes de la fabrication hors-site » : meilleur environnement de travail en usine, meilleures méthodes de travail, accès au travail facilité, travaux répétitifs planifiés avec plus de certitude, formation des agents peu qualifiés à un nombre limité de tâches qualifiées, réduction des mouvements opératoires entre les tâches et pendant les pauses, connaissance des matériaux et des composants, séquençage plus efficace du travail des opérateurs, analyse facilitée des méthodes de travail pour améliorer les techniques, diminution des erreurs et des malfaçons, utilisation plus efficace du grutage sur site, introduction facilitée d'outils et de techniques spécialisées<sup>10</sup>. Cette liste sera complétée et affinée grâce aux pratiques contemporaines du hors-site.

<sup>7</sup> Hugh Anthony (1945), *Houses : Permanence & Prefabrication*, Pleiades Books Ltd., p. 6. ("Aim to build as much of the building as possible under cover, out of the rain")

<sup>8</sup> Villard de Honnecourt, *Album de dessins et croquis*, BnF Gallica, Département des manuscrits, 31 janvier 1893, FR, 19093.

<sup>9</sup> C. Bob Tatum (1986), *Constructability improvement using prefabrication, pre-assembly and modularization*, Technical Report n° 297, Stanford University, California, USA, November.

<sup>10</sup> Richard Neal, William Sher, Andrew Price (1993), *Prefabricated modules in construction*, Chartered Institute

## VERS UNE DÉFINITION CONTEMPORAINE DU HORS-SITE

Issu d'une longue tradition, le hors-site tel qu'il se pratique aujourd'hui repose bel et bien sur le même principe que celui exprimé dès son origine, à savoir fabriquer hors du chantier. **C'est finalement de ce principe que découle la définition contemporaine du hors-site : fabriquer des éléments au sein d'une usine, puis les transporter sur le site de construction pour les assembler parfaitement entre eux.**

Cependant, comme l'indique Patrick Bossa, « le hors-site ne doit pas être confondu avec la notion de préfabrication ». On l'a vu, de tout temps de nombreux éléments du bâtiment étaient fabriqués à l'extérieur du chantier (menuiseries extérieures, tableaux électriques, pièces de béton comme les balcons, escaliers, prédalles, poutrelles, fenêtres). L'ambition du hors-site est désormais de produire la quasi-totalité de ces éléments hors du chantier. A côté des traditionnels éléments 2D (panneaux de mur ou de plancher, plaques, etc.), on trouve désormais des éléments 3D (modules nus). On parle alors de « construction modulaire » ou de « modularisation ». En cela, le hors-site contemporain se distingue de la notion de préfabrication qui s'arrête à la production et néglige la dimension industrialisée de l'installation<sup>11</sup> : « Avec la préfabrication, on industrialise la fabrication de certains éléments, tandis qu'avec le hors-site, c'est tout le chantier qu'on cherche à industrialiser. **L'acte de construire sur le chantier devient désormais l'acte d'assembler** » (Patrick Bossa).

Cela implique que les éléments préfabriqués sont plus complets qu'auparavant, plus autonomes : en plus de l'ossature porteuse, de l'isolant, du pare-pluie, il n'est pas rare d'y trouver la structure, l'isolation, le parement extérieur, les menuiseries et même le parement intérieur avec les réseaux... On parle alors de 4D (module tout équipé), voire de 6D (module prêt à vivre). Dès leur sortie d'usine, ces éléments sont donc dotés de tous les équipements indispensables à la construction. Comme l'indique Laurent Le Magorou, il s'agit d'un changement décisif puisque la phase chantier se réduit à son strict minimum : « la pose en une seule opération » ! Il y a donc une différence de nature entre le hors-site et le préfabriqué puisque sur le chantier on ne « construit » plus, mais on « assemble » (à l'exception des fondations qui ne peuvent être réalisées que sur le chantier).

<sup>11</sup> La loi ELAN (2018) pose que « la préfabrication consiste à concevoir et réaliser un ouvrage à partir d'éléments préfabriqués assemblés, installés et mis en œuvre sur le chantier », Loi n°2018-1021 du 23 novembre 2018.



# D'une logique de chantier à une logique industrielle

LE HORS-SITE IMPOSE DE GRANDS CHANGEMENTS DANS LA MANIÈRE DE PENSER LE BÂTIMENT. PASSER D'UNE LOGIQUE DE CHANTIER À UNE LOGIQUE INDUSTRIELLE NE S'ENVISAGE QUE DANS UNE TRIPLE TRANSFORMATION : **CONCEVOIR DIFFÉREMMENT, COLLABORER DAVANTAGE, STANDARDISER.**

## CONCEVOIR DANS UNE CULTURE INDUSTRIELLE

Il s'agit de substituer une culture industrielle qui optimise la préfabrication à la culture traditionnelle de chantier. En ce sens, les professionnels du bâtiment seront amenés à adopter les règles et les pratiques des industriels. Il en va ainsi du DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) qui regroupe une série de règles pour la fabrication et l'assemblage. Le DFMA permet notamment de faciliter ces étapes lors du travail de conception. Dès à présent, des logiciels spécifiques (de DFM et DFA) peuvent anticiper les difficultés d'assemblage, aider aux choix des concepts, estimer les coûts de production, proposer des processus de fabrication alternatifs, etc.<sup>12</sup>

## COLLABORER DAVANTAGE

Collaborer davantage. Il s'agit de substituer une organisation collaborative à l'organisation traditionnelle segmentée. Rappelons d'emblée que pour réaliser une opération, il faut en moyenne faire intervenir trente à quarante métiers différents sur le chantier. Aujourd'hui, quel que soit le mode de dévolution choisi par le maître d'ouvrage (allotissement<sup>13</sup>, entreprise générale<sup>14</sup>, regroupement d'entreprises<sup>15</sup>), on assiste à un fractionnement général de l'organisation de la construction sur le chantier. Ce serait même, d'après Pascal Chazal, « le premier drame de la construction aujourd'hui ». D'après lui, les organisations segmentées fonctionnaient bien lorsque les bâtiments étaient relativement simples et la main d'œuvre abondante. Mais ça ne marche plus avec des bâtiments plus complexes et une pénurie de main d'œuvre qualifiée. Au contraire du bâtiment, le monde industriel fonctionne déjà en organisation collaborative, avec des sous-traitants qui sont de véritables partenaires, consultés en amont pour définir les objectifs et négocier les modalités d'intervention. **Or l'organisation hors-site est très différente de l'organisation classique car elle est d'emblée collaborative.** Une fois que le maître d'ouvrage a opté pour le hors-site, une équipe est constituée intégrant la maîtrise d'œuvre et le fabricant. Ainsi, avec le hors-site, architectes, ingénieurs, chefs d'équipes seront amenés à se retrouver pour identifier et comprendre les contraintes réelles du projet et y apporter collectivement des solutions pragmatiques.

« L'organisation collaborative c'est du 'gagnant-gagnant' » ajoute Pascal Chazal. Pour encourager cette collaboration dans le bâtiment, il faudrait, d'une part, dépasser la loi MOP (maîtrise d'ouvrage public) car elle a tendance à fractionner le processus en petits lots et, d'autre part, raisonner en « marchés globaux de performance » afin de tenir compte du coût global du bâtiment (conception, construction, exploitation) et éviter de rogner ainsi sur les coûts de la phase construction.

## STANDARDISER

La standardisation évite de partir à chaque fois d'une copie blanche et permet ainsi de générer rapidement des économies d'échelle et un retour à des marges confortables. Cependant la standardisation a mauvaise presse car elle fait craindre une certaine uniformité des modules ainsi produits et une perte de la liberté de création architecturale. Valentin Chadaillat précise toutefois qu'« aujourd'hui, les modules ne sont pas encore standardisés à ce point ». Il faut ajouter que nombre d'acteurs du hors-site (comme Ossabois ou SBI Stock Bois par exemple) proposent des maisons-types à leurs clients avec possibilité de choisir des modules de personnalisation (eux-mêmes standardisés) sur catalogue. D'après Michel Veillon, Directeur général d'Ossabois, « la modularité, n'est pas contradictoire avec une notion de sur-mesure, de flexibilité »<sup>16</sup>. Enfin, comme l'indique Emmanuel Coste, Président de l'Agence Coste Architectures, la standardisation n'est pas l'ennemie de la création : « ce n'est pas parce qu'on fait du hors-site, qu'on fait une mauvaise architecture. En impression 3D, c'est à nous d'inventer. Il n'y a pas de limite architecturale, on a une certaine liberté de formes »<sup>17</sup>.

**Favoriser la standardisation consiste aussi à donner une visibilité de long terme aux industriels. De ce point de vue, le Royaume-Uni, la Suède, les Etats-Unis donnent l'exemple en établissant des accords-cadres dont la durée moyenne est de 10 ans.** De cette manière, les industriels ont une bonne visibilité sur les carnets de commandes ce qui leur permet d'envisager des investissements conséquents. Avec le développement de ce type d'accords-cadres, « on arrête de raisonner 'à l'affaire' pour entrer dans une démarche produit fini, véritable gage de réussite dans une démarche industrielle » et Pascal Chazal d'ajouter « avec un tel horizon, les fabricants sont en mesure de mettre en place des usines avec des investissements conséquents ».



<sup>16</sup> Rose Colombel (2020), « La construction modulaire hors-site pour gagner en productivité », BatiWeb, 21 octobre.  
<sup>17</sup> Ibid.

<sup>12</sup> UQAR (2021), Le DFMA, Guide des meilleures pratiques.

<sup>13</sup> L'allotissement consiste à répartir une opération en lots susceptibles de faire l'objet d'une attribution distincte (ex. lots de menuiserie, de peinture, de plomberie, de carrelage, etc. dans le cadre d'autant de marchés).

<sup>14</sup> L'entreprise générale est capable d'intervenir sur différents corps de métiers. Elle aura cependant la plupart du temps recours à une sous-traitance auprès de petites entreprises.

<sup>15</sup> Le groupement d'entreprises correspond à des entreprises qui se réunissent pour répondre ensemble à une offre de marché

# Les matériaux du hors-site

**« LE HORS-SITE EST FAIT POUR LE BOIS. LE BOIS EST FAIT POUR LE HORS-SITE ». CETTE FORMULE DE PATRICK BOSSA DIT TOUT DES LIENS ÉTROITS QUI EXISTENT ENTRE CETTE TECHNIQUE DE FABRICATION ET CE MATÉRIAU, DU MOINS EN FRANCE.**

Car si le bois prédomine en France, Alain Reynes rappelle toutefois « qu'au Royaume-Uni et aux Pays-Bas, c'est plutôt le métal ». Pour comprendre pourquoi le bois est si important pour le hors-site en France, il convient d'abord de partir de l'évolution réglementaire récente. La RE2020, par exemple, en ajoutant le volet analyse du cycle de vie de l'ouvrage à celui d'économie d'énergie, donne à voir « les grands avantages des matériaux naturels et en particulier du bois » comme le rappelle Laurent Le Magorou. **Matériau léger, polyvalent, bas carbone, le bois est facilement industrialisable et permet des assemblages précis. Le bois est parfaitement adapté pour être travaillé sur machine.** Comme on utilise toujours les mêmes dimensions, l'industrialisation conduit naturellement à des rendements d'échelle. Le hors-site utilise du bois massif ou du lamellé-collé (assemblage de bois entre-collés) qui a notamment l'avantage de ne pas se déformer pendant le levage des modules. Même si le bois ne représente qu'à peine 5 % du marché français de la construction, il est donc appelé à connaître une forte progression à mesure que le hors-site se développera.

L'une des craintes avec le bois, c'est sa supposée plus grande fragilité par rapport au béton. De fait, le béton est un matériau très solide qui lorsqu'il est bien construit « récupère quasiment l'éternité de la pierre » nous dit Patrick Bossa. Pour autant, le bois est aussi solide et aussi fiable que le béton. Une fois qu'il dispose de ses enveloppes internes et externes, un mur en bois est indestructible. Il existe des temples japonais en structure bois qui sont millénaires. Il n'y a donc pas de problème de durabilité du bois à condition de faire le choix « du bon matériau au bon endroit ». Si le bois a ses vulnérabilités (insectes lignivores, humidité), le béton a les siennes également (carbonation, réactions chimiques, fissuration) ! Il est certes possible de réaliser des modules en béton, même si c'est plus complexe et plus lourd. Mais, s'interroge Patrick Bossa, « pourquoi fabriquer des boîtes en béton dans l'usine alors qu'on peut aussi bien les monter directement sur le chantier ? ». De plus, le béton nécessite un temps de séchage qui est inexistant pour le bois...

Cependant, le bois ne remplacera pas le béton pour la simple raison qu'on ne pourra pas répondre aux besoins uniquement par du bois. Et les autres matériaux utilisés par le hors-site (métal, béton en chanvre, terre crue) ne sont pas plus des alternatives au béton que le bois. **La tendance qui se dessine pour le hors-site est celle de la mixité des**

**matériaux avec un mariage intime notamment entre le béton et le bois ou encore le bois et le métal.** D'ailleurs, mettre « le bon matériau au bon endroit » signifie aussi qu'il faut utiliser le béton là où on en a besoin : fondations, premiers niveaux, cages d'escalier et d'ascenseur... Le hors-site ne se résume donc pas au bois. C'est finalement l'architecte et urbaniste François Pèlerin qui donne la bonne formule : « la filière sèche c'est le bon matériau au bon endroit pour le bon usage, assortie d'une mixité des matériaux »<sup>18</sup>. Et Valentin Chadaillat d'ajouter que « dans l'avenir, on utilisera une multitude de matériaux différents ».

<sup>18</sup> François Pèlerin (2020), « Il y a des atavismes qui tuent l'innovation », Rencontres NOBATEK/INEF4, 25 septembre, Anglet ([https://blog.nobatek.inef4.com/francois-pelegrin-il-y-a-des-atavismes-qui-tuent-linnovation/?utm\\_source](https://blog.nobatek.inef4.com/francois-pelegrin-il-y-a-des-atavismes-qui-tuent-linnovation/?utm_source))

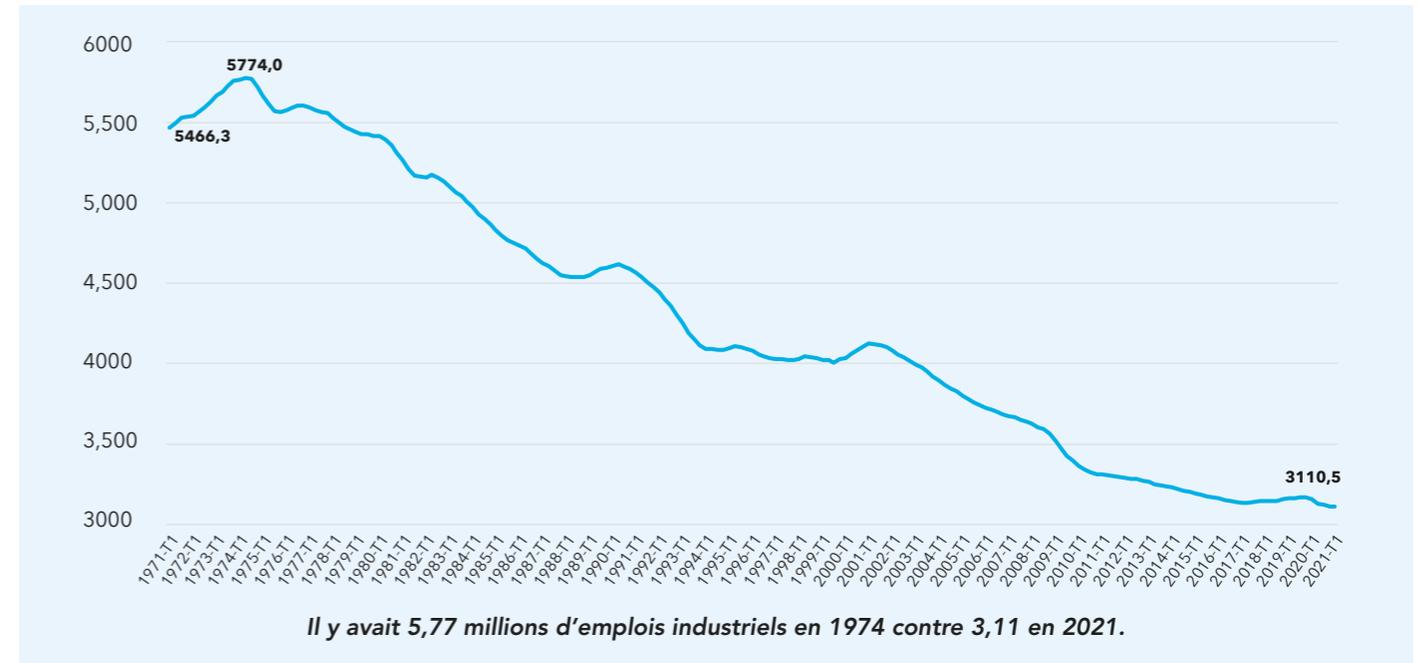


# Les forces du hors-site

**LE HORS-SITE A DES AVANTAGES INDÉNIABLES, DONT LES PRINCIPAUX SONT L'INDUSTRIALISATION DU PROCESSUS DE CONSTRUCTION, L'ACCÉLÉRATION DE LA PHASE CHANTIER, L'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ HORAIRE ET LA RÉDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE. ENFIN, SA MODULARITÉ ET SON ACCESSIBILITÉ LUI PERMETTENT DE RÉPONDRE PLEINEMENT À DES BESOINS CONTEMPORAINS.**

## L'INDUSTRIALISATION DU PROCESSUS DE CONSTRUCTION

Qui dit hors-site, dit production industrialisée. Comme on vient de le voir, ce passage de l'acte de construire vers l'usine implique un changement de culture et l'appropriation des codes industriels par le monde de la construction : Lean management, lutte contre les gaspillages et autres outils d'amélioration continue, mécanisation, automatisation, usage des standards, contrôle du temps et de la qualité... **Ce faisant, le hors-site est susceptible de générer des rendements d'échelle significatifs.** Comme indiqué précédemment, la standardisation n'est pas aboutie au point de permettre un véritable travail à la chaîne. Valentin Chadaillat rappelle qu'« on est encore loin des chaînes de montage de l'industrie automobile par exemple ». Il estime que si l'on y parvenait, en raccourcissant les chaînes de valeur, les coûts seraient considérablement réduits pour « atteindre des niveaux probablement plus faibles que ceux d'une construction classique ». Toutefois, en permettant déjà aux équipes de travailler en parallèle sur des modules distincts situés à des phases différentes de leur élaboration tout en gardant les matériaux à proximité, le hors-site rend possible **un gain de temps significatif**. Toutes les équipes travaillent en continu, sans délai d'attente entre les modules. **Des emplois industriels d'un nouveau type sont susceptibles d'être créés. Le hors-site se transforme ainsi en centre de formation qui ouvre des horizons à une main d'œuvre revalorisée et élargit progressivement le vivier de professionnels aux compétences nouvelles.** D'aucuns, à l'instar de Pascal Chazal, voient déjà dans le hors-site « une formidable occasion de réindustrialiser la France par le bâtiment » ! Rappelons que la France a perdu plus de 2,5 millions d'emplois industriels entre 1974 et 2021 (graphique), la crise sanitaire de la Covid-19 n'ayant qu'amplifié une tendance préexistante.



Il y avait 5,77 millions d'emplois industriels en 1974 contre 3,11 en 2021.

## Emplois industriels en France (1971-2021) – milliers

Source : INSEE, (<https://www.insee.fr/fr/statistiques/serie/001577235#Graphique>)

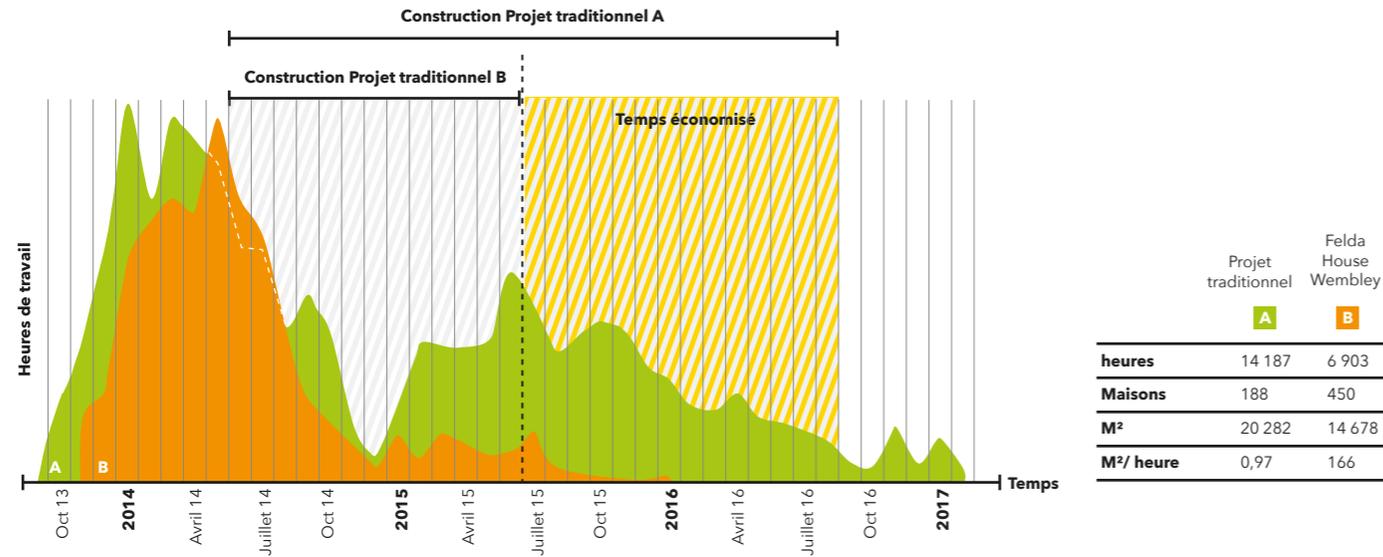
## L'ACCÉLÉRATION DE LA PHASE CHANTIER

Ce n'est pas tant que la phase chantier soit raccourcie qui constitue le véritable avantage du hors-site, mais plutôt le changement de la nature des tâches qui y sont exécutées. En effet, comme indiqué précédemment, le chantier ne sert plus à « construire » mais à « assembler ». Une fois que les fondations sont terminées et le béton sec, il ne reste plus qu'à assembler les modules et à réaliser les finitions. Les finitions elles-mêmes devraient se réduire à mesure que les modules 6D se généraliseront. Si l'objectif du hors-site n'avait été que la réduction de la phase chantier, alors il est largement atteint. Mais le changement de nature des activités sur le chantier (assemblage plutôt que construction) se traduit également par un plus grand respect des délais, une réduction considérable des nuisances habituelles des chantiers, un cadre de travail moins pénible et plus sûr pour les personnels, le zéro déchet, des coûts de BE maîtrise d'ouvrage beaucoup plus abordables, un prix de sortie maîtrisé quelle que soit la région, le respect des labels E+C-, BePos et matériaux biosourcés... De plus, l'accélération de la phase chantier évite d'exposer de manière prolongée les modules aux intempéries et éviter ainsi les déformations, craquements, fêlures. **Finalement, l'accélération de la phase chantier permet d'être gagnant tant sur les plans environnemental, qu'urbain et sociétal.**

## L'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ HORAIRE

L'industrialisation permet la production répétée, rapide et en série d'éléments de construction standardisés, démultipliant le potentiel du hors-site. Des coûts réduits en usine, une phase chantier mieux maîtrisée... Tout concourt avec le hors-site à une amélioration de l'efficacité. Le graphique page suivante de HTA Architectes donne un comparatif du temps de travail entre un projet hors-site et un projet traditionnel. Alors que ce temps est comparable pour les deux approches en phase conception, la différence devient visible en phase exécution avec un gain très net dans le cas du projet hors-site. Il en ressort une productivité horaire globale largement plus élevée pour le hors-site (+ 71 % par rapport à celle de la construction traditionnelle).

Pierre Costi ajoute qu'une réduction significative de la durée du chantier permet en retour « une économie importante en termes d'honoraires, de coûts engagés pour la gestion ». Et si l'on tient également compte des propriétés de « réversibilité / duplicabilité / adaptabilité » des structures ainsi obtenues, alors le « coût du ré-usage devient plus attractif que la construction neuve » (Pierre Costi).



### Différence de productivité horaire entre un projet traditionnel et un projet hors-site

Source : PATCH CONSEIL, Expert en construction hors-site <https://patchconseil.com/> (consultation du 06/06/2021)

### LA RÉDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE

Le bâtiment est l'un des plus grand producteur de CO<sub>2</sub> en France et, comme le souligne Patrick Bossa, « c'est celui qui a probablement le moins progressé sur cette question ». Il est sommé par les pouvoirs publics d'évoluer sur son impact carbone. Or, le hors-site répond naturellement à la problématique environnementale. En premier lieu parce qu'il réduit les déchets à leur strict minimum tant en phase chantier qu'en phase usine. Valentin Chadaillat rappelle d'ailleurs que lors de la fabrication en usine, « on a tendance à optimiser le moindre matériau, la moindre perte possible » ce qui favorise d'autant le « zéro déchet » (Laurent Le Magorou) y compris sur la phase chantier ! En second lieu parce qu'il réduit les déplacements par rapport à un chantier traditionnel et contribue à décongestionner les villes : moins de corps de métiers impliqués sur le chantier, proximité entre le lieu de fabrication et le lieu d'assemblage... En troisième lieu parce qu'il fait la part belle au bois et aux matériaux biosourcés (isolants) qui, comme le souligne Pierre Costi, répondent parfaitement aux « niveaux d'exigence E3C2 ou supérieurs ». Ces matériaux ont de bonnes performances énergétiques et isolantes, en plus de leurs performances bas carbone. Leur processus de transformation émet peu de dioxyde de carbone. Le bois n'a pas besoin d'être cuit, ni fondu pour être transformé. Il n'a nul besoin d'énergie thermique pour être transformé, mais uniquement de l'énergie électrique. Enfin l'usage de l'eau est quasi-inexistant (puisqu'il s'agit d'une filière « sèche »).



# Les défis du hors-site

**MALGRÉ SES INDÉNIABLES ATOUTS, LE HORS-SITE A ENCORE DES MARGES DE PROGRESSION. IL PEINE ENCORE À CONVAINCRE SUR PLUSIEURS POINTS : QUELLE EST LA DURABILITÉ DES STRUCTURES AINSI OBTENUES ? QUELLE EST LA CAPACITÉ DE LA FILIÈRE BOIS À SE DÉVELOPPER ? QUELLE LIBERTÉ POUR LA RECHERCHE ARCHITECTURALE ? QUELLES CONSÉQUENCES POUR LES FORÊTS ?**

## LA DURABILITÉ DES STRUCTURES HORS-SITE

« En France, la mémoire des systèmes de préfabrication de piètre qualité des années 1970-1980 reste tenace ». Cette phrase d'Alain Reynes résume parfaitement la raison pour laquelle le hors-site pâtit encore aujourd'hui d'une mauvaise image. Or nous l'avons vu, le hors-site contemporain se distingue radicalement du préfabriqué des années 1970-1980. Sa nature est différente puisqu'il ne s'agit plus d'industrialiser tel ou tel élément du chantier, mais bien le chantier dans son ensemble ! Les finitions des modules atteignent avec le hors-site un niveau inégalé. L'évolution est similaire à celle qu'a connue l'industrie navale. On y construit les cabines en atelier et on les assemble sur place pour un résultat époustoufflant : les cabines sont bien agencées, bien exécutées avec des finitions impeccables. Le hors-site procède ainsi, en faisant attention aux moindres détails : agencement, esthétique, acoustique, pérennité des matériaux, assemblage en usine, livraison, assemblage final sur le chantier, finitions, tests et marche à blanc ! Pour Pierre Costi, « **cet applicatif garantit qu'on livre un produit fini de qualité comparable, voire meilleure que ce qui se fait sur un chantier classique** ». En conséquence, le hors-site ne peut donc en aucun cas être assimilé à la notion négative de « préfabriqué ».

Toutefois, le hors-site peine à convaincre sur sa durabilité. Une construction hors-site en bois est-elle aussi durable qu'une construction en béton ? Les professionnels du hors-site, tous corps de métiers confondus, répondent d'une seule voix : « un bâtiment construit en hors-site l'est pour cinquante ans », comme l'affirme Patrick Bossa. Lorsque les bons matériaux sont utilisés correctement et aux bons endroits, les structures hors-site présentent une durabilité comparable à celle des constructions traditionnelles. **De plus, le hors-site dispose d'un autre avantage que n'ont pas les bâtiments traditionnels : celui de l'évolutivité/réversibilité.** François Pèlerin compare le bâtiment au corps humain pour expliquer que ses constituants ont des temporalités différentes : « le squelette (sa structure) est fait pour durer toute la vie, la peau (sa façade), les membranes (ses cloisons), les vaisseaux (ses réseaux) sont sur d'autres échelles de durée »<sup>19</sup>. On pourrait donc programmer le remplacement des constituants, voire de modules entiers dans le temps et « réfléchir à une conception qui permettrait à la fois l'industrialisation, la personnalisation et la diversité ». C'est le principe même de la

construction modulaire qui rend cette évolution possible. Toute chose égale par ailleurs, on pourrait comparer de ce point de vue le hors-site aux ordinateurs PC dont on peut faire évoluer les composants au fil du temps. **Cela relève d'un rapport plus responsable à la construction avec des modules qui peuvent être remplacés en fonction des nouveaux usages et des nouveaux besoins.**

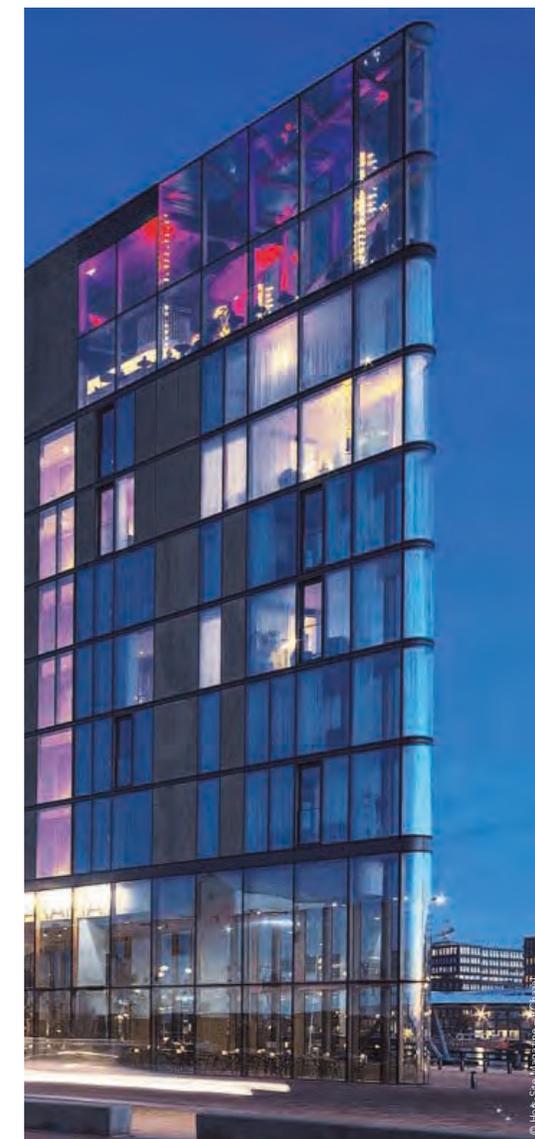
## LA CRÉATION D'UNE FILIÈRE BOIS

Beaucoup s'interrogent sur la capacité de la filière bois à suivre : quelle est sa capacité à se structurer et à répondre à une demande croissante ? Une exploitation trop intensive de la ressource forestière ne risque-t-elle pas d'être fatale à cette dernière en France ?

Aujourd'hui, il est tout à fait possible de s'approvisionner en bois produit en France. Toutefois, la filière du bois peine à répondre à une demande en forte augmentation. Pierre Costi rappelle à juste titre que le seul projet des JO de 2024, qui requiert 200 000 m<sup>2</sup> à lui tout seul, « sature déjà la filière sèche » et s'interroge : « comment s'y prend-on pour structurer la filière bois ? ». On manque en effet de tout, à commencer par les scieries, si bien que paradoxalement une part importante du bois utilisé en France est importée (de Slovénie, Autriche, Allemagne, Croatie, Europe du Nord et même de plus loin encore...). Cela pose question car l'empreinte carbone s'en trouve augmentée d'autant alors même que l'intérêt de l'utilisation du bois par le hors-site consiste précisément à la réduire ! **Pour que le hors-site puisse se développer, il faut que la filière bois se structure afin de rendre la fourniture de bois la plus locale possible.** Toutefois, « créer une filière demande du temps » comme le rappelle Patrick Bossa. Il faut en effet organiser l'exploitation et la gestion de la ressource, construire les scieries, assurer des débouchés pérennes, mettre en place les circuits d'approvisionnements, définir des certifications, etc.

<sup>19</sup> François Pèlerin (2020), op. cit.

<sup>20</sup> Ibid.

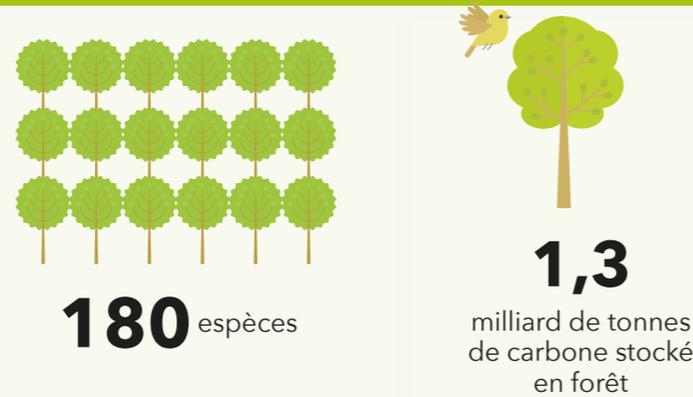
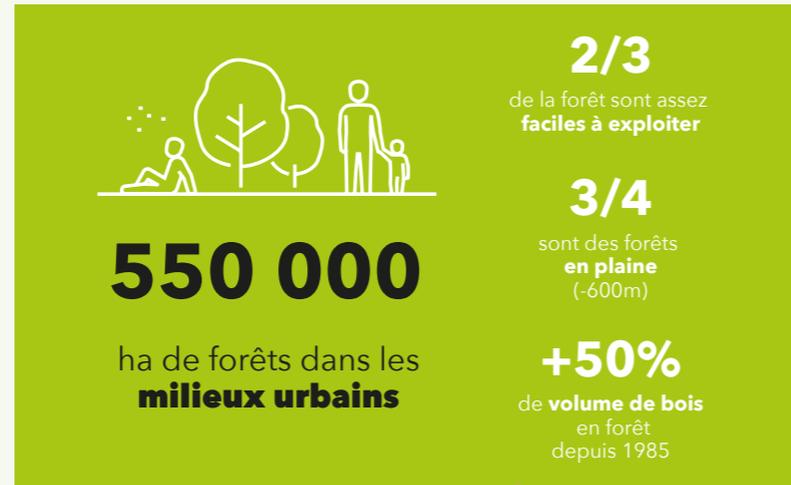


<sup>19</sup> François Pèlerin (2020), op. cit.

## LE HORS-SITE, UNE MENACE POUR LES FORÊTS ?

Reste la question de la durabilité de la ressource elle-même. Contrairement à une idée reçue<sup>21</sup>, la forêt française s'agrandit. D'après l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), elle aurait même doublé sa superficie depuis le début du XIX<sup>ème</sup> siècle. Représentant entre 8,9 et 9,5 millions d'hectares en 1830, la surface forestière française atteint 14,1 millions d'hectares en 1985 et 16,9 millions d'hectares en 2020 (31 % du territoire). Cela équivaut au niveau de la fin du Moyen Âge. Le rythme de progression annuel est de 0,7 % par an depuis 1980 (soit + 82 000 hectares par an). Les trois régions les plus boisées sont la Corse (taux de boisement de 63 %), la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (51 %) et la région Auvergne (Rhône-Alpes 37 %). Certains territoires spécifiques présentent même un taux de boisement supérieur à 70 % : les Landes de Gascogne, le Massif vosgien central, les Alpes externes du Sud, les Cévennes et l'Ardenne primaire... Le volume total de bois sur pied dans les forêts françaises est estimé à 2,8 milliards de m<sup>3</sup>, avec 180 essences différentes représentées. Cela fait de la France le 4<sup>ème</sup> pays européen pour sa surface forestière après la Suède, la Finlande et l'Espagne, la forêt française représentant 13 % de la surface boisée de l'Union européenne. Sur les 85 millions de m<sup>3</sup> d'accroissement annuel naturel de la forêt française, seuls 40 millions de m<sup>3</sup> sont valorisés, ce qui place la France au 11<sup>ème</sup> rang des producteurs mondiaux de bois. Au regard de cette évolution, « une utilisation massive du bois ne fait craindre aucune déforestation critique de la forêt française » comme le rappelle logiquement Patrick Bossa. Au contraire, l'émergence d'une industrie du bois pourrait même favoriser une gestion durable et raisonnée de la ressource forestière et contribuerait à réduire les bois d'importation. Rappelons d'ailleurs que le bois a besoin d'être coupé pour éviter de pourrir, voire de relâcher du méthane... Laurent Le Magorou rappelle qu'« un arbre adulte représente un bilan carbone quasi-nul » (équilibre entre le CO<sub>2</sub> capté et le CO<sub>2</sub> rejeté). Il faut donc savoir intervenir au bon moment, tout en veillant bien à ne pas rompre les équilibres forestiers en surexploitant certaines essences plus que d'autres. Une simple optimisation de l'exploitation des forêts françaises permettrait de doubler, voire de tripler la production de bois.

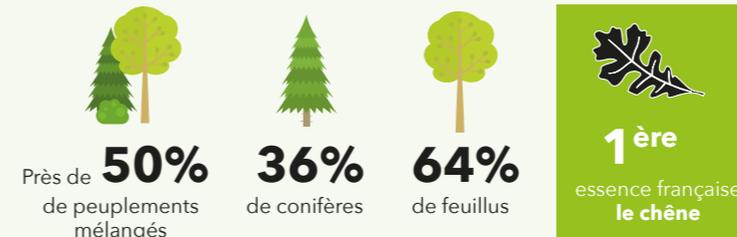
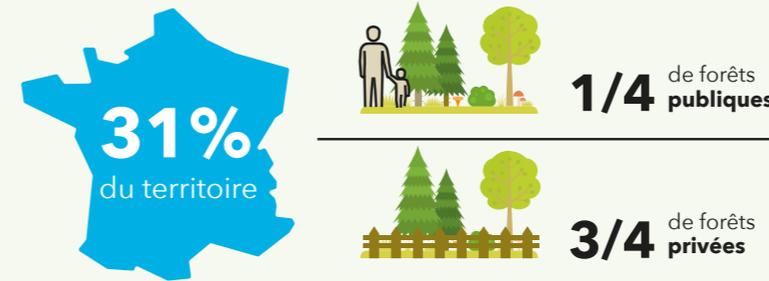
## La forêt métropolitaine



### La forêt métropolitaine, chiffres clés

Source : IGN, Infographie de la forêt française, mars 2021 (<https://www.ign.fr/reperes/la-foret-en-france-portrait-robot>).

<sup>21</sup> D'après un sondage Sofres de 2000, 71 % des Français se disent persuadés que l'Hexagone dispose de moins de forêt qu'en 1800 (Sondage Sofres/Collective du Bois et de la Forêt - 29/11/2000).



## La forêt de départements d'outre-mer



## LA RECHERCHE ARCHITECTURALE

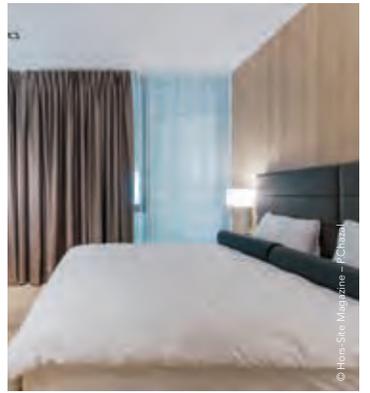
Comme nous l'avons mentionné précédemment, du fait de la standardisation inhérente à la démarche, le hors-site peine à convaincre sur sa capacité à donner toute les marges de liberté à la création architecturale. Patrick Bossa estime ainsi que « c'est probablement dans la recherche architecturale que le hors-site trouve ses limites ». La recherche architecturale y serait donc assez faible, se limitant à des effets de façade. Si l'on ajoute, à l'instar de Laurent Le Magorou, que le hors-site peine à s'imposer dans les systèmes à grand volumes sans parois (gymnase, bâtiments agricoles ou industriels) et que la logistique des modules impose un gabarit obligatoire, on comprend mieux les inquiétudes quant à la liberté de la création architecturale. Certaines contraintes (ex. contrainte incendie) limite également le développement en hauteur du hors-site, ce qui restreint davantage la création architecturale.

En réponse à ces inquiétudes, les architectes qui se sont lancés dans le hors-site expriment la pleine mesure de leur talent. Les choix esthétiques paraissent même sans limite. Le magazine « Hors Site » donne régulièrement à voir des merveilles de créativité : façades en ossature bois, charpentes bois à double ossature cintrée, poutres treuillis sous forme d'exosquelette, dalles et voiles en CLT, biomimétisme<sup>22</sup>, etc. Il ressort que les architectes ont la liberté d'imaginer des structures insolites où tout est permis. Ils jouent avec les formes et les styles architecturaux tout en répondant aux exigences d'acoustique, incendie et de résistance (vibration, radiations solaires, etc.). François Pèlerin estime qu'avec le hors-site « on peut concevoir du 'sur-mesure' au prix du 'prêt à porter' (...). L'industrialisation autorise des différences de formes, de matière, de couleur...<sup>23</sup> »

**En effet, en industrialisant l'acte de construire, le hors-site a un impact direct sur l'ensemble des métiers. Les professionnels du bâtiment en sont d'ailleurs conscients, suivent ces évolutions et expriment une demande croissante pour la formation dans ce domaine.**

<sup>22</sup> Steven Ware (2021), « La Nature connaît-elle la préfabrication ? », Hors Site, n°12, pp. 24-26.

<sup>23</sup> François Pèlerin, op. cit.



# Une nouvelle organisation des acteurs

PIERRE COSTI POSE AVEC PERTINENCE LES TERMES DU DÉBAT : « L'INNOVATION, ÇA SECOUE UN PEU TOUT LE MONDE, C'EST COMME ÇA. LES MÉTIERS DOIVENT S'ADAPTER. TOUT CE QUE VOUS FAISIEZ EN AVAL, SUR LE CHANTIER, VOUS DEVREZ LE FAIRE DÉSORMAIS EN AMONT, DANS L'ATELIER ».

## DES MÉTIERS QUI ÉVOLUENT ?

La véritable révolution du hors-site réside donc dans une nouvelle organisation des acteurs, résolument tournée vers la préfabrication. Tous les acteurs sont concernés, l'enjeu étant l'anticipation du chantier et des problèmes qui pourraient survenir. Le hors-site requiert ainsi une conception plus précise et la mise en place d'actions préventives.

En phase de préproduction, il faut concevoir, monter l'opération, réaliser l'étude de faisabilité et mettre en place le plan de fabrication. Les architectes et BE doivent penser préfabrication. Les impacts financiers d'une erreur de conception se traduirait in fine par la paralysie du chantier. En ce sens, Laurent Le Magorou rappelle qu'en matière de hors-site, « l'erreur n'est pas tolérée ». **Le BIM et la maquette numérique apparaissent d'ailleurs comme des alliés de poids du hors-site dans la mesure où, comme l'indique justement Pierre Costi, « le premier acte visuel de la préfabrication, c'est la maquette ! ».** Ces nouvelles technologies favorisent déjà le passage de modes de travail séquentiels à des modes plus collaboratifs, soutenus par une information centralisée, ce qui s'inscrit parfaitement dans la transformation impulsée par le hors-site.

En phase de production, il faut organiser de manière optimale la fabrication pour faire intervenir efficacement les corps de métiers impliqués, réinventer les contrôles et les réaliser à bon escient directement en usine. Les métiers du contrôle, par exemple, évolueront nécessairement pour s'adapter au travail particulier de la fabrication en usine. Pierre Costi anticipe que « les contrôleurs techniques et les CSPS seront sollicités davantage pour l'aide à la décision ». Le contrôle technique (systématique et aléatoire) sur les pièces critiques revêtira une fonction d'autant plus essentielle que le moindre élément défectueux sera susceptible de mettre en péril l'ensemble de l'ouvrage. **Alain Reynes estime d'ailleurs que le métier du contrôleur technique consistera à « prévenir et gérer au mieux les risques » le plus en amont possible. Les industriels eux-mêmes, devenant à leur tour partie prenante de l'acte de construire, devront prendre leur part de responsabilité pour assumer les risques** et endosser le statut de constructeur au titre de l'article 1792 du code civil. Les assureurs devront aussi adapter leur approche de la relation risque/assurabilité des ouvrages.

En phase chantier enfin, il faudra tenir compte du changement de nature de l'activité (« assembler » plutôt que « construire ») et traiter les nouvelles problématiques émergentes : transport, dépose des éléments, levage, exposition des modules aux intempéries, finitions. Les transporteurs devront optimiser l'acheminement des éléments préfabriqués pour préserver la rentabilité du chantier (taux de chargement, distance parcourue, volumes transportés). **D'une manière générale, les moyens de manutention et de levage devront être rigoureusement planifiés. La coordination des équipes sur le chantier devra être parfaitement organisée. Enfin, certaines activités devraient connaître un véritable essor. Ce sera très vraisemblablement le cas des ensembliers, par exemple, qui proposent des sous-ensembles techniques prêts-à-poser.** D'une manière générale, Pierre Costi considère que de nouveaux partenariats devraient rapidement émerger entre acteurs du hors-site et que « ceux qui sont là aujourd'hui ne sont pas forcément ceux qui seront là demain ».

## DES PROFESSIONNELS QUI SUIVENT LE HORS-SITE DE TRÈS PRÈS

Conscients de ces transformations à venir, les professionnels du bâtiment ne s'y trompent pas en s'intéressant de très près au hors-site. Dans le contexte actuel de difficultés de recrutement sur les fonctions d'exécution, les entreprises portent leur attention sur les métiers plus en adéquation avec le hors-site. L'Observatoire des métiers en a identifié cinq grandes catégories<sup>24</sup> : les métiers industriels (opérateurs, contrôleur qualité), les métiers de la conception (notamment en lien avec le BIM et la commande numérique), les métiers de l'installation, les métiers du coffrage en atelier (coffreur préfabricateur, concepteur de moule) et les métiers de la manutention lourde (grutier, levageur) appelés à devenir indispensables pour installer les éléments préfabriqués volumineux (grands ensembles) sur les chantiers.

## UN BESOIN PRÉGNANT DE FORMATION

En fonction de la taille des entreprises, les compétences sollicités pour le hors-site ne sont pas les mêmes. Tandis que les petites entreprises privilégient les rotations et la polyvalence, les plus grandes entreprises auront tendance à spécialiser leurs salariés<sup>25</sup>. Toutefois, 83 % des personnels qui travaillent à l'usine sont des généralistes.

Face à ces besoins, les offres de formations sont encore embryonnaires, mais commencent à se structurer. Elles portent pour le moment davantage sur la mise en œuvre (installation, pose) que sur l'atelier.

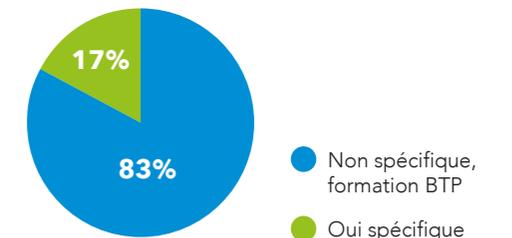
Une initiative telle que le Campus Hors Site, par exemple, sera amené à jouer d'après Alain Reynes « un rôle capital pour déployer de l'information sur les métiers du hors-site et d'offrir des formations adaptées ». La FFB et la Capeb s'y intéressent de plus en plus.

<sup>24</sup> Observatoire des métiers du BTP (2021), Préfabrication et industrialisation : usages, impacts et évolution des compétences dans le BTP, p. 37.

<sup>25</sup> Ibid., p. 40.



Les salariés qui travaillent à l'usine/atelier ont-ils une formation ou des compétences spécifiques ?



Polyvalence à l'usine

Source : Observatoire des métiers du BTP (2021), p. 41.



## Un pratique tournée vers l'innovation

### UNE INNOVATION SCHUMPETERIENNE

Comme l'indique Pierre Costi : « parce qu'il banalise l'acte de construire, le hors-site est une innovation majeure susceptible de transformer en profondeur la filière du bâtiment ». L'économiste Joseph Schumpeter (1883-1950) y aurait très certainement vu l'amorce d'une « grappe d'innovations » (un cluster) combinant innovations de produits, de procédés, de matériaux, d'ouverture de marchés et d'organisations<sup>26</sup>. Au démarrage de toute innovation, il y a des « résistances » que le hors-site est en passe de surmonter : résistance des promoteurs, des corps de métiers, des banquiers, des assureurs, nouveaux métiers et besoin de formation, etc.

Selon Pierre Costi, l'un des meilleurs arguments pour convaincre et permettre au hors-site de se déployer massivement est « **d'être capable de dire combien coûtera l'innovation, d'en évaluer ses retombées** ». **Le rôle du bureau de contrôle est probablement le plus décisif sur ce point. Un autre argument vient de l'évolutivité permise par le hors-site. En rendant possible le remplacement dans le temps de ses éléments, il permet d'accueillir les innovations à venir.** A cela, Alain Reynes ajoute que « le hors-site fait évoluer notre manière de construire tout en étant lui-même sujet à évolution ».

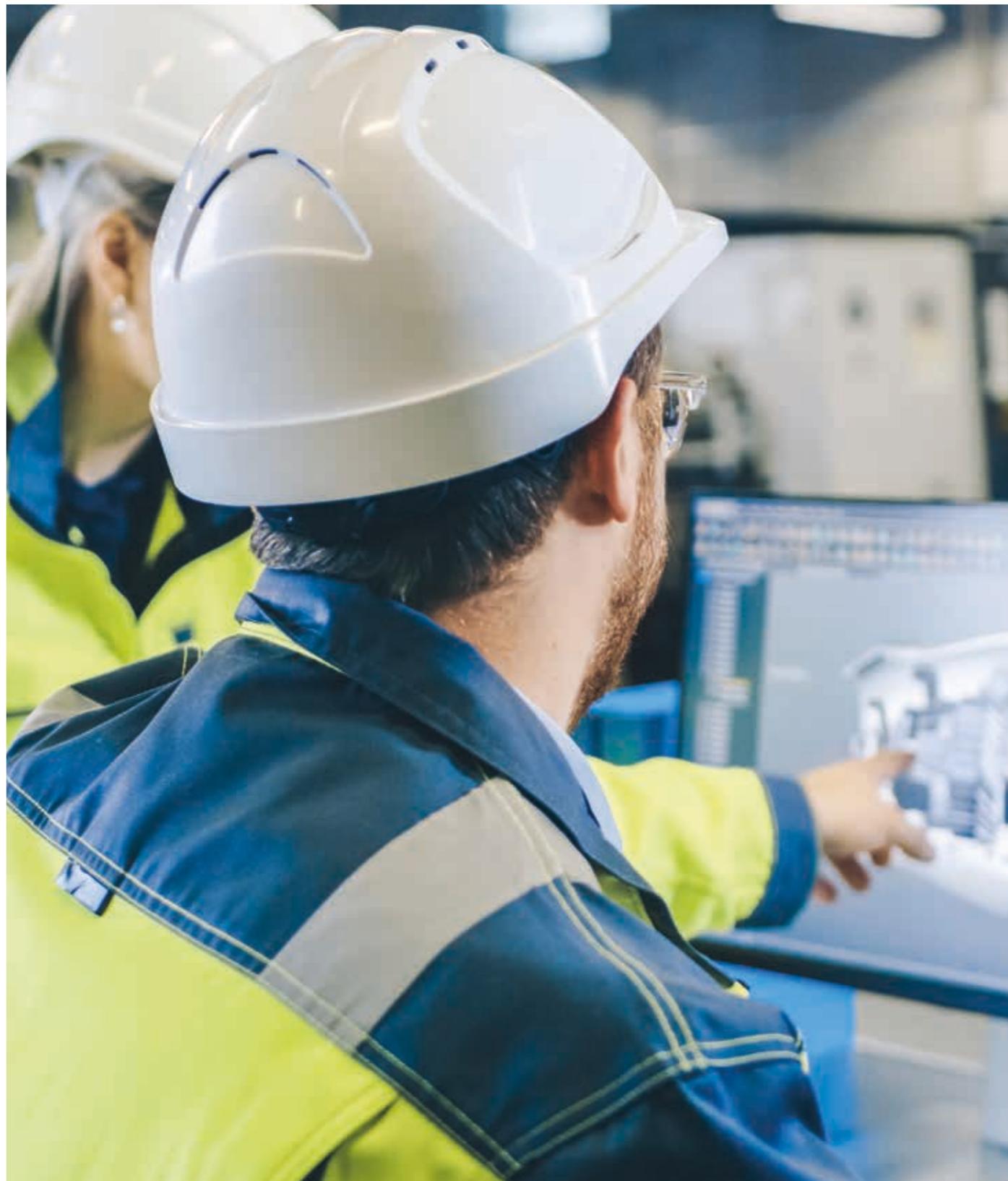
La démarche Energy Sprong s'inscrit parfaitement dans la grappe d'innovations permise par le hors-site.

### ENERGY SPRONG

**Energy Sprong porte sur la rénovation énergétique des bâtiments existants.**

Originnaire des Pays-Bas, se développant progressivement en Europe et dans le reste du monde, cette démarche vise à massifier la rénovation énergétique. Inspirée du hors-site, elle s'appuie sur une phase de préfabrication en usine qui précède une phase chantier extrêmement réduite. Les modules (principalement toiture, façade, CVC) sont réalisés et assemblés en usine pour venir ensuite être fixés sur les constructions existantes. L'originalité par rapport au hors-site « classique » consiste ici au maintien des locataires dans leur logement pendant les travaux. Comme le signale Aurélien Salm, « l'industrialisation du processus permet des gains techniques, économiques et organisationnels significatifs » et s'inscrit parfaitement dans l'ambition du décret tertiaire de neutralité carbone à l'horizon 2030.

<sup>26</sup> Joseph Aloïs Schumpeter, "The Analysis of Economic Change", RES, p. 138



## Conclusion

Joseph Schumpeter écrivait en 1912 : « Le profit est l'enfant et la victime de l'évolution »<sup>27</sup>. Par cette formule, il faisait référence à ce qu'il appelait la « destruction créatrice » qui est un phénomène inhérent à toute innovation d'après lequel de nouvelles sources de profit émergent tandis que d'autres se tarissent. Bien que l'histoire économique ne soit pas une science exacte et qu'il n'existe aucun déterminisme en matière d'innovation, force est de reconnaître que le hors-site ne laisse aucun professionnel du bâtiment indifférent. L'industrialisation fait peu à peu son chemin au sein de la filière, dans un contexte où la transition écologique prévaut. Il offre une opportunité de repenser la construction vers des bâtiments plus respectueux de l'environnement, plus en adéquation avec les attentes sociétales. « Il faut aller dans le sens de l'histoire » résume par une jolie formule Pierre Costi. « N'est-ce pas ce qu'un grand pays bâtisseur comme le nôtre doit espérer de son industrie immobilière : qu'à l'instar des autres branches de l'industrie, elle réalise sa mue qui la fera radicalement basculer dans le XXI<sup>e</sup> siècle ? » concluent Karim Beddar, Aurélie Cléaux et Pascal Chazal.

<sup>27</sup> Joseph Aloïs Schumpeter (1912), La théorie de l'évolution économique, Dalloz, p. 223.

# Quelles sont les forces et les faiblesses du hors-site ?

## Le point de vue de Valentin Chadailat

Expert SOCOTEC  
Chargé d'Affaires  
Agence de Nantes  
SOCOTEC Construction et Immobilier



La construction hors-site, c'est la construction de façon industrielle ou plutôt l'industrialisation de la construction en dehors du chantier. Le chantier sert à l'assemblage des modules ainsi fabriqués en usine pour être finalisés. Les fondations seront des travaux ne pouvant être réalisés que sur le chantier, c'est ce qui fait la liaison entre le terrain et les modules hors-site. Avec le hors-site, tout ce qui est structurel, le clos et le couvert ainsi qu'une partie du second œuvre est fait en dehors du chantier.

Actuellement, c'est le bois qui domine dans le hors-site de par son industrialisation en scierie permettant de faciliter son travail, de l'aspect écologique du matériau et de la tendance actuelle. Avec l'utilisation d'éléments bois industriel aux dimensions codifiées et de modules aux mêmes dimensions, l'industrialisation s'en trouve facilitée et les coûts réduits. On travaille avec du bois massif et du lamellé-collé (assemblage de bois entre-collés) pour les parties structurelles, du bois recomposé pour le reste (OSB par exemple). Le lamellé-collé est beaucoup utilisé, par exemple, pour les poutres principales qui permettent le levage des modules sans les déformer.

Le béton peut être également utilisé. On vient couler des modules en béton en 2D ou en 3D. Une fois sec, on les emporte sur le chantier. Cependant, les modules ainsi obtenus sont beaucoup plus lourds que leurs équivalents en bois. Cela donne un avantage indéniable au bois et même au métal car ce sont des matériaux légers qui facilitent le transport et la manutention.

La grande phrase de l'écoconstruction c'est « le bon matériau au bon endroit » ! Cela veut dire que le béton sera utilisé principalement là où on en a besoin pour ses caractéristiques mécaniques et de résistance à l'eau : pour les fondations, pour les cages d'escalier et d'ascenseur. Le reste sera de la structure secondaire en bois ou en métal. Citons également le chanvre, la terre, le béton bas carbone... d'autres matériaux pouvant être intégrés à ces modules. Dans l'avenir, on utilisera une multitude de matériaux différents. L'écoconstruction en général et le hors-site en particulier, bien que dominés par le bois, ne se résument pas à ce matériau.

Le hors-site impose des contraintes très fortes dès la conception. L'erreur n'est pas tolérée. Qui dit préfabrication, dit transport. Le gabarit est obligatoire pour le transport par camion, et permet, dans beaucoup de cas, d'éviter le passage en transport exceptionnel. Pour faciliter l'assemblage sur site et le transport, il est privilégié une conception des modules de forme et de taille identiques. Du fait de l'industrialisation, on va faire plus attention à la vérification des longueurs, au respect du plan, parce qu'il est beaucoup plus facile d'intervenir et de modifier en faisant le tour des modules, sans échafaudages. Si malgré tout, un problème devait persister (ex. un module faisant 10 cm de moins que prévu), alors il faudrait renvoyer le module directement à l'usine pour destruction ou modification si possible. Avec le hors-site, on n'a pas le droit à l'erreur.

Le hors-site n'est pas adapté aux gros volumes. La raison en est très simple : le gabarit des camions ne le permet pas ! Par contre en habitation, le hors-site garde toute son utilité car les volumes sont assez petits, fermés et nécessitent trois à quatre modules (pour une maison par exemple). Cet argument vaut aussi pour les appartements. Les modules pour l'utilisation en grand plateau de bureaux seraient plus compliqués par l'absence de contreventement de chaque module lors de son transport.

Les modules doivent être étudiés en capacité de transport et de levage. Exactement ce que nous n'aurions pas fait en structure classique. Sur les modules, il y a des grosses poutres en lamellé-collé qui doivent être forcément dimensionnées pour le camion et non pour l'usage définitif.

En soi, le transport par camion des modules fonctionne très bien. Ce qui pose problème en revanche, c'est le levage car à ce moment-là, le module tient sur quatre chaînes... Il faut que la structure résiste sans se déformer. Ce sont les contraintes du levage qui conditionne le bas des modules.

Si on veut que les modules soient rentables, il faudrait fabriquer toujours la même chose. La production du premier module sera un peu lente, le deuxième ira un peu plus vite et les suivants seront produits très rapidement.

Cependant, aujourd'hui les modules ne sont pas encore standardisés à ce point (chaque industriel conçoit des modules et des techniques d'assemblage différents).

Une autre faiblesse peut être liée au frais de transport dans le cas où l'usine de fabrication serait trop loin du chantier.

L'utilisation croissante du bois va forcément peser sur la ressource forestière disponible dans le pays. Est-on en capacité d'offrir l'ensemble des matériaux ? C'est une vraie question.

On constate aujourd'hui qu'une structure bois est toujours plus chère qu'une structure béton. Cet écart se réduira à mesure que nous serons capables de limiter les coûts et les pertes de matériaux pendant toute la création des modules, de réduire le nombre de personnes travaillant sur les modules et gagner en rapidité.

Le bois demande plus de travail, plus de réflexion en amont du projet qu'une construction en béton. L'avantage du béton, c'est sa « gentillesse » car en cas d'erreur, on peut le repercer comme on veut sans qu'il se comporte mal. Un plancher bois, en revanche, ne sera plus porteur là où il se fera repercer. Le bois c'est moins « gentil » que le béton. En construction bois, il faut bien identifier où passent les réseaux, comment on traite les venues d'eau, les douches, etc. Si une fuite se produit au niveau receveur de douche, comment peut-elle être décelée rapidement pour intervenir avant que le bois ne pourrisse ? Aujourd'hui, on arrive à répondre à ces problématiques.

L'une des faiblesses du hors-site, ce sont les contraintes incendie qui deviennent de plus en plus drastiques. Il va être de plus en plus difficile à avoir des boîtes coupe-feu complètes. C'est probablement cette contrainte qui va bloquer le développement en hauteur des ouvrages hors-site. On ne traite pas le bois lui-même contre le feu. Et puis ce serait une aberration de traiter chimiquement un matériau écoresponsable ! Pour respecter les contraintes incendie, on met généralement des cloisons coupe-feu en doublage qui viennent protéger la structure bois.

La contrainte acoustique se traite plus facilement. Il faut des planchers avec une hauteur plus importante qu'en béton : 45 cm environ de composés de plusieurs matériaux au lieu de 20 cm béton. Dans les cas des modules bois, il faut compter le plancher bas des modules dimensionné pour le levage et rajouter la hauteur du plafond, la hauteur des planchers peut être encore plus importante qu'une construction bois classique. Et même ainsi, il est difficile de traiter les basses fréquences (musique). Les basses peuvent entrer en vibration avec la vie de la structure et se faire entendre très loin. C'est un vrai problème parce qu'avec le bois on manque de masse. Or l'acoustique repose sur la notion de masse. Plus on a de volume en dur, moins les fréquences vont réussir à passer. Un matériau léger et qui vit, comme le bois, laissera plus facilement passer certaines fréquences.

L'enjeu du hors-site ce n'est pas uniquement son aptitude à réduire l'empreinte carbone du bâtiment, c'est avant tout et surtout l'industrialisation de la fabrication et la meilleure gestion des déchets que cela induit. Quand tout est fait en usine, on a tendance



à optimiser le moindre matériau, la moindre perte possible, si bien que le hors-site est synonyme de « chantiers propres ». Bien entendu, il y a aussi les enjeux écologiques et les gains de temps. On peut désormais créer une maison en 6 mois au lieu de 18 !

Parmi les principaux avantages du hors-site, il y a la rapidité d'exécution couplée à la facilité de construction car on reste à même le sol pour tous les ouvriers. La protection des ouvriers est mieux garantie. Rappelons que le hors-site se divise en deux grandes étapes : la partie création du module à même le sol en usine où la sécurité des ouvriers est mieux gérée avec l'absence de travail en hauteur ; la partie assemblage sur site qui constitue le seul moment où il existe un risque pour les ouvriers parce qu'ils doivent assembler les modules à une hauteur égale à celle d'un chantier traditionnel mais avec moins d'ouvriers.

Avec le hors-site, on peut potentiellement avoir de considérables baisses de coûts de fabrication du fait des économies d'échelle. Cependant, il reste une marge de progression sur ce point, quand nous pourrons réaliser des modules à la chaîne, comme dans le taylorisme, le coût sera considérablement réduit et atteindra des niveaux probablement plus faibles que ceux d'une construction classique. On est encore loin des chaînes de montage de l'industrie automobile par exemple ! Ma comparaison avec l'automobile n'est pas la plus appropriée du fait des tailles très différentes entre un module et une voiture. Il serait plus pertinent de comparer le hors-site à l'aéronautique, où les éléments des modules sont souvent construits à des endroits différents et assemblés ailleurs (matières premières comme les menuiseries extérieures, les éléments de structure, les équipements, ... pour transformation en module).

Le hors-site permet de gagner du temps parce qu'il permet de faire travailler tout le monde en même temps tout en gardant les matériaux à proximité. A titre d'exemple, on peut imaginer qu'une première équipe travaille sur un module presque en fin de finition tandis que simultanément une deuxième équipe travaille sur un module presque en début de fabrication et troisième équipe travail sur un troisième module en début de fabrication. Tout se passe au même endroit, avec un personnel occupé à 100 %.

Le hors-site permet d'éviter de passer un temps trop long sur le chantier et d'exposer de manière prolongée les modules aux intempéries. Quand il pleut sur une structure bois en phase chantier, elle va tout de suite absorber l'humidité. On risque alors des gonflements, des déformations, craquements et fêlures...

L'arrivée de la RE2020 va changer la donne, même si la nouvelle version de la RE est moins ambitieuse que le projet d'origine. La première version de la RE2020 prévoyait 40 % de matériaux biosourcés d'un coup. Cela rendait les maisons en maçonnerie quasiment impossibles. Même si la version finale de la RE2020 fixe un objectif intermédiaire à 20 %, on sait cependant vers où la réglementation va tendre. Les acteurs de la filière n'ont d'autres choix que de s'adapter rapidement, car tôt ou tard, l'objectif des 40 % va revenir. Le hors-site 2D et 3D constitue un tremplin dans cette direction.

Avec le hors-site, le métier du contrôleur technique va évoluer. Ce dernier va déporter son activité du chantier vers l'usine, pour vérifier les modules un par un, que les plans ont bien été respectés, etc. En soi, ce n'est pas vraiment gênant. C'est même plus agréable d'être en usine car on a la possibilité de faire le tour des modules et de tout regarder dans les moindres détails. Et puis, la partie chantier, même réduite, ne disparaîtra pas. Il y aura toujours l'intégration des modules sur le site. Il faudra donc s'y rendre pour vérifier que les fondations sont bien faites, que les supports pour recevoir les modules sont bien aux normes, que les reprises à l'intérieur de l'ouvrage sont correctement réalisées...

Le marché du hors-site est composé de beaucoup de petites entreprises. Le hors-site est progressivement passé du métal (installations temporaires, petits bungalows) au bois. Quant au béton, beaucoup plus lourd, il n'a pas vraiment percé dans le hors-site pour le moment. Le mixte acier/bois apparaît de plus en plus. Les deux matériaux ont des comportements mécaniques qui sont très proches mais complémentaires. Le hors-site peut permettre aussi la création de bâtiments collectifs ou maisons individuelles temporaires pour du logement d'urgence, où pour l'utilisation par d'autre type comme des bureaux ou des commerces...

Dans les années à venir, on peut s'attendre à une belle progression du hors-site, notamment dans les maisons individuelles et les petits collectifs. En revanche, pour les gros collectifs, ce sera plus compliqué car il faudra ajouter des structures complémentaires, les contraintes de sécurité incendie peuvent vite bloquer certains projets et qui dit modulaire dit souvent une architecture « carrée » donc moins intéressante. Finalement, le pendant du « bon matériau au bon endroit », c'est « la bonne construction au bon endroit ». Construire intelligemment, selon les besoins et les attentes finales.

# En quoi le hors-site est LA solution d'avenir pour le bâtiment ?

## Comment tisser des liens entre les parties prenantes du hors-site ?

### Le point de vue d'Alain Reynes

Expert SOCOTEC  
Directeur du Développement.  
SOCOTEC Construction et Immobilier.

Le bâtiment, à la différence de l'aéronautique ou de l'automobile, n'est pas passé dans l'industrialisation des processus de construction. Or, avec le hors-site, c'est de cela dont il s'agit. Le hors-site s'inscrit dans la continuité de la révolution BIM, à la différence que l'objet créé est cette fois bien réel. On peut réaliser du 2D (plancher, façade), 3D (boîte), 3D+2D (boîte prééquipée), 6D (tous les équipements intégrés). Certains pensent que le hors-site, c'est la préfabrication d'avant. Il faut dire qu'il existe depuis toujours des éléments préfabriqués sur les chantiers (les fenêtres par exemple). Cependant, le hors-site est bien différent. Il place le bâtiment de plain-pied dans le monde de l'industrie. C'est la solution pour dynamiser le secteur de la construction, lui rendre son attractivité et sa rentabilité.

Le hors-site, avec l'arrivée de nouveaux matériaux, va accompagner la mutation sociétale et environnementale de la filière construction. Je vais décliner cette perspective en trois axes.

**Axe 1 : expérimenter et capitaliser**

Les familles évoluent, s'agrandissent, expriment un besoin sociétal mouvant. Le hors-site permet de répondre à ce mouvement en faisant évoluer les modules, les surfaces. En autorisant le réemploi, il permet d'expérimenter de nouvelles manières de construire du logement.

**Axe 2 : permettre la montée en compétence des professionnels du bâtiment**

Avec le développement d'outils numériques (BIM) et en privilégiant les objectifs de massification pour le déploiement, le hors-site va permettre une montée en compétence des professionnels du bâtiment. On fait du hors-site lorsqu'il y a un projet bien tramé, répétitif, permettant de faire du volume.

**Axe 3 : développer un écosystème de confiance**

En encourageant les travaux de normalisation, on favorisera une finition de qualité (plus facile à obtenir en usine que sur le chantier), une réduction des coûts, des délais, des nuisances et in fine de l'empreinte carbone.



Au-delà de ces axes, on peut ajouter que le hors-site devrait contribuer à créer de nouveaux emplois. A cet égard, Campus hors-site aura un rôle capital pour déployer de l'information sur les métiers du hors-site et offrir des formations adaptées. Il faut garder à l'esprit qu'on part de zéro. Le hors-site est tout nouveau et les formations encore embryonnaires. Il va falloir former des consultants (techniques et en sciences sociales), des industriels, des fabricants, des maîtres d'ouvrage, etc.

Ce qu'il faut retenir avant tout et c'est un point fondamental pour la construction hors-site, c'est qu'il faut changer la manière de construire. Aujourd'hui, on construit un peu comme avec les poupées russes : un maître d'ouvrage définit un programme, un architecte et la maîtrise d'œuvre créent un projet, des entreprises réalisent le projet. Tout ça s'emboîte. Avec le hors-site, la manière de construire est très différente : on a toujours un maître d'ouvrage qui définit un besoin, puis tout change car l'architecte doit se « plier » aux contraintes du produit industriel. S'adapter au produit industriel pour créer son projet ! C'est bien là le changement culturel introduit par le hors-site. L'entreprise qui réalise doit elle aussi s'adapter. Evidemment, il y aura toujours les terrassements, les fondations. Pour le reste, l'entreprise doit acquérir des compétences en logistique, levage, assemblage, car sur le chantier c'est plutôt de la mécanique que de la construction. Les enjeux de logistique (transport), mais aussi de stockage sur site (intempéries, manipulations), de levage (efforts dynamiques), de bon assemblage, sont essentiels au succès du hors-site.

Les matériaux majoritairement utilisés par le hors-site sont le bois, le métal et le CLT (Cross Laminated Timber ou lamellé-collé). Toutefois, c'est le bois qui prédomine très largement en France, tandis qu'au Royaume-Uni et aux Pays-Bas il s'agit plutôt du métal. Tous les professionnels du hors-site pensent que c'est la mixité des matériaux qui amènera la performance la plus élevée : bois avec métal, bois avec béton, etc. La mixité des matériaux est l'avenir du hors-site !

Le hors-site fait évoluer notre manière de construire tout en étant lui-même sujet à évolution. La démarche Energie Sprong, par exemple, est l'application du hors-site à la réhabilitation de logements pour viser des économies d'énergie. Elle est par exemple utilisée par les bailleurs sociaux dans les pays de la Loire et en Rhône-Alpes. Elle consiste à appliquer en façade et en toiture des bâtiments des éléments 2D préfabriqués en usine (la plupart du temps avec les équipements du type chauffage, photovoltaïque, etc.) et à monter ces derniers rapidement sur le bâtiment (une semaine par étage) avec un minimum de désagrément pour les locataires.

Le champ d'application du hors-site est théoriquement illimité. On peut faire du logement neuf comme de la réhabilitation, des hôtels, des résidences pour étudiants/séniors comme de la maison individuelle. On peut faire des hôpitaux de campagne avec des modules tout équipés (la pandémie de COVID a été l'occasion de tester cela en grandeur nature) comme des tours. Il y a des conditions à respecter : il faut qu'il y ait de la massification et que ce soit tramé (aligné avec effets de façade ou non, porteurs les uns sur les autres) et

surtout un travail exhaustif en phase conception car le produit sortant d'usine ne pourra être modifié sur site.

En France, la mémoire des systèmes de préfabrication de piètre qualité des années 1970-1980 reste tenace. L'image du hors-site pâtit encore aujourd'hui de cette idée reçue. Les gens souhaitent que leur logement soit construit de manière traditionnelle car ils y portent une confiance plus grande. Lorsqu'on parle de construction en bois, cela inquiète certains investisseurs. C'est psychologique. C'est comme ça. Pourtant, le hors-site aujourd'hui est radicalement différent de celui du passé. Il est d'abord beaucoup mieux maîtrisé.

Avec le hors-site, on connecte enfin deux mondes très différents : celui de l'industrie et celui du bâtiment. Il va falloir du temps pour réussir cette connexion.

En France, nos normes et règlements sont plus importants que dans d'autres pays. En matière d'assurance, il y a la loi Spinetta qui régit la garantie décennale et la garantie dommage ouvrage. Cette loi impose à tout constructeur de contracter une garantie décennale : ça peut être une entreprise qui met en œuvre, un organisme tierce partie, etc. La question qui se pose avec le hors-site est de savoir si le fabricant/industriel des modules sera soumis à la garantie décennale. C'est un point crucial, qui permettra aux assureurs de savoir vers qui se tourner en cas de problème. L'autre inquiétude des assureurs porte sur le risque sériel : un problème qui se répercute sur une série de modules (massification). Ces interrogations renvoient à la manière de créer de la confiance entre l'industriel, l'assureur, le maître d'ouvrage, etc. De qui relève la responsabilité de l'usage du module ? de l'industriel ? des autres parties prenantes ? Quand on construit de manière traditionnelle, on a des normes DTU qui permettent de légiférer le mode de construction. Avec le hors-site, il n'y a pas de DTU ou de normes spécifiques. Le hors-site doit répondre aux mêmes contraintes thermiques, acoustiques, de solidité, de clos et de couvert, de sécurité incendie... que n'importe quel autre bâtiment traditionnel.



La recherche de confiance, entre l'industriel qui propose un produit et l'architecte qui en définit l'usage, est portée par un acteur clé : le bureau de contrôle. En tant qu'organisme Tiers de Confiance, notre utilité consiste précisément à faire le lien entre les parties prenantes du hors-site (industriel, architecte et bureaux d'études, etc.) afin de les accompagner sur les sujets thermiques, acoustiques, carbone, sécurité incendie, parasismique, etc. Le futur contrôleur technique devra se positionner comme un ingénieur – consultant – conseiller et le plus en amont possible, c'est-à-dire en phase conception pour prévenir et gérer au mieux les risques. Il contribuera à gérer les risques en 1/ attirant l'attention des parties prenantes sur les risques spécifiques du hors-site (solidité, sécurité, etc.) 2/ indiquant les normes les plus appropriées en fonction de l'usage de chaque projet et en accompagnant les acteurs pour trouver les bonnes solutions 3/ étant le garant qui amène la preuve du résultat. Tout ce travail va contribuer à créer de la confiance avec les assureurs, permettant à ces derniers d'envisager plus sereinement leurs solutions de réassurance. Pour SOCOTEC, le hors-site constitue une véritable opportunité. En définitive, ce sont les consommateurs (usagers finals) qui bénéficieront de toutes les garanties ainsi acquises. Très impliqué dans le hors-site, SOCOTEC se positionne en « Game Changer ». Par son éthique forte, ses compétences et sa longue expérience, SOCOTEC propose une méthode et une mission de contrôle technique hors-site qui répondent aux attentes de nos partenaires.

SOCOTEC se positionne comme le pivot des interactions entre les Maîtres d'ouvrage, Industriels et Assureurs.

Les acteurs du hors-site sont pluriels. On trouve sur le marché français des industriels français (St Gobain, Cougnaud, Ossabois,...) et étrangers (le polonais DMD), des majors et des promoteurs qui se structurent en filiales (VINCI, Eiffage, Nexity, Cogedim,...), des architectes et maîtres d'œuvres, des assureurs, des bailleurs sociaux, des organismes tierce partie, des AMO, etc... Le hors-site se caractérise aussi par une forte présence de PME qui bénéficient de la volonté de rapprocher les lieux de fabrications des sites de construction afin de limiter l'empreinte carbone des projets.

Le défi des constructeurs (au sens large du terme, incluant l'industriel) consiste à raisonner en coût global : construction, entretien, maintenance, déconstruction. De ce point de vue, le hors-site est extraordinaire car il permet une facilité de déconstruction du fait de la nature même des assemblages.

Quant à SOCOTEC et plus largement aux organismes Tiers de Confiance, ils doivent contribuer à changer les règles du jeu (« Game Changer »), à accompagner les maîtres d'ouvrage dans l'atteinte des objectifs de coût global, d'usage et de performances environnementales, à gérer et qualifier plus efficacement la data (via la blockchain notamment) et à amener la preuve du résultat pour générer de la confiance entre les partenaires.

## Quels sont les enjeux techniques du hors-site ?

### Le point de vue Patrick Bossa

Expert SOCOTEC  
Directeur Technique  
SOCOTEC Construction et Immobilier



La direction technique à SOCOTEC Construction, ce sont des experts qui gèrent des aspects du domaine de la construction relatifs à la solidité, à la sécurité, à l'énergie. Le hors-site apporte deux choses fondamentales : 1/ l'accélération des chantiers 2/ l'industrialisation du processus de construction. On dit souvent que le bâtiment est une industrie. Certes, c'est une industrie très puissante, très stable, qui ne connaît pas les problèmes de délocalisation. C'est une industrie foncièrement importante pour le pays, pour la population, qui est au cœur de l'activité quotidienne. Sauf que c'est une industrie qui par certains aspects n'utilise pas les codes industriels. La fabrication en usine, l'amélioration de la productivité, la pratique du Lean management, n'ont pas réussi à s'imposer dans le domaine de la construction. Le grand avantage du hors-site, c'est qu'il permet de faire rentrer ces techniques et méthodes de l'industrie dans le monde de la construction. Ce faisant, il accélère le chantier et permet d'être gagnant sur les plans environnemental, urbain et sociétal. En construisant plus vite, les biens sont mis à disposition plus rapidement, les nuisances sont réduites (pollution, bruit, vibration, circulation, entrave à la circulation). Il faut bien avoir à l'esprit que le recours au hors-site permet de diviser par 4 ou 5 la durée des chantiers et donc d'autant les nuisances. De plus, en adoptant les codes et méthodes de l'industrie, le hors-site ouvre la voie à la production en chaîne et aux rendements d'échelle.

Le hors-site ne doit pas être confondu avec la notion de préfabrication. Actuellement, dans le bâtiment, il existe déjà des techniques de préfabrication. Lorsque vous mettez en place des prédalles de béton armé, par exemple, ces dernières sont préfabriquées dans une usine. Idem avec les poutrelles et les hourdis, les agglos, les prémurs etc. Un chantier traditionnel se fait majoritairement avec des ouvrages préfabriqués car la plupart des parties d'ouvrage sont « fabricables ».

Le hors-site, ce n'est pas simplement construire à partir d'éléments préfabriqués (predalles qui serviront à faire des dalles), c'est pousser la préfabrication à un niveau tel qu'il ne reste plus qu'à assembler les éléments sur le chantier. Avec la préfabrication, on industrialise

la fabrication de certains éléments, tandis qu'avec le hors-site c'est tout le chantier qu'on cherche à industrialiser. L'acte de construire sur le chantier devient désormais l'acte d'assembler ! Cela transforme fondamentalement notre manière d'aborder le chantier. On assemble des éléments qui sont déjà autonomes. Le hors-site 2D fait référence à des panneaux de façade incluant les menuiseries. Le 3D consiste à faire des modules nus, un peu comme des boîtes que l'on vient assembler ensemble sur le chantier. On les monte les unes sur les autres pour obtenir un bâtiment. A partir du 4D, le module arrive tout équipé : finitions, cloisons, équipement électrique, équipement sanitaire. Le 6D est le summum du hors-site, avec des modules prêts à vivre. Encore peu développé, ce dernier niveau nécessite un degré d'usinage, de travail, de technicité et de conception en amont très élevé.

L'essentiel du hors-site aujourd'hui se résume au 2D et au 3D. Les modules arrivent nus ou parfois revêtus d'une plaque de plâtre, et c'est sur le chantier qu'on ajoute la finition, la peinture, le carrelage, le parquet, l'électricité, le chauffage, le sanitaire, etc. Même en 2D ou en 3D, on voit bien qu'avec le hors-site on change d'étape. Il y a une différence de nature entre le hors-site et le préfabriqué. Sur le chantier, on ne construit pas, on assemble ! Et l'ensemble du processus va très vite car pendant qu'on construit sur le chantier les fondations et le plancher bas, en usine on fabrique les modules 3D. Une fois que le plancher est terminé et que le béton est sec, on amène les modules qu'on superpose les uns sur les autres. On réalise la superstructure très rapidement. Il n'y a que pour les finitions que le chantier redevient un peu plus classique. Cette phase elle-même se réduira à mesure qu'on se rapprochera des modules 6D car il y aura très peu de finitions à faire avec ces derniers. On le voit, le hors-site ne doit absolument pas être assimilé à la notion un peu négative qu'a le terme « préfabriqué » dans l'esprit des gens. Le hors-site est très noble, absolument pas bâclé, pas provisoire. Un bâtiment construit en hors-site, l'est pour cinquante ans et pour que les gens qui y vivront soient heureux. On se situe là aux antipodes de la notion de « préfabriqué » des années 1960 ou 1970 !

Le hors-site permet de répondre également à la problématique environnementale. L'un des objectifs, c'est de faire en sorte que la production des modules soit la plus proche possible du chantier. Les professionnels du hors-site recherchent cette proximité, soit en ayant des usines proches de leurs principaux marchés, soit en équipant d'une ligne de production un bâtiment ou un atelier désaffecté. Cela permet de limiter les interactions et donc les atteintes à l'environnement.

A tous les avantages du hors-site qui ont déjà été mentionnés : avantages financiers, avantages sociétaux, avantages environnementaux, il convient d'en ajouter un de taille : l'amélioration significative du bilan carbone du bâtiment. Il faut rappeler que le bâtiment est l'un des plus grands producteurs de CO<sub>2</sub> en France. Et c'est celui dont on dit qu'il a le moins progressé sur cette question. L'industrie, en l'occurrence, est bien plus avancée sur ce point. Le bâtiment est poussé par les pouvoirs publics à faire sa révolution culturelle sur son impact carbone, et de manière accélérée. Le hors-site répond parfaitement à cette problématique, d'une part en réduisant les nuisances liées au chantier et d'autre part en privilégiant l'utilisation d'éléments en bois et en matériaux biosourcés.

Le hors-site est fait pour le bois. Le bois est fait pour le hors-site. A 90 %, le hors-site c'est de la préfabrication à base de bois. Même s'il est possible de faire des modules en béton, c'est quand même plus complexe, plus lourd. Et puis, pourquoi fabriquer des boîtes en béton dans l'usine alors qu'on peut aussi bien les monter directement sur le chantier ? Enfin, il ne faut pas oublier que le problème avec le béton, c'est qu'il faut qu'il sèche (10 jours environ). Croire qu'il y aurait une plus grande fragilité du bois par rapport au béton est complètement faux. Le bois n'est absolument pas un matériau fragile. Il n'existe pas de fragilité intrinsèque du bois. Le bois est aussi solide, aussi fiable, aussi simple à manipuler que le béton. Le béton a ses qualités claires et nettes, mais le bois aussi. Certes le bois a ses vulnérabilités, comme les insectes lignivores par exemple, ou l'humidité, mais on sait s'en protéger efficacement. La technologie est complètement mûre de ce côté-là. On sait construire en bois ! Rappelons que le béton a aussi ses « termites » (carbonatation, réactions chimiques, fissuration)

Cependant, le bois ne remplacera pas le béton. Le métal pas plus que le bois n'est une alternative. Le béton est une technique qui a fait la puissance des entreprises françaises. On a la chance d'avoir en France trois des plus grandes entreprises de la construction au monde (Bouygues, Vinci, Eiffage). Il faut en être fiers. Le béton est un matériau très rustique, très solide. Lorsqu'il est bien construit, bien mis en œuvre, le béton récupère quasiment la durabilité de la pierre. C'est une invention essentiellement française : Vicat, Hennebique, Caquot, Freyssinet. Il faut garder cela à l'esprit. Le béton a permis l'essor de la construction. On ne pourra pas construire 500 000 logements dans ce pays uniquement avec du bois. Tout le monde en est convaincu, y compris les professionnels de la filière bois. En d'autres termes, on va être « obligé » de continuer avec le béton et la maçonnerie. Et c'est tant mieux, tant les qualités de ce matériau sont grandes. Pour autant,

le béton devra faire sa révolution technologique, ce qu'il a déjà commencé à faire.

De plus, il existe déjà un mariage intime entre le béton et le bois. C'est le cas, par exemple, du projet Hypérion à Bordeaux (architecte : Jean-Paul Viguier et Associés), sur lequel SOCOTEC collabore. Lorsque vous réalisez des bâtiments aussi hauts, vous devez obligatoirement avoir des structures internes en béton afin de stabiliser le bâtiment. Un autre exemple est donné par les bâtiments qui seront construits pour le village olympique en 2024 et qui ne seront pas 100 % en bois. Ce mariage du bois et du béton, c'est la tendance actuelle structurante de la construction.

On lit souvent que le développement de la filière bois risquerait de détruire les forêts. Rappelons que la France dispose de la quatrième forêt européenne (hors Russie). Depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle elle a regagné une superficie considérable (31% de la surface métropolitaine, multipliée par deux en un siècle). Et elle demeure à ce jour sous exploitée. Une utilisation plus massive du bois ne fait craindre aucune déforestation critique de la forêt française. Au contraire, la création d'une industrie du bois favorisera même une gestion durable et raisonnée de la ressource forestière. Actuellement, les besoins que nous avons en bois en France sont encore majoritairement assurés par des bois d'importation (Autriche, Allemagne, Europe du Nord). Si l'intérêt du bois est de réduire l'empreinte carbone, alors quel est le sens d'aller le chercher au-delà de nos frontières ? Pour toutes ces raisons, il faut que l'industrie du bois continue son développement et sa structuration pour avoir la fourniture la plus locale possible. La forêt est une ressource qui se gère. Un résineux, par exemple, met vingt ans pour atteindre sa maturité de coupe. Ça se planifie. Ce n'est pas parce que vous coupez les arbres que vous affaiblissez la ressource.

Dans les années 1980, il y a eu une première tentative de la construction bois, poussée par une conscience écologique naissante. Mais ça n'a pas pris. Aujourd'hui, la vague de fond est telle qu'il est peu probable qu'elle retombe. Mais créer une filière est un processus qui demande du temps. Il faut mettre les forêts à disposition, construire les scieries, assurer des débouchés pérennes, etc.

C'est probablement dans la recherche architecturale que le hors-site pourrait trouver ses limites. Lorsque vous organisez des modules, ça peut ressembler au final à un assemblage de boîtes. Je force le trait volontairement. Le cœur de cible du hors-site, c'est véritablement le bâtiment d'habitation, l'hôtellerie, les résidences étudiantes etc., où la recherche architecturale est plus stéréotypée. Quant aux grands bâtiments publics, c'est moins évident, mais pas impossible.

Enfin, le métier du contrôleur technique va certainement évoluer. Si les chantiers ne durent que 6 mois au lieu de 24, il est clair que la plus-value du contrôleur sur le chantier sera différente. On y réfléchit à SOCOTEC. Comment adapter nos missions et notre rôle à des chantiers qui seront radicalement différents de ceux qu'on connaît aujourd'hui ? Actuellement, l'univers du contrôleur est le

chantier, c'est-à-dire un lieu délimité dans l'espace et dans le temps. Désormais, avec le hors-site, il va falloir élargir le contrôle à l'endroit où l'on préfabrique. Le cadre et la nature des contrôles doivent être encore pensés. Fondamentalement, ça ne changera pas le rôle du contrôleur technique, ni celui de l'architecte ou des autres parties prenantes. Tous les intervenants à l'acte de construire devront simplement s'adapter à cette nouvelle donne. Quant à l'industriel, en devenant partie prenante de l'acte de construire, il endosse le statut de constructeur au titre de l'article 1792 du code civil.

Il y a un bel avenir pour le hors-site car il faut réduire en urgence l'impact carbone de nos chantiers : travailler sur les matériaux, sur les techniques de construction, sur les distances entre le lieu de fabrication et le chantier. Surtout, qu'on ne s' imagine pas que le développement du hors-site pourrait être anecdotique. On ne pourra pas échapper à la pression que la société et les pouvoirs publics vont exercer sur la filière du bâtiment pour l'amener à maîtriser son impact carbone. Tout ce qui contribuera à diminuer cet impact carbone sera utilisé et développé.

# Le bois et le hors-site sont-ils fait l'un pour l'autre ?

## Le point de vue de Laurent Le Magorou

Expert national Construction Bois  
Expert SOCOTEC Construction Bois  
Direction Technique  
SOCOTEC Construction et Immobilier

Il faut d'abord repartir de l'évolution réglementaire et bien comprendre qu'on change de braquet. Jusqu'à maintenant, on avait une RT (Réglementation Thermique) avec pour seule exigence la performance énergétique. Désormais, avec la RE2020 (Réglementation Environnementale), on ajoute au volet d'économie d'énergie tout le volet portant sur l'analyse de cycle de vie de l'ouvrage. Il s'agit à présent de prendre en compte la chaîne complète : émission de GES, matériaux et leur fabrication, ouvrage pendant ses phases d'exploitation et de fin de vie. En procédant ainsi, vous donnez à voir les grands avantages des matériaux naturels et en particulier du bois.

Aujourd'hui, la construction bois dans son ensemble, c'est à peine 5 % du marché français. Force est de constater que la culture bois n'est pas généralisée dans le domaine de la construction. Jusqu'à présent, les ouvrages en bois ne dépassaient que très rarement les trois niveaux (principalement de la maison individuelle, du petit collectif et du petit bureau). Depuis environ 5 ans, on observe une explosion de la construction bois dans tous les domaines. On commence à voir apparaître des bâtiments beaucoup plus grands (15-20 niveaux), faisant émerger des contraintes techniques nouvelles. L'arrivée de la RE2020 ne fait qu'appuyer une tendance déjà existante.

On se demande souvent si le bois offre les mêmes garanties de durabilité que le béton. Or il existe des temples japonais en structure bois qui sont millénaires. Plus proche de nous, la charpente de Notre-Dame avait plus de 350 ans. Il n'y a pas de problème de durabilité du bois dès lors qu'on fait le choix du bon matériau au bon endroit. Il faut bien sûr se méfier des Ayatollahs du bois qui veulent mettre du bois partout, même dans les endroits qui ne sont pas adaptés.

Le développement de la filière bois ne menace aucunement la ressource forestière ou la biodiversité. Il faut garder à l'esprit qu'en un siècle la surface boisée de la France a plus que doublé. Même s'il devait y avoir une exploitation massive de la ressource, on n'arriverait pas à consommer en France la totalité de ce que les forêts produisent. Rappelons aussi que si l'on devait faire une exploitation forestière au sens strict (un peu comme l'exploitation agricole), il y aurait automatiquement la mise en place d'une gestion durable de



la ressource : un arbre replanté pour un arbre abattu. Ajoutons qu'un arbre adulte présente un bilan carbone quasi-nul (équilibre entre le CO<sub>2</sub> capté et le CO<sub>2</sub> rejeté). Un arbre jeune, en revanche, a besoin d'absorber plus de CO<sub>2</sub> qu'il n'en rejette. L'exploitation forestière (pratique de l'« éclaircie ») peut se gérer très bien, en gardant à l'esprit que toutes les essences de bois ne sont pas adaptées à la construction. Il faut bien veiller à ne pas surexploiter certaines essences plus que d'autres au risque de rompre les équilibres forestiers.

L'essor du hors-site favorise l'utilisation du bois. Ce qu'on appelle le hors-site, c'est tout simplement le fait de préfabriquer le plus possible en usine pour faire des macro-éléments, puis de venir finaliser l'assemblage sur site. Les avantages sont à la fois économiques, techniques et relatifs au chantier. En structure bois, compte tenu des masses qui sont beaucoup plus petites que le béton préfabriqué, il est possible de faire de très grosse préfabrication. Pour le moment, deux types de préfabrication sont réalisées : le 2D et le 3D. Le 2D concerne les panneaux de mur ou de plancher. On peut en préfabriquer uniquement la structure (ossature porteuse, éventuellement l'isolant et éventuellement le pare-pluie), comme on peut aussi réaliser les parois finies (structure, isolement, parement extérieur, menuiseries, etc.). Et certains vont jusqu'au parement intérieur avec les réseaux. Dans ce dernier cas, la phase chantier ne se limite qu'à la pose et à l'ancrage à la base. Le 3D consiste à réaliser des boîtes. On peut aller jusqu'à réaliser des studios complets en usine, livrés par camion sur le chantier. Il ne restera plus qu'à les empiler les uns sur les autres pour réaliser un immeuble (un R+8 monté en 4 semaines). Typiquement, les appartements de 30-35 m<sup>2</sup> à la montagne sont des unités complètement préfabriquées en usine. Il y a même à l'intérieur une salle de bain déjà montée, carrelée, équipée... La seule chose que le hors-site ne fait pas encore, c'est de fournir les meubles ! Lorsqu'on est sur de la 3D, on est sur de la standardisation. Ce sont des systèmes qui sont souvent adaptés pour faire des résidences étudiantes, des EHPAD, des résidences hôtelières, etc. En 2D, on va simplement préfabriquer les panneaux de façade à la demande, en fonction de l'architecture.

Dans une construction hors-site, il y a toujours une partie en béton : les fondations, les deux premiers niveaux qui servent à stabiliser l'ouvrage. C'est dessus qu'on vient monter les éléments préfabriqués en bois. On peut aussi utiliser le métal. La structure métallique, c'est un peu le même concept que le bois. Il n'y a que le matériau qui change. Cependant, à part deux ou trois systèmes prioritaires, il n'y a pas vraiment de système de mur à ossature métallique. L'ossature métallique est souvent utilisée pour faire des portiques, des systèmes de poteaux-poutres.

L'une des grande force du hors-site, c'est qu'il est bien adapté à la façon de gérer un chantier bois. Sur un chantier traditionnel (c'est-à-dire en béton), on estime généralement que la conception représente 20 % du temps tandis que l'exécution prend 80 %. C'est durant la phase d'exécution qu'il y a beaucoup de temps de manœuvre et d'ingénierie pour corriger le tir si nécessaire. Vous avez cette

souplesse là pour changer et dévier au fur et à mesure de l'exécution. En revanche, dans la construction bois, on passe à quasiment 80 % du temps pour la conception et 20 % pour la phase chantier. Comme on aura préfabriqué un maximum de choses en usine, l'assemblage final sur site se fera dans un délai très court. Les nuisances de chantier seront quasiment inexistantes. On pourra même prétendre au zéro déchet dans la mesure où tout est préfabriqué. On parle ici d'une filière sèche, avec des chantiers propres.

Par contre, le revers de la médaille, c'est le manque de souplesse. Comme tous les éléments arrivent préfabriqués sur le site, si jamais il fallait modifier au dernier moment quelque chose, ça devient vite problématique.

Comme souvent le diable se trouve dans les détails. Si vous prenez une structure béton ou maçonnerie qui ne serait pas bien faite (ex. problème d'étanchéité à l'eau, à l'air). Au pire, les éléments second œuvre risqueront d'être abimés. Il suffira de remplacer une plaque de plâtre et c'est terminé. Le problème de la construction bois, c'est que s'il y a des défauts d'étanchéité à l'air qui peuvent créer dans la paroi des phénomènes de condensation ou d'infiltration d'eau, c'est toute la structure que va se dégrader. De ce point de vue, le bois est très sensible. Et donc, plus vous maîtriserez le travail du bois en usine, plus vous limiterez les risques liés au chantier. Il faut signaler que les éléments en bois sont traités généralement pour la phase chantier car ils sont exposés à ce moment-là aux intempéries. Cependant, le hors-site permet de limiter le temps d'exposition aux intempéries pendant la phase chantier.

L'une des limites du hors-site, ce sont les systèmes où vous avez de grands volumes sans parois (gymnases, bâtiments agricoles ou industriels). Dès que vous sortez des systèmes où vous avez beaucoup de petits éléments à assembler (habitation, bureaux, petit tertiaire), alors ça devient tout de suite plus compliqué.

Par ailleurs, il faut veiller à bien faire appel à des bureaux d'études compétents sur le matériau bois. Cela permet d'éviter de se retrouver avec des défauts de conception

ou des pathologies qui auraient pu être évitées. Il y a toute une conception qui relève du savoir-faire de la filière bois. Le bois est un matériau qui réagit, par exemple, aux variations de l'humidité de l'air. En montagne, les variations hygrométriques de l'air sont très faibles. Par contre, dans le Sud-Ouest les variations sont telles qu'on peut rapidement avoir des variations dimensionnelles du bois importantes (pathologie de portes et fenêtres qui ne ferment plus, jour autour des huisseries, etc.)

Le hors-site vient parfaitement s'insérer dans la problématique de réduction de l'impact environnemental du bâtiment. Du fait du matériau utilisé, vous réduisez le temps du chantier, les nuisances associées, l'eau nécessaire (puisque c'est une filière sèche).

Le bois ça brûle. Mais on sait comment ça brûle : 7 mm par minute ! Si on veut que ça tienne une heure, on rajoute les mm qu'il faut. C'est très différent du métal, par exemple, qui pose une problématique de montée en température qui fait qu'il se ramolli et tombe par instabilité.

Jusqu'à maintenant, la filière bois était composée d'une multitude de petits artisans. On parle de 2000 entreprises à l'échelle nationale (producteurs de matériaux, fabricants, charpentiers, etc.). Ce sont pour beaucoup des TPE dont la taille moyenne est 10-15 personnes. Avec l'engouement pour la construction bois, une tendance se dessine vers l'industrialisation. On observe déjà un phénomène de concentration soit par regroupement, soit par augmentation de taille. Progressivement, tout le monde vient. Les majors de la construction béton que sont Bouygues, Eiffage, Vinci, se sont mises à racheter les TPE de la construction bois. Parmi les acteurs historiques du hors-site en France, on peut citer Ossabois, SBI Stock Bois ou Domino, chacun ayant son modèle d'affaires spécifique. Tandis que Domino conçoit le système de module 3D et fait fabriquer localement l'ossature bois par un tiers, Ossabois ou SBI Stock Bois pour leur part proposent une maison type en offrant à leurs clients la possibilité de choisir des modules de personnalisation sur catalogue, qui viennent se fixer à la maison. Le client a

l'impression de composer sa maison à sa guise en choisissant parmi une offre de modules standardisés qu'Ossabois ou SBI Stock Bois construisent au kilomètre...

L'un des problèmes du bois, c'est de réussir à respecter la réglementation acoustique. Plus vous construisez avec des matériaux légers comme le bois, plus il devient difficile d'atteindre de bonnes performances d'isolation acoustique. C'est un sujet sensible pour la construction hors-site. Tant que l'on faisait de la maison individuelle, de petits ouvrages, de petits bureaux, on était pas trop embêté par la réglementation acoustique. Maintenant que le hors-site se lance dans les bâtiments multi-étages, la performance acoustique devient un vrai sujet. La mixité des matériaux peut être une solution pour traiter à la fois de l'aspect acoustique et aussi la réglementation incendie, notamment le mariage bois-béton. Lorsque vous montez en hauteur, vous aurez besoin d'un bon noyau béton pour mettre les ascenseurs, les cages d'escalier et régler les questions de l'acoustique, l'inertie thermique à l'intérieur de l'enveloppe, l'incendie, la stabilité. Autour, vous montez en bois et vous avez la formule gagnante.

Mais la mixité bois-métal a de l'avenir aussi. Sur Toulouse, par exemple, SOCOTEC intervient sur un bâtiment de 8 niveaux en mixité bois-métal. Disons que la règle d'or, c'est d'utiliser le bon matériau au bon endroit. Alors qu'un petit ouvrage de deux à quatre niveaux peut être entièrement construit en bois, il n'en va pas de même pour les bâtiments plus grands. Plus on empile, plus les contraintes liées à l'incendie, la stabilité, l'acoustique deviennent difficiles à tenir. C'est là que la mixité trouve toute sa place.

Les contrôleurs techniques, tout comme les bureaux d'études généralistes, savent faire du béton, un peu le métal mais n'ont pas de compétence particulière sur le bois. Ils n'ont pas forcément le recul, l'expérience et la compétence pour aller tout de suite sur les points sensibles et détecter les problèmes. SOCOTEC a mis en place de formations en interne, notamment sur les sujets des matériaux biosourcés, de la construction bois au sens large.

Par ailleurs, les métiers devront s'adapter à la nouvelle répartition des phases conception et exécution à l'œuvre dans le hors-site. Sur le chantier, lorsque les éléments arrivent tout prêts, il devient impossible de contrôler. C'est trop tard. Il va falloir déplacer certaines actions de contrôle technique directement dans l'usine. Actuellement SOCOTEC échange avec des entreprises qui se sont lancées dans le hors-site afin de déterminer les modalités d'intégration optimale des contrôleurs techniques dans le processus de fabrication en usine.

En conclusion, je dirai que le hors-site n'est pas une révolution, mais une évolution parce qu'on a toujours fait de la préfabrication en bois. Disons qu'avant on s'arrêtait à la structure et que désormais on pousse très loin la finition des éléments préfabriqués et on industrialise.



# En quoi le hors-site constitue-t-il un changement de paradigme pour le bâtiment ?

## Le point de vue de Pascal Chazal

Expert National Hors-Site  
Directeur du magazine HORS SITE.  
Président du Campus hors-site.

CEO du Patch Conseil

Je suis né dans le bâtiment. Mon père était artisan. Il travaillait le bois. J'ai tout de suite aimé ce matériau. Très tôt, j'ai eu envie de développer la construction bois en France. Le bois est une matière renouvelable et il peut être travaillé et assemblé en atelier plutôt que sur le chantier. En 1981, j'ai créé une petite SARL que j'ai appelée Ossaboïs (contraction d'« ossature bois »). A cette époque, personne ne savait ce qu'était l'ossature bois ! Le terme même n'existait pas. En 30 ans, la petite SARL est devenue un groupe de 300 personnes réparties sur 3 usines et ayant produit 20 000 maisons et logement en bois. La crise de 2008 a frappé de plein fouet nos deux marchés (maison individuelle et résidentiel de tourisme) et le groupe Bouygues est entré au capital de l'entreprise en 2010. Deux ans après, j'ai quitté l'entreprise et pris le temps pour réfléchir et essayer de comprendre pourquoi on ne réussissait pas en France à industrialiser la construction. Quatre ans et un tour du monde plus tard, j'ai eu la conviction que l'échec en France n'était pas lié à un problème technique mais à **un problème culturel**.

La manière de concevoir le bâtiment aujourd'hui est centrée sur le chantier et absolument pas du tout sur la préfabrication. Pour cette raison, il est très difficile, voire impossible, d'intégrer des produits industrialisés dans la processus du bâtiment. En France, la méthode conduit inexorablement au chantier, et plus spécifiquement à « couler du béton ». Cette technique a largement fait ses preuves depuis l'après-guerre, et il faut dire qu'on dispose de trois acteurs majeurs (Bouygues, Eiffage, Vinci) qui sont formidables dans la construction du béton coulé sur le chantier. Dans d'autres pays, on préfabrique beaucoup tout en coulant du béton (ex. Danemark). En France, ce n'est pas le cas. Après avoir reconstruit le pays avec la préfabrication après la deuxième guerre mondiale, on a complètement arrêté cette technique à la fin des trente glorieuses (années 1975-1980) car on avait trop utilisé la standardisation et construit les mêmes barres d'immeubles au 4 coins de la France, oubliant les particularités régionales. On a mis en place des CAUE (Conseil d'Architecture d'Urbanisme et d'Environnement) et des ABF. Depuis, on part à chaque fois d'une feuille blanche lorsqu'on veut construire un bâtiment.



Lors de mon tour du monde, j'ai rencontré beaucoup de gens et découvert de très beaux exemples de réussite. J'ai vu des gens qui ont radicalement changé leur manière de travailler et qui font désormais des produits de meilleure qualité que les autres, deux fois plus rapidement et qui gagnent de l'argent ainsi. C'est tout le contraire de la construction traditionnelle où plus personne ne dégage de marge et où toutes les entreprises souffrent.

Je découvre parallèlement (vers 2015) le terme « off site building » que je ne connaissais pas du tout. Le terme fait florès aux Etats-Unis et au Royaume-Uni. En me rendant à un salon consacré au off site building à Londres, j'ai la surprise d'y trouver non pas quelques acteurs de la préfabrication mais **l'existence d'un véritable écosystème**. Imaginez, 80 stands composés de consultants spécialisés dans le off site building, d'architectes, de bureaux d'études, de cabinets de recrutement spécialisés, des associations... C'était bluffant ! Et il y avait là une école du off site building. J'en suis reparti avec la ferme conviction que ce qui nous manquait en France, c'était la mise en place d'un écosystème, avec des gens qui arrêtent de penser « chantier » pour penser « préfabrication ». Il fallait s'atteler à changer la mentalité du bâtiment. Et ce n'est pas une mince affaire.

Comment s'y prend-on pour faire un changement culturel pareil ?

Il faut commencer par **donner envie**. Premièrement en montrant des exemples de ce qui fonctionne ailleurs. Alors j'ai créé une maison d'édition et lancé un magazine appelé « Hors-site » (traduction directe de « off site ») dont le n°1 est sorti en juillet 2017. C'est un succès immédiat. En moins de 4 ans, le terme « hors-site » est dans toutes les bouches, y compris dans celles des ministres. C'est vraiment incroyable. La révolution culturelle est en marche. Deuxièmement, à la demande de toutes les parties prenantes, j'organise des colloques (ex. école d'architecture de Paris en mars 2018). Troisièmement, j'organise des voyages car pour vraiment se rendre compte de l'intérêt du hors-site, il faut aller voir par soi-même (5 voyages au total à Londres). Quatrièmement, on est arrivé à créer le premier salon de la construction hors-site à Paris (Bâtimat, nov. 2019) et un prochain prévu en 2022.

Il faut ensuite **faire du conseil**. Car les professionnels du bâtiment ne parlent vraiment pas la même langue. Et je n'exagère pas ! Quand vous avez un Nexity qui essaye de parler à un Ossaboïs, ça se passe mal, ils ne se comprennent pas. Pourquoi ? Parce que Nexity cherche à faire des opérations complètement différentes à chaque fois, tandis qu'Ossaboïs, en bon industriel, cherche à standardiser les choses. Or les gens du bâtiment sont persuadés que si l'on standardise, on fera tous les mêmes logements et les mêmes bâtiments alors que c'est complètement faux. Je me suis alors dit qu'il manquait une interface entre le monde du bâtiment et le monde de l'industrie. Dans l'approche bâtiment, pour construire il faut des gens de métier, qui soient formés et avec de l'expérience. Or aujourd'hui on en manque, parce que les métiers sont difficiles, pénibles et n'attirent plus les jeunes. Dans l'approche industrie, ça ne repose pas sur des métiers, mais sur des méthodes et sur des organisations et des process. Si vous allez chez Renault, ou Mercedes, ou BMW, vous ne trouverez

pas de mécaniciens, ni d'électriciens, ni de carrossiers, mais plutôt des opérateurs polyvalents. Les tâches y sont organisées de manière suffisamment simple pour qu'une personne n'ayant pas de métier spécifique puisse quand même participer au processus de production. Et si c'est possible dans l'automobile, c'est bien sûr possible dans le bâtiment. Ce qui est certain, c'est que lorsque l'approche industrielle est comprise, elle est capable de faire des améliorations à tous les niveaux : le produit, la qualité, les conditions de travail des gens... Certains craignent que le travail en usine ne déshumanise le travail et provoque une perte des savoir-faire des identités professionnelles et de l'autonomie des personnes. Je vous confirme que c'est tout le contraire. J'ai des opérateurs (menuisiers, charpentiers) chez Ossaboïs qui ont compris la logique industrielle et qui prennent beaucoup de plaisir à voir leur efficacité décuplée sans perdre en rien leur savoir-faire.

Il faut ensuite **former** car personne n'est formé pour fabriquer en usine des éléments à forte valeur ajoutée pour le bâtiment. Il n'y avait pas d'école, j'en ai créé une : le « Campus Hors-site ». En m'inspirant de ce qui se faisait à l'étranger, et en particulier au Royaume-Uni, je me suis tourné vers mes clients et obtenu leur soutien ainsi que celui de la région Rhône-Alpes pour lancer le Campus Hors-site. Après avoir traduit les premiers modules de l'anglais, nous avons désormais commencé la création de nos propres modules. On met en place des formations en présentiel et en distanciel. Notre première formation s'intitule « les fondamentaux du hors-site » et consacre une journée entière à faire comprendre les bases du hors-site. Nos apprenants sont scotchés quand il découvre un monde qu'ils ne soupçonnaient pas. On vient de signer un accord avec le CESA pour développer un master en construction hors-site qui devrait ouvrir en septembre 2021. Grâce à Alain Reynes (SOCOTEC), je suis rentré en contact avec l'ESTP avec qui nous travaillons à la mise en place d'une chaire dédiée à la construction hors-site.

Il faut dire aussi que le hors-site a le vent en poupe dans le monde entier. Des stratégies

bas carbone émergent partout (SNBC en France) et la crise sanitaire accélère le mouvement d'une manière prodigieuse parce qu'il n'y a plus de bras sur les chantiers. On se situe à un point de bascule.

Les organismes tierce partie sont de nouveaux partenaires dans le hors-site. Leur force, c'est qu'ils connaissent bien les difficultés constatées sur les chantiers. Il faut dire aussi que le bâtiment s'est complexifié en un siècle : l'Empire State Building a été construit en 1 an en 1930, tandis que la Tour Saint Gobain de la Défense l'a été en 4 ans entre 2016 et 2020, pourquoi ? Parce que la tour St-Gobain est infiniment plus complexe que l'empire state Building. Or aujourd'hui, on continue à vouloir construire des bâtiments d'une grande complexité avec les méthodes qui marchaient quand le bâtiment était simple. Le problème est là. A titre de comparaison, nos voitures sont devenues des objets très complexes mais dans l'industrie automobile on a complètement changé le processus de production et les organisations. Pas dans le bâtiment.

Bien entendu, on essaye d'évoluer dans le bâtiment, mais sans vraiment sortir de la logique de chantier. On essaye par exemple d'intégrer le BIM, mais on sait très bien qu'il s'arrête à la porte du chantier. Les ouvriers, sur le chantier n'ont pas vraiment le temps de se préoccuper de leurs tablettes, de leurs ordinateurs. Ils passent une grande partie de leur temps dans les camionnettes. Quand ils arrivent sur le chantier, ils essayent de faire le maximum dans le temps qui reste. Et lorsque quelque chose n'a pas été fait correctement avant eux, ils doivent rattraper, etc. C'est ainsi que la productivité du monde du bâtiment s'est réduite de 20 % en 20 ans. Un ouvrier qui ramenait 100 euros de VA il y a 20 ans n'en ramène plus que 80 euros aujourd'hui. Le résultat, c'est qu'il n'y a plus de marge de manœuvre. **On est aujourd'hui à la veille d'une transformation structurelle, systémique. C'est le modèle qu'il faut changer.** On est à l'aube d'un changement fondamental, structurel.

Le premier drame de la construction aujourd'hui, c'est d'être dans **des organisations segmentées** (promoteurs,

architecte et bureaux d'études, entreprises, assureurs, contrôleur technique, etc.). Ces organisations segmentées fonctionnaient très bien il y a quarante ans, lorsque les ouvrages étaient relativement simples et la main d'œuvre abondante. Ça ne marche plus avec des bâtiments complexes et une pénurie de main d'œuvre qualifiée. A l'opposé, l'industrie ne fonctionne pas du tout de manière segmentée. Au contraire, on y travaille en organisation collaborative, avec des sous-traitants qui sont de véritables partenaires, consultés en amont pour définir les objectifs, les prix d'achat proposés. L'organisation collaborative, c'est du gagnant-gagnant. Sortir des organisations segmentées implique aussi de changer le processus d'achat. Par exemple, la loi MOP (Maîtrise d'Ouvrage Public) n'est pas du tout adaptée à la construction hors-site car elle découpe tout en petits lots : plombier, électricien, carreleur, peintre, etc. Au contraire, il faudrait aller vers des procédures qui favorisent la collaboration des acteurs comme la conception-réalisation, ou les « marchés globaux de performance », ou encore mieux des contrats cadres sur des durées longues, une bonne manière de sécuriser le pipeline de commandes pour les industriels et leur permettre de se mettre en place. On pourrait ainsi tenir compte du coût global du bâtiment (y compris l'exploitation) et pas seulement se concentrer sur le coût de la construction. Ce dernier ne représente que 20 % en moyenne du coût global d'un bâtiment qu'on exploite pendant 30 ans. Cela éviterait de tirer tout le monde vers le bas au moment de la construction et de rogner sur la qualité des matériaux, le prix des sous-traitants, etc. En s'intéressant au coût global, on pourrait dégager des marges de manœuvre pour la phase construction en y réinjectant des fonds, pour finalement en économiser durant toute la durée de vie du bâtiment. Avec le développement des contrats-cadres, des accords-cadres sur des durées longues, on arrête de raisonner « à l'affaire » pour entrer dans une démarche produit, véritable gage de réussite dans une démarche industrielle. Dans le bâtiment, les clients changent à chaque affaire d'architecte, de bureaux d'études, d'entreprises de fabricants, etc. Une industrie a besoin d'avoir une certaine sécurité sur son carnet de commandes. Au Royaume-Uni, en Suède, les accords-cadres ont une durée jusqu'à 10 ans. Avec un tel horizon, les fabricants sont en mesure de mettre en place des usines avec des investissements conséquents. Dès que l'on cesse de raisonner « à l'affaire » mais qu'on adopte une démarche produit, les acteurs adoptent immédiatement une vision de long terme.

Le deuxième drame de la construction, c'est le fameux « sur mesure » qui est né dans les années 1980 et où on réinvente l'eau chaude à chaque fois qu'on réalise un bâtiment. Or pour concevoir en hors-site, il faut accepter la notion de standard.

**En conclusion, il faut comprendre que le hors-site repose sur un nouveau paradigme. On doit passer d'une culture chantier avec des organisations segmentées à une culture industrielle avec des organisations collaboratives. Il faut apprendre à faire ce que les industriels appellent le DFMA (conception pour la fabrication et l'assemblage). Si on veut aller vers la préfabrication, on ne peut plus continuer à faire 100 % de chantier et 100 % de spécifique.** La construction industrialisée doit avoir ce double mouvement de

la préfabrication et de la standardisation pour réussir. En pensant DFMA, on peut parfaitement réussir à concilier les besoins vitaux de l'immobilier d'avoir des bâtiments à chaque fois spécifiques avec celui aussi impérieux de l'industrie de produire toujours la même chose en gardant une très belle diversité.

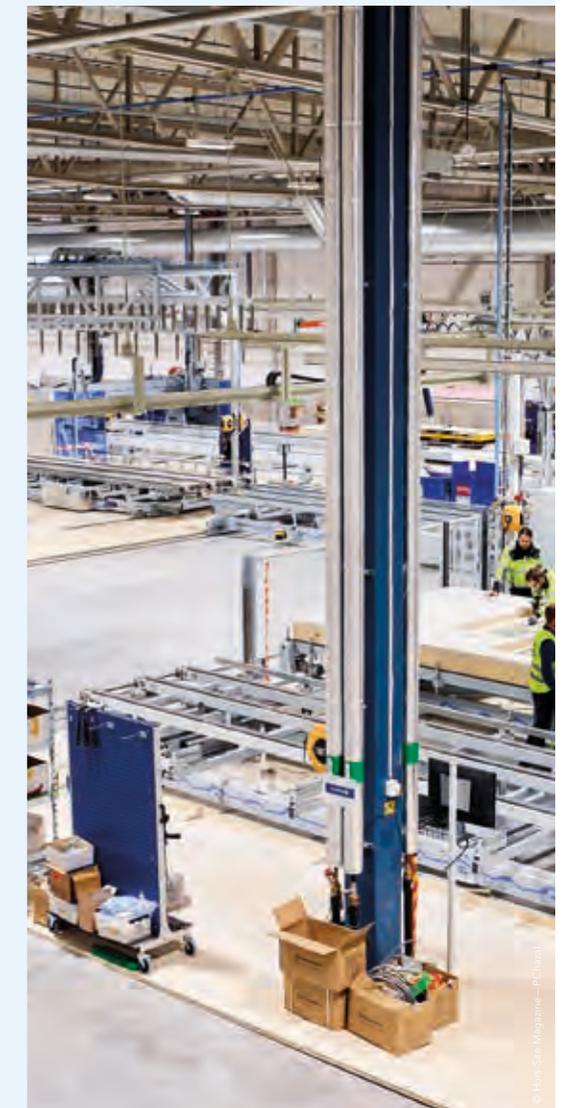
**On pense qu'il ne faut pas opposer le monde du bâtiment et celui de l'industrie. Bien au contraire. Il faut les faire collaborer. Et le modulaire hybride se prête bien à ce genre de collaboration. On fait sur le chantier ce qui nous permet de nous adapter au sol et aussi le visuel extérieur. On fait en usine ce qui est standardisable : « rendre spécifique le visible et standard l'invisible ».**

Le hors-site est une révolution qui permettra de réduire les délais et de gagner en productivité. Les architectes d'HTA, par exemple, me disent qu'avec le hors-site, ils ont retrouvé une joie de vivre et qu'ils gagnent désormais de l'argent ! L'écart de productivité entre une opération traditionnelle et une opération hors-site peut aller jusqu'à 70 % en faveur du hors-site.

**Le hors-site est une chance incroyable de créer une passerelle entre le monde de l'industrie et le monde du bâtiment.** Ajoutons qu'aujourd'hui, les industriels de l'automobile, des chantiers navals, de l'aéronautique, etc. perdent tous des parts de marché. Il va y avoir un grand nombre d'usines qu'on va pouvoir transformer pour fabriquer non plus des voitures ou des composants d'avion, mais pour fabriquer des composants pour le bâtiment. Le hors-site est une formidable occasion de réindustrialiser la France par le bâtiment... Et il y a intérêt à se secouer parce que le danger vient d'ailleurs, et il arrive très rapidement : l'AFNOR est aujourd'hui interpellé par la Chine qui demande la création d'une Commission pour la construction modulaire préfabriquée. La FFB, la CAPEB ont tout de suite manifesté un refus à cette demande. Pour ma part, je considère que la seule manière de se défendre contre la concurrence étrangère, c'est de devenir meilleur qu'elle ! C'est-à-dire d'être capable de produire aussi bien, voire mieux, que les Chinois. Mais l'attaque est déjà bien réelle. L'entreprise chinoise CIMC Modular, par exemple, plus gros fabricant mondial de conteneurs maritimes et de paquebots, cherche un débouché nouveau pour ses conteneurs (sachant que le marché du conteneur se réduit). Ils arrivent désormais à mettre deux chambres d'hôtel dans leurs conteneurs XXL. Ces conteneurs standardisés sont transportés sur des bateaux et livrés dans le monde entier. Ils ont déjà livré 50 000 chambres dans le monde. Et je peux vous dire que c'est loin d'être des produits bas de gamme. Bien au contraire. On peut également citer les Polonais... Donc, il faut se secouer !

A l'avenir, on sera capable de fabriquer le hors-site avec des visions industrielles encore plus poussées. Un peu à l'image des chantiers de l'Atlantique qui fabriquent des bateaux de croisière de 3 à 4000 cabines. D'ailleurs, on peut établir des parallèles intéressants avec la construction : un bateau y est appelé « bâtiment » ! Au départ, les cabines préfabriquées coûtaient plus chers que les autres. Trente ans plus tard les cabines préfabriquées coûtent 3 fois moins chers et permettent de livrer un navire 4 mois plus tôt. Ils ont des

usines capables de fabriquer 34 cabines par jour, avec un niveau de technologie et de finition qui n'a pas d'équivalent dans le bâtiment (même pas dans une chambre d'hôtel). Le hors-site permettrait d'aller dans cette direction tout en améliorant considérablement l'empreinte carbone. Il faut garder à l'esprit qu'un chantier traditionnel, c'est beaucoup de camionnettes avec des ouvriers qui habitent rarement dans les villes où se trouvent les chantiers. Le mobilité pendulaire émet beaucoup de carbone. Avec la RE2020, on n'y coupera pas, il va falloir préfabriquer. Enfin, le hors-site offre une issue de sortie de crise à une filière qui cherche à se renouveler.



# Le hors-site peut-il être envisagé y compris pour la rénovation énergétique ?

## Le point de vue d'Aurélien SALM

Expert SOCOTEC

Directeur d'Activités  
Assistance-Patrimoine-BIM  
Agence de Nantes  
SOCOTEC Construction et Immobilier

Le Hors-site offre une très grande palette de pratiques. La démarche Energy Sprong est l'une d'entre elles. Originaires des Pays-Bas (plus de 5000 logements rénovés par cette méthode à ce jour), portée par l'Europe (France, Allemagne, Royaume-Uni, Italie), se développant à New York, en Colombie britannique, etc., elle reste encore méconnue. Son ambition est de favoriser la massification de la rénovation énergétique. S'appuyant sur la construction hors-site, elle propose une phase de préfabrication en usine qui précède une phase chantier réduite (1 à 2 semaines par habitation). L'originalité de la démarche réside dans le fait que les locataires restent dans leurs logements au moment des travaux. Les modules sont assemblés en hors-site et viennent ensuite être fixés sur les constructions existantes. Il s'agit généralement d'un module de façade (avec parties vitrées et opaques), d'un module de toiture (souvent associé à du photovoltaïque) et d'un module énergétique (chauffage, ventilation, eau chaude). Les économies d'énergie réalisées sur 30 ans doivent compenser en grande partie l'investissement initial pour les travaux. Ajoutons à cela des soutiens européens et par l'Etat français et on aura une idée du fort potentiel de cette démarche.

Comme pour le Hors-site, Energy Sprong associe plusieurs corps de métiers ce qui est très différent de la préfabrication simple qui ne porte en général que sur un type de métier. De même, la démarche Energy Sprong impose le « sur mesure ». Les trois modules doivent s'assembler au millimètre près sur le chantier. C'est là une grande difficulté d'Energy Sprong qui porte sur de la rénovation de bâti existant. Or chaque maison, chaque logement, est unique. Avant de lancer la fabrication en usine, il y a un travail rigoureux de prise de cotes à réaliser de chaque élément existant. Un lien peut être fait ici avec le BIM et les mesures en 3D. La préfabrication en usine doit ensuite venir se fixer sur l'existant au millimètre près. C'est un vrai défi car il n'y a pas le droit à l'erreur. Avec Energy Sprong, on est désormais sur des logiques beaucoup plus proches de l'industrie que de l'artisanat. La phase chantier ne se limite qu'à la pose, qui doit être la plus simple et rapide possible, et aux raccordements/finitions. Les aléas de chantier doivent être réduits à quasiment zéro : les camions arrivent, les façades sont posées, tout s'emboîte au millimètre et on passe à la maison suivante le lendemain. Bien que chaque maison



soit différente, il faut dire cependant que la méthodologie de travail est toujours la même : prise de cotes, travail en atelier, pose et raccordement sur site, optimisation de l'ordonnancement et de la coordination, le tout dans une logique de Lean construction.

La démarche Energy Sprong se développe déjà dans l'Ouest de la France sous l'impulsion de Greenflex (Groupe Total) qui est la société coordinatrice des initiatives. Les acteurs qui s'y engagent constatent tous de gains de productivité importants. L'industrialisation du processus permet des gains techniques, économiques, organisationnels significatifs. On tient là une opportunité de « réindustrialiser la France par le bâtiment » comme le dit Robin Rivaton, promoteur du hors-site en France. La formule est très juste.

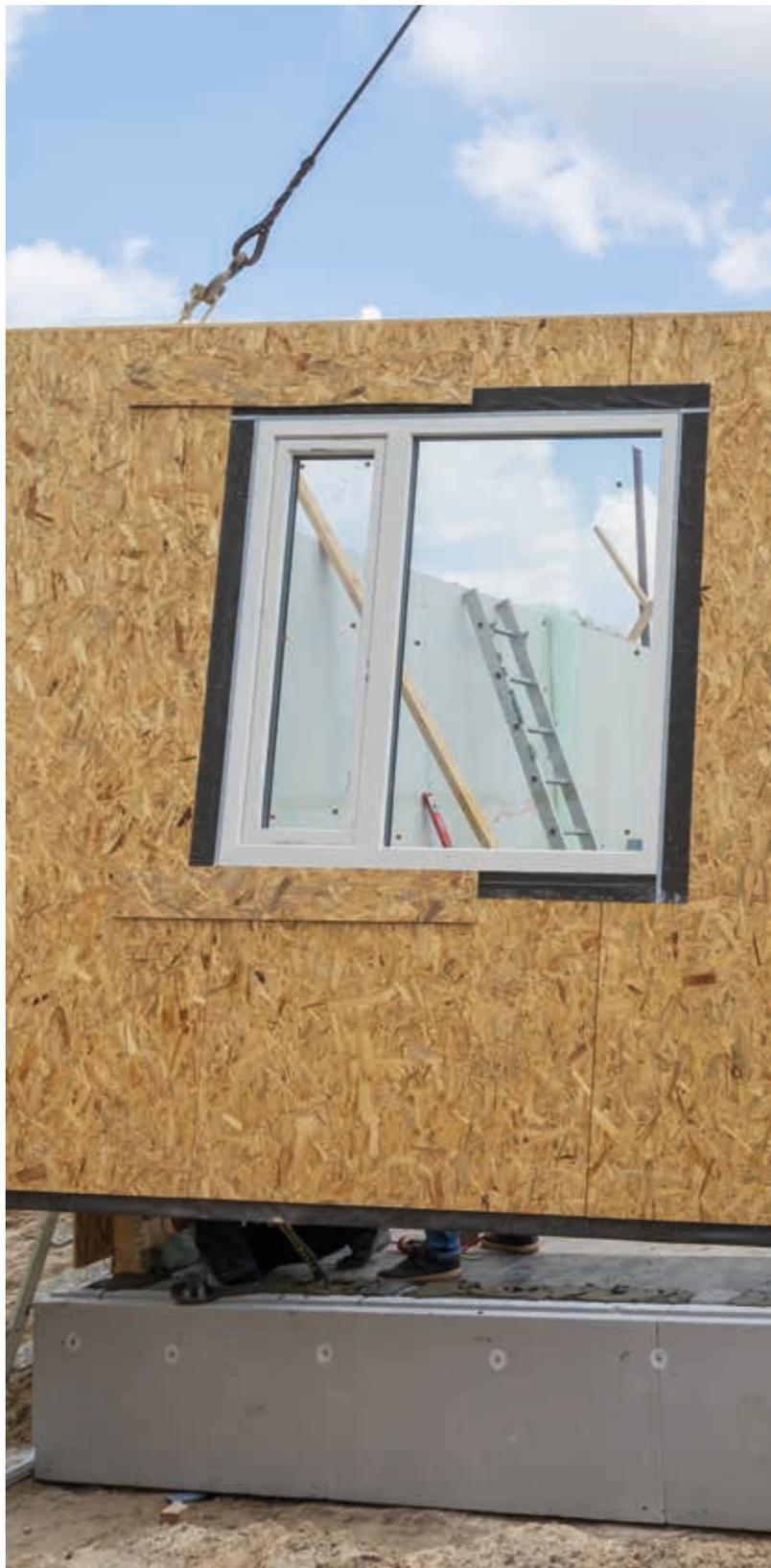
Pour le moment Energy Sprong s'adresse aux maisons individuelles, plutôt similaires (patrimoine du bailleur social). La deuxième étape, qui commence déjà avec des expérimentations en Europe et au Pays-Bas, porte sur les bâtiments collectifs. La troisième étape portera sur les petits ERP (Etablissements Recevant du Public : scolaire par exemple). Energy Sprong est bien adaptée à des constructions très tramées, très similaires et a priori assez faciles à isoler. Le déploiement en Europe est donc très progressif. Il dépend non seulement de la vitesse à laquelle les acteurs du bâtiment vont adopter une logique industrielle, mais aussi de la capacité des corps de métiers à dialoguer ensemble pour mettre en place cette approche nouvelle et en porter les risques. Ce sont deux évolutions qui sont loin d'être simples. En France, même s'il y a eu l'expérience des macro-lots, associer des corps de métiers pour les faire travailler ensemble dans la même usine ne va pas de soi. Cela pose d'innombrables questions pouvant aller jusqu'à remettre le modèle économique de certaines PME en cause. Il faut prévoir un accompagnement adéquat.

Enfin, il y a la question des risques et leur maîtrise. Les risques sont liés à l'assemblage inédit de compétences d'une part et aux modes de poses non traditionnels des éléments d'autre part. Aucun texte réglementaire (DTU, etc.) ou normatif ne vise actuellement ces points ce qui pose un vrai sujet de conformité réglementaire et de maîtrise des risques. Un acteur comme SOCOTEC a tout son rôle à jouer pour accompagner les entreprises, les maîtres d'ouvrage afin de leur permettre de maîtriser les risques techniques et réglementaires associés à cette démarche particulière. Dès la conception en amont, au moment où l'on s'interroge sur le choix des compétences à associer, la présence d'un expert en maîtrise des risques s'impose. Elle permet de faire les bons choix afin de prévenir les problèmes de non-conformité, les sinistres, mais aussi les risques « sériels » (le fait d'avoir un sinistre qui se répète). Comme souvent avec la démarche hors-site, en particulier avec Energy Sprong, on est sur des processus répétitifs. Une mauvaise conception se traduit par une erreur répétée. Il est fondamental d'intervenir très tôt dans le processus pour évaluer les risques et les maîtriser. Cette nouvelle manière de penser la construction va nécessiter un repositionnement du métier du contrôleur technique. Pour évaluer et maîtriser les risques en phase de conception, il va falloir se placer très en amont, dès les premières phases des projets. En phase opérationnelle, le contrôleur

devra se positionner davantage en usine que sur le chantier. Ses nouvelles missions seront de sécuriser les process industriels, d'accompagner les entreprises pour vérifier qu'elles réalisent bien les bons auto-contrôles au bon moment, etc. Parallèlement, il y aura un engagement plus fort du coordinateur SPS (sécurité, protection de la santé) en phase chantier. Comme tout va aller très vite, avec des nouveaux modes constructifs (modules posés, etc.), de nouvelles problématiques de chantier vont apparaître : nouveaux modes de grutage, nouveaux modes d'assemblage, charges différentes qui vont être portées, déplacées. De plus, le coordinateur devra avoir une vision globale sur la manière dont toute la chaîne entre acteurs va s'organiser. Une nouvelle page s'ouvre pour ces métiers.

Energy Sprong concerne aujourd'hui quelques milliers de logements en France. Elle est en train de se structurer en Rhône-Alpes. La démarche a pour vocation de se développer, notamment parce qu'elle s'inscrit bien dans l'ambition de l'Etat à atteindre la neutralité carbone en 2050. La construction, qui est l'un des plus forts émetteurs de CO<sub>2</sub> n'échappera pas à une transformation radicale. Le hors-site en général et la démarche Energy Sprong en particulier permettent d'agir vite et efficacement dans la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Dans le cadre du Plan de Relance 2021-2022, on trouve l'appel à projet MassiRéno qui vise directement des pratiques de rénovation énergétique du type de celle d'Energy Sprong.

La démarche Energy Sprong est également en phase avec l'ambition du décret tertiaire qui vise une réduction significative de la consommation énergétique d'ici à 2030. Energy Sprong, qui concerne en premier lieu le logement et qui devrait se déployer vers les petits bâtiments tertiaires (d'enseignements, bureaux R+1, R+2) vers 2025, sera en bonne place pour prendre le train du décret tertiaire en marche... Ajoutons qu'Energy Sprong rend non seulement possible des économies significatives d'énergie, mais elle apporte aussi des hautes qualités de confort de vie (gain thermique fort, menus travaux pour faire les salles d'eau, les cuisines, etc.) et une attention à l'esthétique.



De plus, Energy Sprong est un feu vert donné à l'innovation. La démarche ne ferme la porte à aucune solution constructive. Bien au contraire, elle invite les entreprises du bâtiment à s'associer pour inventer de nouvelles solutions pertinentes. Aucun matériau, par exemple, n'est interdit, même si c'est souvent le bois qui est retenu. L'innovation porte sur les matériaux, les modes constructifs, les modes de pose, les équipements techniques, les méthodes... Là encore, l'expert en maîtrise des risques liés à l'innovation aura un rôle certain à jouer. Par ailleurs, Energy Sprong est ouvert à tous et pas uniquement aux grands majors qui, c'est vrai, disposent des compétences multi-corps d'état qui leurs permettent de répondre au cahier des charges de la démarche. Energy Sprong incite cependant à inclure les PME et les TPE dans les projets développés.

Je souhaiterais conclure en rappelant l'existence de deux grands enjeux. Le premier porte sur le nécessaire besoin en formation des entreprises. On parle ici d'approches nouvelles, de déplacement d'une partie de l'activité du chantier vers l'usine. Pour que le hors-site se développe bien, il va falloir former les professionnels. Et cela, des pionniers comme Pascal Chazal l'ont bien compris en développant des initiatives telles que le Campus hors-site par exemple. SOCOTEC s'inscrit pleinement dans cette démarche essentielle à la réussite de la mutation en cours. Le deuxième porte sur le cadre contractuel et juridique qu'il va falloir inventer pour accompagner et renforcer la capacité des entreprises à s'associer entre elles et à partager les risques liés au fait de construire (et parfois de suivre et maintenir) ensemble. Dans le cadre d'Energy Sprong, la réflexion porte depuis 2019 sur la gestion des risques au niveau dommage ouvrage ainsi que des risques futurs (dans le cadre de Marché Globaux de Performance sur 30 ans comme Energie Sprong par exemple).

## Le hors-site doit-il être considéré comme une innovation majeure pour le bâtiment ?

### Le point de vue de Pierre Costi

Expert SOCOTEC  
Directeur Commercial Grands Comptes  
SOCOTEC Construction et Immobilier



Quand vous allez sur des sujets innovants, le bureau de contrôle donne le « LA » de la réglementation, de ce qui est possible de faire ou non. Il doit comprendre ce qu'un concepteur est en droit de proposer à son maître d'ouvrage. Il doit être capable de dire combien coûtera l'innovation, d'évaluer ses retombées. Ce sont pour ces raisons que SOCOTEC s'est intéressé très tôt au hors-site. L'évolution réglementaire récente (RE2020, label E+C-, etc.) justifie a posteriori ce choix. Parce qu'il banalise l'acte de construire et l'industrialise, le hors-site est une innovation majeure susceptible de transformer en profondeur la filière du bâtiment. Si l'innovation ou la réglementation (traduite par SOCOTEC) empêche le promoteur d'avancer, alors ce dernier ne sera pas satisfait et ne s'engagera pas dans la voie de ladite innovation. Si construire en bois revient 15 % à 20 % plus cher que les modes constructifs classiques, alors beaucoup de promoteurs se demandent à quoi bon changer. On le voit, chaque innovation amène son lot d'interrogations légitimes, et le hors-site n'y échappe pas : comment on fait ? A quelle vitesse ? Est-ce que la filière est structurée ? Comment vont évoluer les coûts ? Pourra-t-on toujours sortir des projets ?

Le hors-site est une innovation qui consiste à préfabriquer des modules en bois ou mixte (bois-métal, bois-béton, etc.). Il permet de construire plus vite, de qualité équivalente aux modes constructifs classiques, tout en réduisant l'empreinte carbone des ouvrages. C'est un mode de conception tout-à-fait différent qui permet de soigner l'acoustique, les surcharges techniques et structurelles, de préfabriquer des modules étanches... Encore faut-il que la filière puisse suivre. Le projet JO de 2024 qui requiert quasiment 200 000 m<sup>2</sup> à lui tout seul est vertueux en soi car il pousse la construction et sature déjà la filière sèche. Il va falloir que tout le monde s'y mette, avec une question simple : comment s'y prend-on pour structurer la filière bois, tout en favorisant l'innovation, tout en sortant des m<sup>2</sup> moins chers ? On se situe à la croisée des chemins. Le hors-site est un des éléments de la réponse. Mais il représente à peine 5 % de la construction en France et il est appelé à atteindre les 10 % d'ici quatre ans. Donc, le développement du hors-site nécessite un accompagnement. Toute chose égale par ailleurs, c'est un peu comme la filière électrique pour l'automobile. C'est aussi simple que cela. Beaucoup d'acteurs

sont réticents à s’y engager, mais malgré cela, l’électrique gonfle énormément. Renault, Peugeot ont déjà quadruplé leurs productions en moins de 10 ans. Tout nouveau véhicule sort avec une version électrique ou hybride. Le hors-site pour le bâtiment se situe à la même étape que l’électrique pour l’automobile. Citons un autre exemple, avec le groupe ACCOR qui a été le premier à développer un système de salle de bain préfabriquée pour ses hôtels IBIS. Vingt ans plus tard, on constate que le coût des chambres a été réduit de près de 15 à 20 %. Tout cela peut paraître ancestral, sauf que cette initiative a été une avancée majeure pour faire des hôtels en série. Désormais, tout le monde a copié ce modèle. Les trois-quarts des salles de bain en France, y compris dans les grands palaces, sont bâtis ainsi.

L’origine du hors-site est probablement à rechercher dans l’industrie du bateau. On y fait tout en atelier et on assemble sur place. Dans les voiliers, les cabines sont bien agencées, bien exécutées avec une finition inégalable. Le hors-site, c’est ça : on va chercher ce qui se fait de mieux dans d’autres industries. Préfabriquer, ça veut dire faire attention à l’agencement, à l’esthétique, à l’acoustique, à la pérennité des matériaux, à leur assemblage et aux ruptures de ponts thermiques, à la livraison, à l’assemblage final des éléments avec test et marche à blanc ! Cet applicatif garantit qu’on livre un produit fini de qualité comparable, voire meilleure que ce qui se fait sur un chantier classique. On comprend que le hors-site est un vrai enjeu pour le bâtiment, avec des bénéfices qui sont incalculables car ils vont bien au-delà du simple aspect financier. C’est pour cette raison que SOCOTEC s’est engagé pleinement dans le hors-site.

L’innovation, ça secoue un peu tout le monde, c’est comme ça. Les métiers doivent s’adapter. Tout ce que vous faisiez en aval, sur le chantier, vous devrez le faire désormais en amont, dans l’atelier. Et plus vous intervenez en amont, plus vous êtes proche du maître d’ouvrage. Les contrôleurs techniques et les CSPS seront sollicités davantage pour l’aide à la décision. Ils toucheront notamment leurs honoraires plus tôt. Le processus sera également simplifié puisque 80-85 % des décisions seront prises en atelier, grâce au bureau de contrôle qui aura validé le concept des modules à assembler. Vient se rajouter le problème du carbone qui est incontournable. La logistique de l’objet construit et assemblé est tout aussi importante que sa conception : comment vous livrez une maison, des bureaux, des façades complètes d’un seul tenant ? Sur cette question essentielle, le bureau de contrôle accompagne. Enfin, lors de l’assemblage sur site, il faut réaliser des tests, des PV à émettre, des vérifications...

Si tout est si parfait avec le hors-site, on peut se demander pourquoi ça n’avance pas plus vite ?

Il y a d’abord les réticences que j’ai évoqué précédemment. Avec le hors-site, vous demandez à la profession de changer son mode de pensée et d’action. Les trois-quarts des professionnels se demandent si ça en vaut vraiment la peine. Les arguments souvent entendus sont : « c’est du bas de gamme », « ça n’a aucun intérêt », « ça n’a pas d’avenir », « il n’y a pas de filière », « il n’y a pas de marché », « il n’y a pas de personnels formés pour ça », « les promoteurs ne prendront pas le risque de construire comme ça »... Assembler, c’est

coordonner des corps d’état qui n’ont pas l’habitude de le faire habituellement. A cet égard, le Lean management, qui permet de faire travailler des sous-traitants ensemble, constitue un outil intéressant pour le hors-site. Le travail de coordination est titanesque et ne doit pas être sous-estimé. En atelier, le Lean management permet de mieux gérer les tâches de chacun, de construire progressivement, en portant un soin à la précision. Dans l’industrie, la succession des tâches et leur coordination a fait ses preuves. Il est grand temps que le bâtiment s’en saisisse.

Il y a ensuite le fait que le bois a une image négative. Ce n’est pas le meilleur des matériaux en termes d’acoustique, de sécurité incendie... Malgré cela le bois a d’indéniables qualités qui vont contribuer à sa généralisation. Je ne parle pas ici des façades bois qui vieillissent mal esthétiquement, traitées ou non. Je parle ici de l’ossature bois, des menuiseries bois, des planchers bois, des poteaux-poutres bois... Vous avez ici un mode constructif qui pâtit d’une mauvaise image alors qu’il a des qualités indéniables, mais qui coûte aujourd’hui 15 à 20 % plus cher que le béton. Le gros enjeu est donc d’arriver à se rapprocher du coût de la construction classique. Il reste là un gros effort à faire. Plus on réalisera en bois, plus on maîtrisera le matériau et plus on réduira les coûts de ce mode constructif.

La réglementation spécifique à ce mode constructif n’existe pas encore. C’est pour cela qu’on cherche à l’accompagner. Mieux vaut être pionnier dans les DTU. C’est comparable avec la question du réemploi. Pourquoi construit-on toujours en neuf, au lieu de déconstruire pour récupérer 20-30 % de la matière. Cela coûterait moins cher a priori de réutiliser les choses et s’inscrirait pleinement dans la transition écologique du bâtiment. Le hors-site pourrait même constituer une matrice intéressante pour le réemploi. Encore faut-il se poser les bonnes questions : quelle est la filière du réemploi ? Combien ça coûte réellement ? Comment assurer un plancher qui a déjà été utilisé et qui n’a pas été refaçoné ? Il reste donc tout à inventer... SOCOTEC est là pour ça.

Beaucoup de professionnels s’inquiètent aussi du fait que le hors-site ne semble pas structuré. Ce constat est juste. Il témoigne simplement du fait que ce mode constructif n’en est qu’à ses débuts. Il reste tout à inventer. On ne prend probablement pas assez en compte les retours d’expérience de l’étranger (Etats-Unis, Royaume-Uni, Pays-Bas, Afrique...)

Enfin, la question de la gestion des risques/assurabilité des ouvrages est une source d’inquiétude. C’est pourtant le moteur de la construction de demain : faut-il construire en hors-site au regard de la dommage-ouvrage et de la décennale ? La France, qui a toujours plus de réglementations qu’ailleurs, pour une fois est en bonne posture pour mettre des garde-fous. Grâce au risque assurantiel, on va construire en bonne et due forme, mieux, plus vite et de façon plus pérenne. Plus tôt on diminuera les risques, moins la dommage ouvrage coûtera cher. Comme je le disais précédemment, le bureau de contrôle a tout son rôle à jouer sur ce point.

Cependant, les acteurs qui construisent en hors-site sont déjà foison. On peut citer les professionnels qui viennent du monde du bois (et même de l’événementiel comme GL Events, capable de faire du temporaire, puis de le démonter et de le vendre à des collectivités locales), les promoteurs filiales de gros constructeurs (Bouygues, Vinci, Eiffage, GCC, Spie Batignolles, etc.), les entreprises générales qui savent construire en format modulaire bois... De nouveaux partenariats vont émerger entre acteurs du hors-site. D’une manière générale, ceux qui se lanceront dans le hors-site vont structurer leurs propres partenariats. On va changer de dimension dans trois ou quatre ans. Ceux qui sont là aujourd’hui ne sont pas forcément ceux qui seront là demain. Chacun aura sa pierre à apporter à l’édifice.

Cet engouement relatif pour le hors-site s’explique par les grands avantages de ce dernier.

Le hors-site porte en lui des potentialités incroyables. On peut tout construire en bois. Citons pour l’exemple de KATERRA, l’un des leaders du hors-site au Royaume-Uni et outre-Atlantique, qui est capable de construire des

tours de 30 étages en 3 mois ! En France, vous avez des assembleurs qui viennent du bois (Maître Cube par exemple) et qui sont concurrents des promoteurs traditionnels. Ils sont capables de faire du clé en main bois modulaire. D’autres acteurs viennent du hors-site à l’américaine. L’enjeu pour les promoteurs, c’est de se transformer pour s’adapter car ils n’auront pas vraiment le choix de toute façon.

Le hors-site est aussi particulièrement bien adapté au BIM. Le premier acte visuel de la préfabrication, c’est la maquette ! Pour assembler il faut une maquette. D’une manière générale, la maquette 3D répond mieux au besoin de la préfabrication qu’à ceux de la construction traditionnelle. SOCOTEC, qui est l’un des bureaux de contrôle les plus avancés en matière de BIM, est bien conscient du rôle que jouera la maquette 3D dans l’avenir.

Le hors-site permet aussi la réversibilité/duplicabilité/adaptabilité. Lorsqu’il y a eu la pandémie en 2020-2021, le gouvernement a mis en place l’hôpital modulaire de Mulhouse. La profession du hors-site s’est mobilisée pour montrer qu’elle était capable de construire des hôpitaux en bois en 3 mois (conception, réalisation, pose). Des modules ont été posés à proximité de l’hôpital permettant d’augmenter les capacités pour la réanimation, et même pour l’accueil et l’hébergement des accompagnants des personnes malades. L’intérêt de ces structures, c’est précisément d’être réversibles, duplicables et applicables à tout site d’accueil. Et lorsque les modules ne sont plus adaptés aux besoins locaux, ils peuvent être déplacés dans une autre région et réadaptés en fonction des besoins. Le coût du ré-usage devient plus attractif que la construction neuve. On a bien là un avantage fort du hors-site lié à sa réversibilité/duplicabilité/adaptabilité.

L’autre grand avantage du hors-site, c’est le gain de temps. Si on réduit la durée du chantier de 18 à 10 mois par exemple, on réalise une économie importante en termes d’honoraires, de coûts engagés pour la gestion des risques, etc. Le surcoût du bois peut en partie être compensé par le timing de l’opération, bien qu’il y ait encore des marges de manœuvre de ce côté-là aussi. Ajoutons à cela qu’une durée réduite pour le chantier, c’est autant de nuisances en moins pour les riverains. La peur de tout maire, c’est d’accorder un permis de construire à proximité d’une zone résidentielle et de devoir ensuite gérer les plaintes des habitants. Le hors-site est un mode constructif formidable de ce point de vue.

Progressivement les marchés publics vont faciliter le hors-site avec des niveaux d’exigences E3C2 ou supérieurs. Il n’y aura guère que le bois (avec du photovoltaïque) qui permettra d’y répondre. La réglementation va pousser les constructeurs à venir à ces solutions.

Enfin, il faut aussi parler des matériaux. La mixité des matériaux est certainement la voie qui sera retenue. Je n’imagine pas qu’on puisse construire des parkings en sous-sol en R-2/R-3 autrement qu’en béton. Compte tenu des nappes phréatiques, de la valeur du foncier, les PLU seront constitués pour des années encore avec des parkings. Le vrai enjeu pour le bois se joue à partir du R+4 : stabilité de la structure, acoustique, inertie thermique, risque incendie... A mesure qu’on

sera capable d'apporter des solutions efficaces sur ces points, on montera en hauteur et on sera capable de répondre avec le hors-site à tout type de marchés : tours, IGH, ITGH (immeubles de très grande hauteur), mixtes (hôtels, bureaux, logements dans une même tour) ou non. Les usages vont pousser à la mixité des matériaux dans le mode constructif. Il faut aller dans le sens de l'histoire.



## Glossaire

### **Energy Sprong :**

Démarche de rénovation énergétique qui consiste à préfabriquer des modules (toitures, façades, CVC) en usine pour venir les fixer ensuite sur les constructions existantes.

### **Hors-site :**

Fabrication la plus complète possible de la quasi-totalité des éléments en usine afin de les assembler sur le chantier.

### **Lamellé-collé (ou bois lamellé) :**

Lamelles de bois collées, avec les fibres du matériaux dans le même sens. En charpente, le lamellé est généralement constitué de lamelles d'épicéa, de douglas ou de pin sylvestre d'une épaisseur de 33 mm à 45 mm. La masse volumique du bois lamellé-collé se situe entre 350 et 500 kg/m<sup>3</sup>.

### **Modularisation (ou construction modulaire) :**

Principe de construction qui consiste à préfabriquer en usine les éléments modulaires qu'il conviendra d'assembler sur le chantier.

### **Pré-assemblage :**

Assemblage des différents éléments en usine afin de réduire les déchets sur le chantier et d'optimiser l'utilisation des équipements de construction.

### **Préfabrication :**

Fabrication en série de quelques éléments destinés à être assemblés sur le chantier.

**LE BÂTIMENT RESPONSABLE DE DEMAIN NE SERA PAS SEULEMENT UN BÂTIMENT SOBRE EN ÉNERGIE, MAIS AUSSI BIEN CONNECTÉ À SON TERRITOIRE, SOUCIEUX DE SON EMPREINTE CARBONE ET DE SA FAIBLE UTILISATION DE RESSOURCES PRIMAIRES DANS TOUT SON CYCLE DE VIE, ANTICIPANT SES MUTATIONS POSSIBLES COMME SA DÉCONSTRUCTION, SE PRÉOCCUPANT DE LA SANTÉ ET DU CONFORT DE SES USAGERS, ET ÉCONOMIQUE EN EXPLOITATION**

---

BUILDING TRUST FOR A SAFER & SUSTAINABLE WORLD

---



**SOCOTEC**