

CONSTRUCTION MODULAIRE 3D

# UNE VOIE D'AVENIR

TEXTE : PHILIPPE HEITZ PHOTOS : 2A DESIGN, AQC, ATELIER GOASMAT, COUGNAUD, LOTFI DAKHLI, GREYSTAR HTA DESIGN, NICOLAS GROSOMOND, PPA ARCHITECTURES, MODULEM, OSSABOIS, PHILIPPE RUVAULT

La construction en atelier d'éléments de bâtiment a souffert des contre-références des « préfabriqués » des années soixante. Mais la complexité croissante des bâtiments et des chantiers, avec leur cortège de nuisances et de non-qualités, les contraintes de délais, la demande d'évolutivité voire de relocalisation des bâtiments, stimulent la construction modulaire 3D, qui fait rentrer l'efficacité industrielle dans l'acte de construire.

Photo © Philippe Ruault

Résidence sociale Adoma Toulouse Fronton de 50 logements modulaires : opération en conception-réalisation par PPA Architectures et Pyrénées Charpentes. Le bois CLT est laissé apparent pour souligner la trame.





1 Photo © Greystar HTA Design

Les Trente Glorieuses ont donné à la préfabrication une image de standardisation et de mauvaise qualité, avec entre autres les Chalandonettes. Dans les années 1970-1980, alors que cette voie décriée était massivement abandonnée, de petites entreprises innovaient dans la construction modulaire 3D à structure acier (groupe Cougnaud) ou dans la préfabrication industrielle d'éléments à ossature bois en 2D (Ossabois) ou de sous-ensembles préfabriqués en béton (façades, prédalles, prémurs), développant patiemment de nouveaux savoir-faire qui seraient démultipliés progressivement par la conception numérique puis le BIM.

Fabriquer en atelier des éléments modulaires de bâtiments, les transporter par camion au chantier et les assembler sur site évoque pourtant encore les abris de chantier temporaires. Plus pour longtemps. Car la construction modulaire tridimensionnelle atteint aujourd'hui des performances étonnantes en termes de rapidité et de sécurité de chantier, de créativité, de qualité d'exécution, et de dimensions d'ouvrage. La construction en 2019 à Singapour par Bouygues



1 À Londres, les deux tours de logements Croydon (38 et 44 étages) sont construites en modulaire autour de leur noyau technique béton.



2 Préfabrication d'un module en CLT dans l'atelier de Pyrénées Charpentes.

3 Ligne de préfabrication de module en ossature bois dans une usine Ossabois.

Construction – via sa filiale Dragages Singapour – des plus hautes tours au monde en modules béton, démontre que la voie du modulaire va révolutionner la construction : 40 étages, 140 m de haut, 1 866 modules en béton composent les 505 appartements des deux tours résidentielles de Clement Canopy. Les caissons en béton armé de 23 tonnes, dont les parois mesurent 8 cm d'épaisseur, sont empilés avec une tolérance de 2 mm. Fabriqués dans une usine de Malaisie à une soixantaine de kilomètres de Singapour, ils sont transportés dans une autre usine proche de la ville-État, où la plupart des finitions intérieures et extérieures sont réalisées. Ils sont livrés au chantier intérieurement finis, avec peintures, revêtements de sol, plafonds et équipements techniques.

Explicitement exigée par le gouvernement de Singapour pour réduire les nuisances et la durée des chantiers en pleine ville, la construction hors site est un nouveau modèle qui se répand dans le monde entier (1).

## Associer artisanat et industrie

L'exemple des tours de Clement Canopy comme celui des autres immeubles de grande hauteur réalisés en modulaire 3D en Australie, en Grande-Bretagne ou en Chine, démontre la maturité de cette nouvelle approche de la construction. Ces réalisations



(1) La page d'accueil du site du cabinet de conseil et AMO spécialisé Patch Conseil présente en vidéo des réalisations remarquables de projets hors site : <https://patchconseil.com>.



Photo © PPA Architectures

2



Photo © Lotfi Dakhli

3

pourraient faire penser que la construction modulaire nécessite de grands projets ou de grandes séries pour justifier une préfabrication industrielle. Il n'en est rien. Ces grands arbres cachent une forêt de projets dont la variété montre la pertinence de la préfabrication même pour des projets de taille plus réduite.

La construction modulaire 3D n'est pas l'apanage des majors du BTP, elle est même le plus souvent une évolution d'entreprises artisanales ou de taille intermédiaire. L'expérience de la petite entreprise Modulem (30 collaborateurs, 7 M€ de chiffre d'affaires) en région toulousaine, en témoigne. Son P.-D.G. Cyril Moussard explique son évolution vers le modulaire. « Je suis paysagiste de formation. Dans les années 2000, mon entreprise installait des terrains de sport en gazon synthétique. La demande de compléter la livraison des terrains de foot par des vestiaires sportifs était récurrente, les maîtres d'ouvrage étant en général très demandeurs de simplicité mais déçus par la qualité discutable des offres. Pour concevoir une offre de qualité en bâtiments modulaires, j'ai réuni un collège d'experts pour caractériser les besoins des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre, des bureaux d'études et des bureaux de contrôle. Le cahier des charges ainsi défini a guidé le développement d'un module mixte associant bois, métal et béton et le lancement en 2005 d'une unité de production. À partir des bâtiments sportifs, vestiaires, club-house, notre activité s'est diversifiée pour livrer des bâtiments publics : crèche, école, centre aéré, bureaux, ainsi que des maisons médicales, des laboratoires avec salles blanches, des maisons individuelles, des résidences étudiantes... Je qualifie notre activité "d'industriant". L'organisation du travail dans nos ateliers s'apparente au Lean Manufacturing pour la fluidité de la production, mais ce sont des artisans compagnons du Tour de France qui travaillent à l'abri des intempéries, en sécurité, tous corps d'état ensemble. Ils ne perdent plus de temps en approvisionnements du chantier ou en trajets, ils ont une lecture globale et non fragmentée des projets, avec des réunions techniques internes pour le développement des modules.

» Depuis 2019, je note un changement de mentalité des maîtres d'ouvrage vis-à-vis du modulaire. Il était vécu avant comme une réponse imposée face à des délais de réalisation très courts. Mais aujourd'hui, c'est la qualité qui les motive à renouveler leur demande de modulaire après une première expérience. Pourquoi ? Parce que la construction industrielle permet d'intégrer tous les éléments : plus d'improvisation sur chantier, plus d'adaptations permanentes en réunions de chantier, plus de débordements de planning. Architecte et industriel travaillent en amont au concept de module. Le modèle numérique précise tous les détails. Il n'y a plus de questions au moment de la construction, plus de doutes. Tous les corps d'état travaillent ensemble, en milieu protégé. Le respect du travail de l'autre conduit à un gain de qualité. Nous allons dans le détail avec la maîtrise d'œuvre et tout le monde se fait plaisir au lieu de réinventer le projet sur place en fonction des problématiques. »

### Construire hors site

Depuis des décennies, on assemble sur les chantiers traditionnels, sur site, des éléments préfabriqués hors site en 2D : poutres, poteaux, murs, >>>



4 Photo © Laili Dakhlil

en métal, en bois, en béton, composites. La construction modulaire 3D est la forme la plus aboutie de la construction hors site (off site building), qui délocalise jusqu'à 80 % du chantier vers l'usine de préfabrication. Passer de 2D à 3D permet de produire des volumes porteurs, hors d'eau, hors d'air et clos dès leur assemblage sur site, qui peuvent donc être entièrement finis, jusqu'aux équipements et mobilier !

L'expérience d'un acteur historique de la préfabrication en bois, l'entreprise Ossaboïs, est éclairante sur l'évolution en cours. En 2019, l'entreprise créée dans la Loire il y a 40 ans, comptait 180 collaborateurs répartis dans 4 usines, avec un chiffre d'affaires de 44 M€. Ossaboïs livre entre 1 000 et 1 200 logements par an, avec 1 500 à 2 500 modules par an pour chambres d'étudiants, hôtels, internats. Son directeur général Michel Veillon explique le développement de la 3D. « Pendant 30 ans, Ossaboïs a préfabriqué en 2D des maisons individuelles et des petits collectifs en ossature bois. La limite du 2D est l'exposition aux intempéries et aux autres corps d'état. En 2008, Ossaboïs conçoit un module 3D salle de bains-sanitaires, à ossature métallique, entièrement fini avec plancher bois, placoplâtre, sol souple ou carrelage. Gain de délais et meilleure qualité sont constatés. Les modules sont livrés fermés à clé pour la protection des ouvrages : la règle de la 3D est d'aller jusqu'au bout de la finition. Sur une opération de 30 maisons, on gagne 2 mois par rapport au chantier classique. Et les réserves à la réception disparaissent. Ossaboïs produit maintenant plusieurs milliers de salles de bains modulaires par an. Nous avons relancé la 3D bois en 2012, après une première expérience dans les années quatre-vingt avec l'entreprise Houot qui avait construit les trente premiers hôtels Formule 1. Mais ils



4 **Salle de bains modulaire construite par Ossaboïs.**



5 **Module séjour-cuisine tout équipé construit par Ossaboïs.**

étaient tous identiques, c'était trop figé à l'époque et le modulaire 3D a reculé jusqu'à la progression du numérique. Aujourd'hui, nous pouvons livrer en modulaire 3D à ossature bois ou CLT un hôtel 4 étoiles, une résidence de tourisme de 96 logements avec 304 modules avec salles de bains, cuisines et mobiliers intégrés en usine, une résidence étudiante de 400 logements, un collège pour 750 élèves, une résidence sociale de 250 places... Ossaboïs peut proposer 100 typologies de modules 3D. C'est le numérique qui l'a permis. Le BIM a relancé la construction hors site en bois ou en métal.

» Entre 2014 et 2017, nous avons construit en modulaire 3D six résidences étudiantes suite à un appel d'offres du Cnous. Toutes différentes. On a démontré que sur un même cahier des charges, on était capable de construire en mode industriel répétitif, mais pas standardisé, avec un beau travail architectural. Puis nous avons développé le modulaire 3D pour l'hôtellerie, les internats, les casernes, sur le modèle 1 boîte = 1 chambre. Les 11 000 soldats de l'armée de terre recrutés pour l'opération Sentinelle devaient être logés en urgence. Nous avons construit 40 casernes en solutions modulaires avec notre partenaire Bouygues Construction. Une compagnie est logée dans 150 modules comprenant des bureaux et des chambres de 1, 2 ou 4 personnes composées de modules simples ou assemblés par 2 ou 3. Ces bâtiments à toit plat ont la même trame, mais sont adaptables tant au niveau de l'architecture, de l'implantation, de la toiture, du nombre d'étages, des façades... Une caserne ou une résidence étudiante de 150 modules est construite en 6 à 7 mois. Si les études sont en partie déjà faites, le délai tombe à 3-6 mois. Si la typologie n'a jamais été étudiée, il faut construire un prototype pour valider toutes les finitions avec le maître d'ouvrage et préparer tout le process. » >>>



Photo © Ossabois 5

# LES 12 COMMANDEMENTS DU MODULAIRE 3D

Par son Dispositif REX Bâtiments performants, l'Agence qualité construction (AQC) a collecté les retours d'expérience sur la construction modulaire tridimensionnelle, en collaboration avec Envirobat Occitanie.

L'enquête, publiée en 2018 par l'AQC, « vise à sensibiliser sur les principales difficultés techniques et surtout organisationnelles rencontrées avec ce mode constructif. »

Le rapport téléchargeable sur le site Internet de l'AQC (1) résume 12 recommandations sur les points sensibles :

- préciser dès la programmation le système constructif modulaire retenu ;
- anticiper les délais de validation



technique des solutions non traditionnelles ;

- intégrer dès la conception les tolérances dimensionnelles de fabrication et de montage ;
- prévoir les modalités de transport ;
- anticiper la logistique liée au levage d'objets encombrants ;
- planifier le stockage des modules sur le site ;
- protéger les modules des risques de déformation et de dégradations ;
- protéger les modules des intempéries ;
- prévoir la mise hors d'eau du chantier dès la pose des modules ;
- gérer les interfaces entre les intervenants sur chantier ;
- effectuer au plus tôt les demandes de raccordements aux réseaux de distribution ;
- réaliser une cellule témoin avant la mise en production. ■

(1) Le Rapport REX Bâtiments performants Construction modulaire tridimensionnelle – 12 enseignements à connaître est téléchargeable à l'adresse : <https://qualiteconstruction.com/publication/construction-modulaire-tridimensionnelle-12-enseignements-a-connaître/>



6 Photo © Philippe Ruault



7 Photo © Philippe Ruault



8 Photo © Philippe Ruault



9 Photo © Philippe Ruault

## Réduction des délais et des nuisances

Qu'ils soient maîtres d'ouvrage, architectes ou entreprises, tous les acteurs considèrent que le gain de délai est le premier avantage de la construction modulaire 3D. Par exemple, pour la construction en modulaire CLT de 50 logements (1 136 m<sup>2</sup>) de la résidence sociale Toulouse Fronton pour Adoma, il n'a fallu que 5 mois à l'agence PPA et à Pyrénées Charpentes pour livrer le bâtiment, VRD compris (2). Le montage des 50 modules n'aura pris que 10 jours. L'avantage est décisif quand s'imposent une rentrée scolaire, un logement d'urgence, une saison touristique, une création d'activité... « Pour la résidence universitaire Jean Joubert livrée en 2013 à La Rochelle (17), Eiffage Construction a livré les 140 chambres en août avec une commande

### ▲ Résidence Adoma Toulouse Fronton

- 6 Les premiers modules bois posés sur poteaux sont calés en butée sur les cages d'escalier et d'ascenseur.
- 7 Les modules bois arrivent sur le chantier protégés des intempéries.
- 8 L'isolation par l'extérieur est réalisée sur site.
- 9 Couverture EPDM et bardage aluminium.

en février», précise Jacques Bouillot, directeur de la Filière sèche chez Eiffage et par ailleurs à l'origine des salles de bains préfabriquées HVA Concept.

Le gain de délai par la construction hors site tient en partie à la simultanéité des tâches accomplies en parallèle en atelier et sur le chantier : les modules sont fabriqués pendant que le terrassement, les réseaux, les fondations, les structures béton sont préparés. La légèreté des modules en bois, autportants, permet en outre des fondations plus légères, par exemple avec plots ou pieux sur lesquels ils seront simplement posés.

La réduction des délais tient également à l'efficacité industrielle : pour les artisans qui fabriquent les modules en atelier, plus de pertes de temps de travail en trajets et en approvisionnements du chantier. La logistique ne leur incombe plus, ils exercent leur art à plein temps, à l'abri des intempéries et des dangers d'un chantier, avec une organisation industrielle qui coordonne tous les corps d'état.

(2) Voir le témoignage en vidéo de la responsable maîtrise d'ouvrage de Adoma : [www.ppa-a.fr/projet/35/residence-sociale-toulouse](http://www.ppa-a.fr/projet/35/residence-sociale-toulouse).



10

En revanche, en amont du chantier, comme tout doit être défini et figé dans le moindre détail, le temps de conception du bâtiment par les architectes et les bureaux d'études est au moins équivalent à celui d'un chantier traditionnel. « En hors-site, le temps est essentiellement consacré à la conception initiale où l'on doit faire tous les choix et s'assurer de leur cohérence. Passé cette étape cruciale, le suivi de chantier n'occupe plus qu'un temps minimal sur une période bien plus courte », souligne Pascal Chazal, fondateur d'Ossa-bois et maintenant du cabinet de conseil Patch Conseil et du magazine Hors Site [3].

À la livraison, le temps consacré à la réception et à la levée des réserves est drastiquement réduit car les contrôles qualité ont eu lieu à l'usine et une pré-réception est faite en amont sur les premiers modules.

Autres avantages de la délocalisation du chantier hors site : la réduction des nuisances du chantier sur site. Moins de poussières, chantier propre, moins de bruit, moins de circulation de camions et de camionnettes,



**10 Le modulaire a permis à l'agence WRA d'insérer ce logement étudiant dans un foncier très contraint à Villejuif.**

[3] <https://hors-site.com/magazine-hors-site>

[4] Voir le projet Friendly Building sur : <http://wildrabbits.fr/portfolio-item/friendly-building>.

et une durée de chantier réduite au moins de moitié. « L'externalisation du chantier et le levage des modules la nuit permet de désengorger l'hypercentre de grandes villes comme Singapour, Londres, New-York, ou en France Paris, Lyon, Marseille », explique Jacques Bouillot.

### Intelligence collaborative

La construction hors site change radicalement les conditions de travail des artisans. Pour les architectes et bureaux d'études, « elle bouscule un peu notre manière de projeter », explique l'architecte Fabrice Lagarde de l'atelier WRA. Le projet est ficelé dès l'appel d'offres, il y a un gros travail d'ingénierie en amont. Tout est dessiné, les réseaux, les détails d'assemblage. Pour le projet Friendly Building de 4 logements sociaux à Villejuif pour 17 étudiants en colocation solidaire, labellisé Passivhaus, il a fallu aussi anticiper les demandes de raccordement du bâtiment aux réseaux puisque le chantier n'a duré que 6 mois au lieu d'un an en traditionnel » [4]. Le rapprochement dès le début des projets >>>



des entreprises en capacité de fabriquer des modules 3D avec les architectes et les bureaux d'études est impératif. Retenus ensemble par Adoma au concours en conception-réalisation pour la résidence Toulouse Fronton, Sylvain Larrouy, directeur de Pyrénées Charpentes, et Guillaume Pujol, architecte de l'agence PPA, témoignent de leur expérience commune. « Nous avons travaillé main dans la main avec l'architecte, pour adapter l'architecture à nos contraintes et optimiser la conception. Pour nous, le travail de conception n'était pas forcément plus poussé car nous concevons déjà nos modules 2D en 3D. Le changement porte surtout sur l'organisation du travail de fabrication en flux continu, avec l'intégration dans la ligne de production de partenaires pour le second œuvre. Le transport des modules a été fait par nos propres moyens et le levage par un sous-traitant. C'est une expérience qu'on reproduira avec grand plaisir. » Pour l'architecte, « c'est une belle expérience, un travail très intéressant avec l'entreprise. Pas en conception successive, mais bien avec un travail en parallèle. La concertation directement depuis le départ est quasiment indispensable. Je considère que c'est un projet co-conçu, en quelques mois seulement, avec 5 mois de construction. Mais il y a eu des difficultés avec le bureau de contrôle local Veritas, qui considérait au départ que le modulaire 3D n'était pas de la construction ! Les discussions sur les notes de calcul de descente de charges et de contreventement ont abouti grâce aux spécialistes nationaux du modulaire chez Veritas. »

Chez le pionnier français de la construction modulaire à structure métallique, l'entreprise familiale Cougnaud (5), le bureau d'études interne, d'une centaine de collaborateurs, intègre toutes les compétences liées à la conception d'un bâtiment : thermique, structure, pôle APD (Avant-projet détaillé)..., incluant aussi le pôle APS (Avant-projet sommaire) auquel sont rattachés trois architectes. Christophe Cougnaud, directeur général, détaille les relations de l'entreprise avec les maîtres d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre externe. « Pour les petits et moyens projets, nos trois architectes travaillent en amont avec le client. Pour les gros projets, on discute avec la maîtrise d'œuvre extérieure. J'adapte le projet à mon système constructif. Le bureau d'études thermiques demande tel coefficient R ? On propose des modifications qui apportent le même résultat. Par exemple, les dimensions des modules doivent être, pour la longueur, des multiples d'un mètre entre 5 et 13 m, moins de 3,5 m en largeur et moins de 3 m sous plafond, pour des contraintes de transport. » À une autre échelle, l'entreprise Modulem a pris le parti de travailler en développant le module adapté au projet. Cyril Moussard précise : « Le maître d'œuvre nous envoie son projet et nous le traduisons en modules sachant que chaque module peut être différent sur un même projet, et qu'un module chez nous peut aller jusqu'à 4 m de large et 12 m de long pour une hauteur de 4 m. Cette approche change fortement la donne car ça enlève le blocage justifié que peuvent avoir certains maîtres d'œuvre qui ont le sentiment de perdre leur créativité en passant par la construction modulaire. »



11 Photo © Constructeur Modulem

**“La grande diversité des bâtiments réalisés tout ou partie en modulaire 3D architecturé montre que, grâce au BIM, la contrainte d'une trame répétitive, voire d'un module standardisé comme un conteneur maritime, n'empêche pas la créativité architecturale”**



**11 Le modulaire architecturé de la crèche de Morlaàs (64) montre que le modulaire ne bride pas la créativité de la maîtrise d'œuvre.**

### Les contraintes du modulaire 3D

Sylvain Fourel, P.-D.G. de la petite entreprise héraultaise SELVEA, fabricant de bâtiments modulaires en ossature bois, pointe la principale contrainte des modules préfabriqués : « Il faut passer sous les ponts, ce qui limite la hauteur sous plafond à 3 mètres. Le modulaire 3D n'est donc pas adapté à tout. Et comme on empile des boîtes, plancher sur plancher, on perd de la hauteur à chaque niveau. On peut ainsi perdre un étage en fonction de la hauteur admise par le PLU. En revanche, en ouvrant les modules sur le long pan, il est possible de faire des volumes largement ouverts sans poteau pour des salles de classe, un restaurant. L'accès au site et le levage ne sont pas souvent contraignants. » Michel Veillon reste pragmatique. « Ossabois doit livrer pour la rentrée 2020 un collège pour 750 élèves à Saint-Priest dans le Rhône. Nous ne faisons pas du modulaire 3D une doctrine absolue : les classes

(5) Chiffres 2019 de l'entreprise Cougnaud : 1 500 collaborateurs, 304 M€ de chiffre d'affaires en vente ou location, 1 000 m<sup>2</sup> de bâtiments produits chaque jour, 60 000 modules dans le parc locatif, 5 sites industriels. Site : [www.cougnaud-construction.com](http://www.cougnaud-construction.com).



Photo © AOC

12



Photo © 2A Design

13

seront en modulaire 3D, le hall en 2D et le gymnase en poteau-poutre. Il faut employer le bon mode constructif au bon endroit, et le bon matériau au bon endroit. Par exemple, sur certaines opérations, les modules posés au sud seront dotés d'un plancher béton pour apporter de l'inertie thermique. Le double-mur prend un peu plus de place à chaque trame, d'où une perte de surface habitable. En milieu urbain dense, cela peut être une contrainte importante.»

La grande diversité des bâtiments réalisés tout ou partie en modulaire 3D architecturé montre que, grâce au BIM, la contrainte d'une trame répétitive, voire d'un module standardisé comme un conteneur maritime, n'empêche pas la créativité architecturale. Si le coût du modulaire 3D est comparable à la construction *in situ* dans les mêmes matériaux, notamment pour les petits projets, les projets générant



**12** Chargement d'un module en sortie d'atelier. Les parois « ouvertes » sont bâchées pour éviter les déformations lors des opérations de levage et pendant le transport.

**13** Les conteneurs maritimes retrouvent une nouvelle vie dans cette résidence sociale en modulaire architecturé par B3 Ecodesign.

de grandes séries réalisent des économies importantes. Chez Eiffage Construction, Jacques Bouillot défend cette logique économique industrielle. «Le problème de fond de la construction modulaire 3D est l'absence de standardisation qui pourrait permettre de se rapprocher de l'industrie. Eiffage Construction a fait l'acquisition de l'entreprise B3 EcoDesign, spécialisée dans la construction modulaire à partir de conteneurs maritimes dits "de dernier voyage". Personne ne remet en cause les dimensions d'un conteneur 40 pieds, il n'y a pas d'études de redimensionnement. La standardisation de la structure impacte mécaniquement le coût, c'est un élément déterminant de notre choix. S'il y avait une normalisation nationale du volume des chambres, quel que soit le matériau, on pourrait améliorer la courbe d'expérience avec la récurrence des compétences et les réflexes acquis.»





14 Photo © Atelier Goasmat

## Évolutivité, réemploi

La capacité d'un bâtiment à changer d'usage au cours de sa vie est un vrai atout pour le maître d'ouvrage et l'exploitant, comme pour l'environnement. En construction traditionnelle sur site, des solutions constructives existent, qui utilisent notamment du modulaire 2D démontables pour les enveloppes rapportées sur un squelette poteaux-dalles (6). Avec le modulaire 3D, ce sont tous les modules qui peuvent être désassemblés avec soin pour un démontage intégral du bâtiment et ces modules peuvent refaire le même bâtiment ailleurs ou constituer d'autres ouvrages avec un autre agencement. Avec le modulaire 3D, le bâtiment devient non seulement évolutif, il devient nomade! «*Au prix de la construction bois traditionnelle, le modulaire apporte en plus l'avantage d'être démontable et réutilisable en l'état*», souligne Sylvain Fourel. Il cite le cas d'un maître d'ouvrage public qui voulait «*un investissement durable, c'est-à-dire un bâtiment modulaire durable qui ferait d'abord 16 classes dans ce quartier, mais qu'on pourrait déménager quelques années plus tard selon l'évolution des besoins des différents quartiers de la commune.*» Pour être démontables, en structure bois les modules sont solidarités et contreventés par des pièces métalliques boulonnées. En structure acier, selon les contraintes sismiques du lieu, les modules sont boulonnés ou soudés entre eux.

## Économie circulaire

La construction modulaire 3D est-elle plus vertueuse pour l'environnement que la construction sur site? En termes de transports des personnes comme des matériaux, il n'y a pas d'avantage évident à les déplacer



14 **Groupe scolaire Nelson Mandela à Juvignac (34).** Le modulaire 3D permet aussi de faire des espaces ouverts.



15 et 16 **Le nouveau siège de l'entreprise Cougnaud, pionnière du modulaire 3D à ossature acier.**

(6) Voir l'article «*Urbanisme : bâtir évolutif*» paru dans le n° 170 de Qualité Construction (septembre-octobre 2018, pages 10 à 17).



vers un chantier ou vers une usine. Point d'attention : la préfabrication favorise l'externalisation d'une charge de travail de chantier d'un pays à bas coût et moindre traitement social. Le bilan transport ne sera évidemment pas le même si les modules changent de pays voire de continent pour arriver au chantier.



Photo © Cougnaud 15



Photo © Cougnaud 16

En termes de stockage de carbone et d'énergie grise, le bois et les matériaux biosourcés ne changent pas fondamentalement leur bon bilan en étant utilisés en modules 3D. Mettant la barre haute avec son nouveau siège Cougnaud Campus, l'entreprise Cougnaud utilise une forte proportion d'acier recyclé dans les structures de ses modules, et remplace désormais

(7) Voir [www.ciments-hoffman.fr](http://www.ciments-hoffman.fr).

pour ses planchers béton le béton classique avec ciment Portland par du béton décarboné Hoffman (7). En revanche, en matière de déchets, la construction en usine permet d'une part d'en réduire le volume en optimisant dès la conception l'utilisation des matériaux (Lean Manufacturing peut se traduire par production sans gaspillage) et en envoyant directement les déchets de fabrication dans les filières de recyclage. Pionnier du modulaire métallique, l'entreprise vendéenne Cougnaud travaille avec des entreprises spécialisées pour organiser une filière d'économie circulaire des modules en fin de vie (transfert, déconstruction ou réhabilitation). Mais le grand avantage du modulaire 3D pour l'environnement est bien le réemploi. Soit en redonnant un nouvel usage à des conteneurs maritimes usagés, soit par le démontage/remontage des modules 3D pour refaire de nouveaux bâtiments. Un modèle d'économie circulaire, qui pose néanmoins le problème de la certification des ouvrages changeant d'usage.

### Des freins en France

Avec toutes ses qualités, pourquoi la construction modulaire 3D n'est-elle pas plus développée sur le sol français? On aura compris que, à cause des transports routiers, le système constructif repose sur des briques de base limitées à 3 m de hauteur sous plafond, mais que les modules 3D sont couramment associés à d'autres techniques pour certaines parties d'ouvrage. Par exemple, les cages d'escalier et d'ascenseur en béton servent fréquemment de noyau dur contreventant pour les immeubles, permettant d'ériger en modulaire d'impressionnantes tours de 40 étages. Les freins ne sont pas >>>



techniques. Économiques? Spécialiste du modulaire bois, Michel Veillon estime que, «à cahier des charges identiques, jusqu'à R+4 le modulaire à ossature bois n'est pas plus cher que le béton. Au-delà, le CLT et le lamellé-collé reviennent plus cher que le béton, mais le modulaire réduit les délais et le coût de maîtrise d'œuvre, et permet une exploitation plus rapide. Le modulaire est surtout freiné par la méconnaissance de ses possibilités. Il y a un peu de maturité à acquérir.»

Pascal Chazal a découvert la préfabrication bois en Finlande il y a 40 ans, ce qui l'a conduit à fonder Ossabois. Il crée en 2017 le magazine *Hors Site* et le cabinet Patch Conseil et embarque avec lui pour un voyage d'étude en Angleterre des chefs d'entreprise à la découverte du «off site building». Pionnier très expérimenté, il s'appuie sur l'expérience du hors site des Anglo-Saxons pour poser un regard lucide sur la construction. «Le bâtiment fait l'inverse des autres produits industriels : sa qualité baisse et son coût augmente. Alors que la productivité d'un salarié de l'industrie est de 85 %, sur les chantiers elle tombe à 20 % à cause des pertes de temps en déplacements, des mauvaises conditions de travail, du manque de qualification. Les bâtiments deviennent de plus en plus complexes, alors que la main-d'œuvre qualifiée part en retraite. Aujourd'hui, la chaîne de production du bâtiment pense chantier, dans une démarche séquentielle qui part du foncier pour aboutir à un objectif imposé de 1200 €/m<sup>2</sup>. Or le coût de la construction a chuté de 25 % en 2008, il n'est jamais remonté. Les entreprises sont sous pression et n'ont que de faibles marges pour investir et faire de la R&D. Le cloisonnement des corps de métiers, organisé par la loi Mop qui saucissonnait les marchés en lots séparés, favorise la non-qualité. Les statistiques de la SMABTP le montrent en constatant une augmentation de 70 % de la sinistralité entre 2008 et 2016. La vision segmentée, en silo, est le plus gros frein de la construction hors site. Les acteurs ne pensent pas à une organisation collaborative qui intègre les industriels, c'est un frein culturel, organisationnel.»

Pour Jacques Bouillot, «le sujet de fond reste le modèle économique. Pour que les investissements soient amortis et les équipes à leur optimal, il faut garantir à l'usine



**17** Groupe scolaire Nelson Mandela à Juvignac (34) (architecte Atelier Goasmat – Constructeur modulaire SELVEA).

**“Le bâtiment fait l'inverse des autres produits industriels : sa qualité baisse et son coût augmente. [...] Les bâtiments deviennent de plus en plus complexes, alors que la main-d'œuvre qualifiée part en retraite”**

une récurrence de volume vendu à des prix raisonnables. Les reports de chantier sont notre lot quotidien, ils ne facilitent pas cette récurrence et fragilisent la 3D. Force est de constater que les modèles tournent encore très mal dans le monde. Il faut rester prudent mais néanmoins optimiste : les mouvements de concentration en maîtrise d'ouvrage et la dynamique du carbone peuvent rebattre les cartes.»

### La construction hors site, voie d'avenir

Comme d'autres acteurs de la construction, Pascal Chazal voit la construction hors site comme une voie d'avenir. «Le off site building anglo-saxon n'est pas qu'une technique différente, c'est un écosystème avec une nouvelle approche. Ses perspectives sont immenses, avec la prise de conscience généralisée de l'impact important de la construction sur l'environnement et sur les ressources de la planète. L'évolution des usages est tellement rapide qu'elle entraîne l'obsolescence à court terme : il faut penser mobile, économie circulaire, assemblage-désassemblage. Il y a souvent un débat avec le modulaire sur le geste architectural. Je dis aux architectes qu'ils ont un rôle immense pour l'avenir que nous préparons à nos enfants sur cette planète. L'immobilier a un impact environnemental et social très fort, nous ne devons pas porter aux nues les façades au détriment de l'usage et de l'impact environnemental et social du bâtiment ! Concevoir efficacement nécessite la connaissance des outils de production. La conception pour la préfabrication, le DfMA [Designing for manufacture and assembly], est la clé de la réussite industrielle. On ressent une prise de conscience très rapide. Par exemple, le bureau de contrôle BTP Consultants crée un département hors site pour former ses contrôleurs à intervenir beaucoup plus en amont des projets. Comme en France on manque d'entreprises, d'architectes, de bureaux d'études formés, je suis en train de créer le "Campus Hors Site". Avec un accord conclu avec l'Off Site School Management, nous amenons en France leur plateforme web, pour faire de la formation continue et de la formation initiale. Un projet passionnant, qui devrait être opérationnel fin 2020.» ■