

MAÎTRISE D'OUVRAGE,
AMÉNAGEMENT ET URBANISME

Hors site : maturité et
dynamiques en matière
de techniques de
construction

N°

153

REMERCIEMENTS

Association Régionale Auvergne-Rhône-Alpes : Guillaume Aubrit, chargé de mission
Association Régionale Champagne Ardennes : Quentin Godderidge, chargé de mission
Association territoriale des organismes Hlm d'Alsace : Guillaume Lutz, chargé de mission
Association Régionale Bretagne : Pauline Urien, directrice ; Alice Martin, chargée de mission
Batigère Habitats Solidaires : Benoit Narcy, directeur des opérations immobilières
Est Métropole Habitat : Paul Sachot, chargé de mission Expérimentation et Financement
Immobilière 3F : Pierre Etchegoyhen, responsable de projets
Groupe Eiffage : Jacques Bouillot, directeur développement hors site
Léon Grosse : Marine May, directrice du pôle Façade
Techniwood : Dominique Pelissier, fondateur de Techniwood
SNERTC : Alexis Joly, représentant de SNERTC
Rector Lesage : Mickael Lecomte, chargé d'affaires et de prescriptions
Avelis Group : Jean-Jacques Korosec et Philippe Marras, directeur Développement et président fondateur Groupe AVELIS
Arcelor Mittal : Vincent Birarda, chef de marché planchers & constructions mixtes
Sybois (groupe Millet) : Olivier Magne, chargé de développement commercial
Synerpod : Sébastien Fournier, cofondateur de Synerpod
Géraldine Bouchet-Blancou, Chercheuse - rénovation et surélévation hors site



PUBLICATION DE L'UNION SOCIALE POUR L'HABITAT

Pilotage

Ivan Freulet, responsable du Département des Risques et Politiques techniques, Direction de la Maîtrise d'ouvrage et des Politiques patrimoniales
Paul Saraïs, chargé du pôle financement, stratégies et innovation, Responsable du département architecture, qualité d'usage & biodiversité, Direction de la Maîtrise d'ouvrage et des Politiques patrimoniales
Benoît Gunslay, conseiller juridique - Marchés, Commande publique, Construction, Urbanisme, Direction juridique et fiscale, l'Union sociale pour l'habitat.

Réalisation

François-Gabriel Perraudin, BIMfox

Design : Agence Luciole - Réalisation : 62 Avenue, Paris

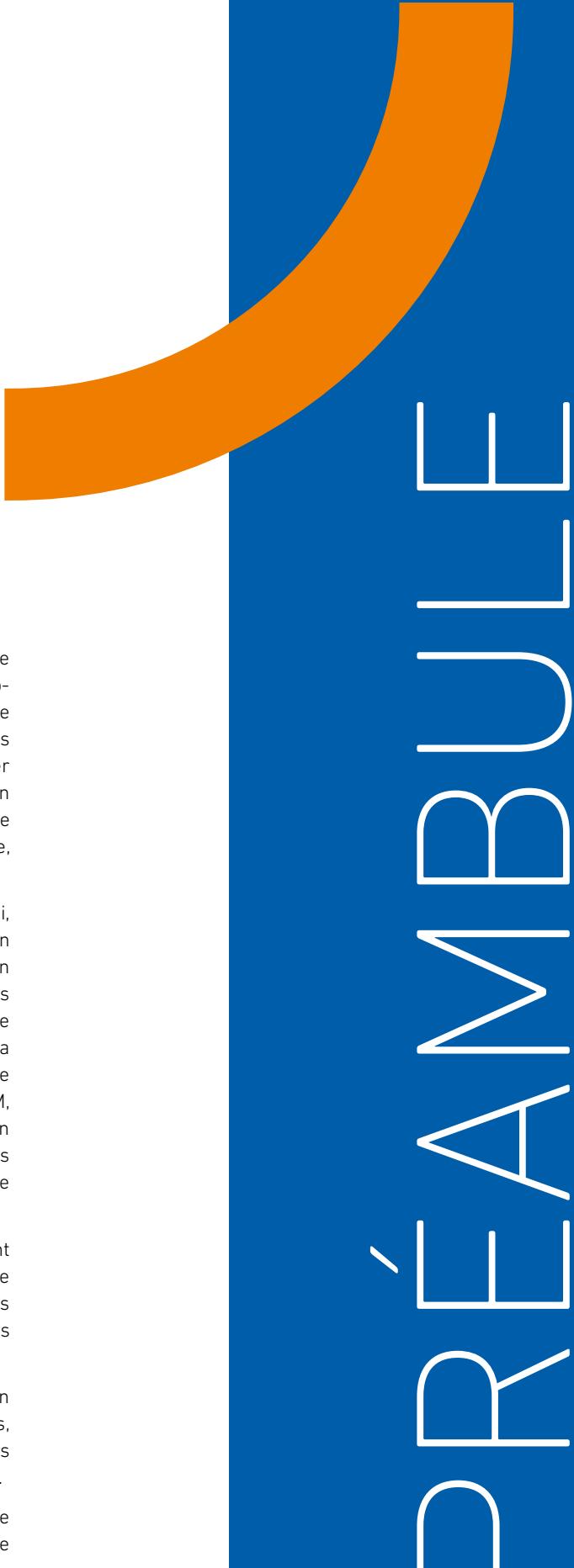
Impression : DEJALINK - Stains - juillet 2025

Reproduction interdite - Dépôt légal : juillet 2025, ISSN 2426-1629

Collection Cahiers de l'Union sociale pour l'habitat



INTRODUCTION	04	PARTIE 4	50
PARTIE 1	06	Pilotage opérationnel	
Introduction à la construction hors site		1. Étude de faisabilité hors site	51
1. Qu'est-ce que la construction hors site ?	07	2. L'aspect critique de la phase de diagnostic pour la construction et la rénovation	55
2. Du concept à la réalité	09	3. Phase conception	56
3. Le projet de construction - rénovation hors site	16	4. La fabrication	59
		5. L'assemblage et le chantier	62
PARTIE 2	22	En synthèse	64
L'approche hors site et la construction en France		CONCLUSION	65
1. Les grands changements de paradigme	24	ANNEXES	66
2. Les conséquences sur le déroulé du projet	26	1. Exemples d'outils opérationnels d'accompagnement au projet	67
3. Les conséquences sur le cadre assurantiel	28	2. Restitution des interviews	78
4. Le cadre actuel de consultation d'entreprises	30	3. Glossaire	82
5. Les conséquences sur le système existant	32	4. Table des illustrations	83
PARTIE 3	33		
Guide de recommandations pour le cadre opérationnel			
1. La composition de l'équipe opérationnelle, une étape stratégique	34		
2. Constitution de l'équipe opérationnelle	35		
3. La gestion financière du projet	38		
4. La contractualisation	40		
5. Phase réalisation	47		
En conclusion	48		



REMERCIEMENTS

La parution de ce Cahier *Repères* a été rendue possible grâce à la mobilisation d'un écosystème engagé, moteur du développement de l'approche hors site en France. Ce Cahier présente une synthèse d'expériences issues du terrain, enrichie par les contributions de nombreux acteurs ayant accepté de partager leurs savoirs, leurs succès et leurs échecs. Ce vécu partagé en toute transparence constitue un levier essentiel pour construire collectivement une approche hors site à la fois qualitative, durable et adaptée aux enjeux de notre société.

Nous remercions particulièrement la Filière Hors Site France qui, à travers l'engagement de ses représentants, Céline Beaujolin et Stéphan de Faye, joue un rôle moteur dans la mobilisation de la filière du bâtiment et dans le développement de solutions innovantes ; Jacques Bouillot, dont l'exigence et l'esprit critique ont permis d'affiner nos réflexions ; Guillaume Hanoun, qui a apporté sa vision de la recherche et de la mise en œuvre de démarches architecturales hors site ; les membres de l'ACIM, qui ont partagé leur expérience éclairante sur la construction modulaire ; ainsi qu'Artbuild, avec qui nous développons des approches innovantes et investissons dans la recherche de nouveaux modes de construire.

Nous remercions également les intervenants interviewés, dont l'expertise et les savoirs ont contribué à la qualité et à la richesse des contenus présentés dans ce Cahier. Nous nous sommes efforcés de restituer fidèlement les éléments essentiels issus de ces échanges.

Enfin, nous remercions l'ensemble des acteurs de la construction – institutions, industriels, entreprises générales, architectes, bureaux d'études, maîtres d'ouvrage, aménageurs et chercheurs – pour leur mobilisation lors de la réalisation de ce *Repères*.

Leur engagement commun illustre la dynamique collaborative nécessaire à la transformation progressive et structurée de l'industrie du bâtiment.

CONSTRUCTION HORS SITE : vers une transformation de l'industrie de la construction ?

La construction hors site suscite un intérêt croissant, tant en France qu'à l'international. Ses défenseurs y voient une solution globale aux défis majeurs du secteur, qu'il s'agisse de l'amélioration de la productivité, de la réduction des délais ou de la réponse à la crise du logement. Ce mode de construction, qui repousse les frontières des méthodes traditionnelles, commence à s'imposer comme un modèle prometteur.

En France, le concept a gagné en visibilité, porté par des pionniers tels que le Groupe Hors Site, des maîtres d'ouvrage innovants, ainsi que des responsables politiques de premier plan. Malgré cette attention croissante, ce n'est que récemment que la construction hors site a franchi un cap décisif, s'ancrant dans des initiatives concrètes et des cadres institutionnels. Elle est devenue un sujet central de normalisation, avec la constitution d'une commission française dédiée et la participation à la rédaction de standards internationaux au sein de l'organisme ISO (TC59/SC19). De plus, l'ADEME a lancé un Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI) avec son projet CRHOS, tandis qu'une dizaine de maîtres d'ouvrage publics ont signé une «Charte pour le développement de la construction hors site». La création de l'association «Filière Hors Site France» témoigne également de la structuration d'une véritable filière dédiée à cette nouvelle approche.

Face à cette dynamique, plusieurs questions se posent : quel est le véritable potentiel de la construction hors site ? Peut-elle réellement répondre aux grands enjeux du secteur du bâtiment au XXI^e siècle ? Quelles en sont les limites ? Comment la construction hors site peut-elle se développer en tenant compte des spécificités de la maîtrise d'ouvrage Hlm ?

Ce cahier de recommandations a pour objectif de présenter les grands principes de la construction hors site, de faire un état des lieux des initiatives en cours et de leurs résultats, et d'analyser les transformations que cette méthode induit à chaque étape du projet, du montage à la réception. Il vise à fournir aux maîtres d'ouvrage Hlm des outils clairs et opérationnels pour faciliter leur transition vers ce nouveau mode de construction. •

CONSTRUCTION

TYPOLOGIES DE PROJETS

La construction hors site s'applique aussi bien aux projets de construction neuve qu'à la rénovation, voire à des projets combinant les deux, comme les rénovations avec extensions. Chacune de ces typologies présente des enjeux spécifiques :

1. Construction neuve

La construction hors site permet de réduire considérablement la durée des chantiers, ce qui se traduit par des gains de temps et de productivité tout au long de la chaîne de valeur. Cette approche est particulièrement bénéfique dans les zones sensibles, telles que les environnements hospitaliers ou les quartiers densément peuplés, en minimisant les nuisances.

Pour les projets neufs, la mise en œuvre de la construction hors site est relativement aisée, nécessitant principalement une implication précoce des fabricants et une équipe de maîtrise d'œuvre expérimentée.

2. Rénovation

En rénovation, la construction hors site réduit l'impact des travaux sur le patrimoine, qu'il soit occupé ou non. Lorsque les bâtiments sont inoccupés, le gain de temps et la fiabilisation des délais facilitent une remise en exploitation rapide. Dans le cas des bâtiments occupés, l'utilisation de modules préfabriqués permet de réduire considérablement les interventions sur site, limitant les nuisances pour les occupants.

Toutefois, il est essentiel d'évaluer la compatibilité de la structure existante avec une approche hors site avant de s'engager dans cette voie.

3. Mixte

Cette approche combine la rénovation d'un bâtiment avec son extension - verticale (surélévation) ou horizontale - et / ou sa transformation. Elle peut offrir, selon le programme, des opportunités d'optimisation des coûts grâce à l'ajout de surfaces habitables et l'amélioration du bilan économique de l'opération. De plus, cette méthode permet de répondre à la demande accrue en logements par la densification, notamment dans les zones urbaines denses.

Cette typologie de projet est néanmoins la plus complexe à mettre en œuvre, car elle combine la complexité de la rénovation avec celle de l'extension (mise aux normes, reprise des charges, etc.).

PRÉSENTATION DES ENJEUX DU CAHIER REPÈRES

L'objectif de ce cahier est de fournir aux lecteurs des outils d'analyse et des modèles de développement pratiques pour appréhender sereinement la construction et la rénovation hors site en France. L'étude est structurée en quatre parties distinctes mais complémentaires, afin de couvrir l'ensemble des aspects de cette approche.

Chaque partie peut être lue indépendamment, mais pour une compréhension approfondie des enjeux et des mécanismes de la construction hors site, il est recommandé de lire l'intégralité du cahier dans l'ordre :

1. Comprendre la construction hors site

Comme toute innovation, la construction hors site est sujette à des interprétations diverses, oscillant entre solution miracle et critiques. Certains la considèrent comme un levier de transformation, tandis que d'autres y voient une forme d'« ubérisation » du secteur. Cette première partie explore le vocabulaire de l'approche hors site et la place dans son contexte, en fournissant toutes les informations nécessaires pour bien comprendre ses tenants et aboutissants.

2. Comprendre la transformation

L'adoption de la construction hors site a des impacts significatifs sur l'ensemble de la chaîne de valeur, depuis la conception initiale du projet jusqu'à sa livraison et son cycle de vie. Cette seconde partie détaillera comment cette approche modifie les processus existants et redéfinit les rôles des différents acteurs.

3. Créer un cadre opérationnel pour une opération hors site

Cette troisième partie propose une adaptation du cadre opérationnel d'une opération hors site, favorable au bon déroulement du projet et à la prise en compte des spécificités développées précédemment. Elle couvre les aspects liés aux compétences, à la finance, à la contractualisation et au suivi opérationnel.

4. Piloter une opération hors site

Cette quatrième et dernière partie, essentielle pour les praticiens, propose des clés pour la gestion opérationnelle des projets de construction hors site. Elle présentera des outils décisionnels concrets pour accompagner les équipes opérationnelles dans la gestion des opérations, avec une approche claire et didactique.



À NOTER

L'objectif de ce *Repères* est de fournir aux bailleurs sociaux des outils de compréhension et d'analyse, ainsi que des modèles de développement pratiques, pour appréhender sereinement la construction et la rénovation hors site en France en tant que maîtrise d'ouvrage publique. •

01 1

LE
PART
PAR

Introduction
à la construction
hors site

Comprendre le contexte de la construction hors site permet de saisir sa raison d'être, son intégration dans l'écosystème français, son niveau de maturité, ainsi que les moteurs de la transition vers une industrie de la construction incorporant significativement le « hors site ».

QU'EST-CE QUE LA CONSTRUCTION HORS SITE ?

Avant de plonger dans les détails de cette méthode innovante, il est essentiel de comprendre ce qu'implique réellement la notion de construction hors site et comment elle s'est développée.

1. La genèse du terme « hors site »

Le terme hors site est importé du Royaume-Uni (« off-site ») et fait son chemin progressivement en France depuis une dizaine d'années. Il s'agit d'un qualificatif de la construction qui signifie littéralement « hors du chantier ». Il ne faut pas confondre ce qualificatif avec la marque déposée « Hors Site ».

Bien que le terme soit fréquemment utilisé en France, il n'existe à ce jour pas de définition officielle pour la construction et la rénovation hors site. Cependant trois définitions notables permettent de définir les contours de la construction hors site :

Pour l'association anglaise BuildOffsite : « terme qui se réfère à la partie du processus de construction réalisée en dehors du site de construction. »

Selon le référentiel « Construction Hors Site » de l'association Filière Hors Site France¹ : « la construction hors site est une méthode de construction qui vise à déplacer une partie de cette construction hors du chantier. »

Selon le groupe de travail de l'AFNOR : « processus de conception et de construction qui se caractérise par l'assemblage de composants hors sites acheminés sur le site de construction. »

Dans cet ouvrage, le terme « hors site » sera considéré comme une approche générale de la construction et de la rénovation, englobant l'ensemble de son impact sur le montage de projet, la conception, le management et la réalisation.

¹ Document consultable sur le site : <https://www.filiere-hors-site.fr/fr/ressources>.

2. Les promesses de la construction hors site

À juste titre ou non, la construction hors site est associée à de nombreux avantages qui constituent autant de réponses aux enjeux modernes de la construction, dont notamment :

- Produire des opérations immobilières dont la qualité architecturale et d'usage est au cœur des ambitions ;
- Économiser les matériaux, l'énergie et les ressources via une conception optimisée et la construction d'éléments en atelier ou en usine ;
- Massifier le recours aux matériaux biosourcés et géosourcés, et limiter la consommation d'eau via le développement des filières sèches et des technologies d'assemblage ;
- Garantir une meilleure performance énergétique des bâtiments grâce à une plus grande précision des constructions (perméabilité à l'air) ;
- Relancer l'attractivité du secteur du bâtiment en renforçant la professionnalisation des filières et en améliorant les conditions de travail (sécurité, pénibilité, évolutivité professionnelle, etc.), tout en construisant une filière locale, d'avenir et d'excellence pour les compagnons et ouvriers ;
- Améliorer l'acceptabilité des chantiers via la limitation des nuisances pour les riverains (rapidité du chantier, limitation des bruits et poussières).

3. Une évolution naturelle de la construction

Avant de traiter des spécificités de l'approche hors site, il est nécessaire de comprendre comment cette approche prend place naturellement dans le processus de construction traditionnel. Contrairement à certaines attentes, l'approche hors site est moins disruptive que prévu et ne représente le plus souvent qu'une part complémentaire – et fréquemment minoritaire – du projet de construction.

L'opération « tout hors site » n'existe pas

Le premier constat est que l'opération 100 % hors site n'existe pas. A minima, un projet est installé sur un terrain spécifique et unique, séparé d'un site de fabrication. Donc, l'ancrage des ouvrages au sol ou à un bâtiment existant est une nécessité quelle que soit la situation.

Les opérations hors site existent depuis des années

Une grande partie des bâtiments construits aujourd'hui ont recours, sans le formaliser, à des techniques de construction hors site dans une proportion plus ou moins grande. Murs ou façades à ossature bois, éléments préfabriqués en béton ou encore fermettes industrielles sont des éléments de construction hors site.

Une part plus ou moins importante de construction hors site

Chaque projet a donc l'opportunité de comporter une part plus ou moins importante de construction hors site, selon les solutions constructives adoptées et mises en œuvre. La composition du projet dépend de nombreux facteurs. Il s'agit de mettre en œuvre la bonne technique au bon endroit en fonction des produits et des fabricants disponibles dans un territoire donné.

Une évolution naturelle de la construction

On observe une évolution naturelle des systèmes constructifs vers une approche hors site par l'intégration de composantes préfabriquées de plus en plus répandue. La transition ne se fera pas par la disruption, mais par l'adoption progressive et raisonnée de systèmes constructifs innovants. La construction hors site trouve un terreau fertile dans les projets avec des ambitions environnementales (décarbonation, utilisation des matériaux biosourcés) ou dans les projets à contrainte spécifique (déplaçable, urgence, etc.).



Figure 1 - Un exemple de transition naturelle vers la fabrication hors site : l'industrie du béton préfabriqué (image GA smart Building) © Emmanuel Grimault

4. Proposition de définition de l'approche hors site

Approche de la construction qui anticipe la mise en œuvre d'éléments de construction réalisés en dehors du chantier tout au long du cycle de vie du bâtiment (montage, management, conception, réalisation, exploitation, réhabilitation/rénovation, déconstruction, démolition).

Cette approche s'appuie sur le développement de nouveaux outils de fabrication du bâtiment répartis sur le territoire, permettant l'assemblage de sous-ensembles et de composantes pour la réalisation d'une partie d'une opération.

Elle peut prendre deux formes :

- **Construction hors site** : approche hors site appliquée à la construction.
- **Rénovation hors site** : approche hors site appliquée à la rénovation.

DU CONCEPT À LA RÉALITÉ

La meilleure façon de comprendre les enjeux et les changements de paradigmes profonds liés à la fabrication en atelier reste de visiter ces lieux de production, d'observer les outils, les méthodes et les processus que permet le déplacement des travaux en milieu protégé. Ce chapitre vise à expliquer les grands concepts liés à ce changement.

1. Du chantier à l'atelier

L'objectif de l'approche hors site est de déplacer une partie des travaux du chantier vers l'atelier, ce qui modifie complètement la relation entre les composants et le bâtiment.



Figure 2 - Fabrication en atelier de modules 3D chez Avelis. © Avelis - Cédric Colin

Déplacer la fabrication

La densification urbaine à l'œuvre depuis des décennies a fragilisé les infrastructures et les réseaux, rapidement impactés par les sites de construction et de rénovation. L'approche hors site, en déplaçant une partie de la mise en œuvre en atelier, réduit l'impact sur le site, tant en intensité de flux de véhicules qu'en durée.

Une étude récente de l'ACIM² montre que, sur un projet modulaire 3D spécifique, il y a une réduction de 77 % du temps de nuisances et une réduction de 70 % du nombre total de transports par rapport à une construction classique. L'impact est tel que certaines villes comme Singapour imposent 80 % de part de construction hors site sur l'ensemble de leurs constructions afin de protéger la ville. Plus proche de nous, le Royaume-Uni mène, depuis la publication du rapport « Modernise or Die »³, une politique active d'encouragement à la construction hors site par la mise en place d'accords-cadres (MMC1), de financements préférentiels (initiative Homes England), des formations spécifiques ou encore des guides publics similaires au présent cahier Repères.

La même logique s'applique à l'ensemble des nuisances sur le site, qu'elles soient sonores, vibratoires ou liées à l'impact sur le flux de circulation, ainsi qu'aux pollutions par la réduction des déchets, des poussières, des coulures et des éclairages nécessaires au chantier.



Figure 3 - Synthèse de l'impact comparatif d'une construction modulaire et de son jumeau « traditionnel » réalisée par BIMfox et l'ACIM (Juin 2024). © ACIM - BIMFox

² ACIM : Syndicat des Acteurs de la construction Industrialisée et Modulaire.

³ Modernise ou péris, un rapport Mark Farmer qui préconise la transformation de l'acte de construire comme principale alternative à la baisse de performance du monde du bâtiment au Royaume-Uni.

Afin d'estimer le gain lié à l'approche hors site sur un projet spécifique, il faut pondérer ces impacts par la part de construction hors site du projet : plus cette part est importante, plus elle permet de réduire les nuisances sur site.

Grâce à cette approche, le chantier, en se réconciliant avec son environnement urbain, devient un événement moins marquant pour la ville et moins perturbant pour son environnement. La construction hors site est particulièrement adaptée aux sites occupés (rénovation, extension), sensibles (hôpitaux, laboratoires, EHPAD, etc.) ou fortement contraints (écoles).

La sédentarisation des métiers du bâtiment

Déplacer la fabrication permet de sédentariser un lieu de production. C'est un changement de paradigme fondamental qui apporte des avantages économiques, qualitatifs et humains. Fabriquer dans un lieu spécialisé et équipé durablement pour la fabrication hors site permet :

- **De déporter les nuisances associées au chantier** dans un emplacement spécialisé, une zone géographique adaptée (zone d'activités), capable de les absorber et de les minimiser.

- **De fiabiliser les délais de fabrication et de chantier**, en :

- s'affranchissant des retards des corps d'états précédents par une décorrélation de la fabrication des composants ;
- protégeant le lieu de fabrication des intempéries et des aléas climatiques responsables d'une grande partie des retards, en fabriquant les composants du bâtiment de manière indépendante des aléas pouvant survenir sur le chantier.

- **De fabriquer avec plus de qualité**, notamment en :

- travaillant en milieu contrôlé et en garantissant les conditions optimales pour la mise en œuvre des produits de construction (humidité, température) ;
- protégeant les matériaux sensibles (notamment biosourcés) des aléas climatiques et des expositions aux risques liés à l'activité pluridisciplinaire du chantier ;
- utilisant des outillages fixes pour garantir la manutention et la mise en œuvre des produits de construction selon les tolérances et les recommandations des fournisseurs.

- **De fabriquer de manière plus respectueuse de l'environnement**, notamment en :

- recourant aux énergies renouvelables générées sur le site (centrales solaires, éoliennes). (Par exemple, Rector Lesage vise à couvrir 90 % de ses besoins énergétiques par cinq centrales photovoltaïques en toiture d'ici 2026) ;
- fabriquant en milieu contrôlé, dans une enveloppe fermée qui réduit les besoins de chauffage du chantier ;
- optimisant l'utilisation des matériaux et des ressources grâce à un processus contrôlé et une gestion centralisée des ressources (optimisation des découpes, par exemple) ;
- mettant en place une culture durable de gestion des déchets et des emballages, grâce à une organisation fixe de l'environnement de production et des processus de contrôle réguliers.

- **D'améliorer de manière significative les conditions de travail des employés des sociétés de construction**, en :

- rendant le lieu de travail fixe - les employés vivent en moyenne à 10 km de l'atelier ;
- mettant à disposition des outils spécialisés qui ne peuvent exister sur le chantier (ponts, par exemple), réduisant considérablement la pénibilité du travail ;
- garantissant une charge de travail stable, indépendante des chantiers et de leur localisation ;
- offrant des perspectives de carrière et une formation continue aux employés grâce à la stabilité de la production.

Ce dernier point est particulièrement important dans un contexte de pénurie de main-d'œuvre critique pour le bâtiment. Il permet d'augmenter l'attractivité de ces métiers, d'offrir un cadre de travail favorable au développement d'un équilibre sain entre travail et famille, et d'ouvrir les métiers à l'ensemble de la population. C'est sûrement cet aspect, essentiel à la transformation de l'industrie, qui permet à HVA Concept (filière salles de bains préfabriquées du groupe Eiffage) d'atteindre un taux de féminisation de 40 % de ses équipes.



Figure 4 - Réduction de la pénibilité par l'accessibilité des éléments : ici un mur à ossature bois bardé à l'horizontale (Savare) © Eiffage - Tambours Battants



Figure 5 - Exemple de fabrication de murs à ossature bois (MOB) en atelier chez Savare. © Eiffage



QUE SIGNIFIE LE MOT « INDUSTRIALISATION » ?

Il ne faut pas se méprendre lorsque l'on parle d'industrialisation. L'industrie du bâtiment possède déjà un outil industriel nomade performant, centré autour des approvisionnements et de la logistique. Cet outil existant est tellement efficace que les industriels de la construction hors site peinent parfois à être compétitifs.

Dans la construction hors site, il s'agit d'une sédentarisatation de l'outil industriel. Cette notion est essentielle car elle change complètement la nature de l'outil de production mis au service de l'industrie du bâtiment. Libéré des contraintes de déplacement, de logistique, de transport et d'installation sur le site, il peut prendre une forme plus spécifique grâce à la spécialisation des industriels.

Cela se traduit, d'un côté, par une baisse de la pénibilité du travail, grâce à la mise à disposition d'outillages spécifiques pour le levage, la manutention et en appliquant un process de prévention face aux risques d'accidents, une accessibilité optimale aux composants pour leur mise en œuvre, ce qui bénéficie au confort des opérateurs ainsi qu'à la qualité de la production ; et, d'un autre côté, par la possibilité de construire différemment, de mettre en œuvre des éléments dont le poids ou les dimensions sont prohibitifs sur le site de manière simple et fiable (panneaux de grès cérame toute hauteur, par exemple). Il s'agit donc d'une opportunité de réduction de la pénibilité du travail comme d'innovation continue dans les procédés de construction.

Chaque outil industriel de la construction hors site est spécialisé et se concentre sur la fabrication d'une gamme de produits spécifiques, ce qui permet la mise en place d'un processus d'amélioration continue. Alors que chaque chantier est un prototype, les cycles de production d'un produit permettent d'intégrer, à chaque itération, les retours d'expérience des cycles précédents. Cette amélioration continue concerne la qualité de la production, l'efficacité des processus et l'amélioration des fonctionnalités. Fabriquer mieux, plus vite et moins cher. Un Plan d'Assurance Qualité (PAQ) est mis en œuvre lors de la fabrication des composants et permet de donner un étalon qualitatif fiable à l'ensemble de la production. •

2. Les notions pièges

Dans le développement de la construction et de la rénovation hors site en France, de nombreux raccourcis ont été adoptés et prêtent à confusion. Ils résultent le plus souvent de l'adoption de termes « industriels » par les métiers de la construction.

Le vocabulaire

Standardisation

Le standard lors de la fabrication en atelier est une constante qui permet de définir les qualités de la production. Par exemple, un mur à ossature bois doit respecter les standards de l'outil de fabrication qui déterminent des dimensions maximales et minimales, son poids maximal ou encore les sections de bois utilisées. L'ensemble de ces standards vise à produire des éléments de qualité constante.

La standardisation signifie donc se conformer aux standards des outils de fabrication, ce qui est bien différent de la répétition d'éléments identiques. Les standards existent pour toutes les techniques de fabrication, y compris la construction en béton : dimensionnements, tailles de banches, volume de camion-toupie, etc., sont autant de standards qui définissent la construction.

Hors site et modulaire

De nombreuses personnes confondent encore l'approche hors site et l'approche modulaire 3D. La construction hors site englobe un éventail de méthodes et d'approches constructives bien plus large que la simple construction modulaire 3D, qui ne représente qu'une part minoritaire de la construction hors site en France.

Usine, atelier et fabrique

Plusieurs termes sont utilisés pour désigner le lieu de fabrication des composants hors site. Ces lieux sont plus ou moins équipés et permettent une approche plus ou moins industrialisée de la construction. Tous les formats existent, depuis l'usine entièrement automatisée (modèle anglais ou des pays nordiques), très peu répandue, jusqu'à l'atelier de fabrication qui reste assez artisanal. Il est préférable de privilégier les termes « atelier » ou « fabrique » afin d'éviter les connotations de fabrication à la chaîne souvent associées au terme « usine ».



Figure 6 - Un atelier de fabrication de Modules sanitaires 3D (GA smart building).
© Grégoire Tachet - Studio Montazami et Tezuka Architects

Le coût de construction

Le coût de construction est une notion essentielle mais souvent trompeuse dans le bâtiment. Son évaluation actuelle est le résultat de dizaines d'années de construction linéaire, selon un modèle universel avec des durées de chantier quelque peu standardisées, allant généralement de 18 à 36 mois.

Or, la construction hors site remet en question un certain nombre de concepts au cœur du modèle économique du projet :

Briser les idées reçues

Il est tentant d'imaginer que la construction hors site peut s'inspirer du modèle de l'industrie automobile, et cette image est devenue pour certains l'objectif à atteindre. Cependant, il est dangereux de comparer un produit universel, qui peut être fabriqué de manière délocalisée et fonctionner dans le monde entier, avec le bâtiment. Les enjeux sont radicalement différents.

Quelle que soit la part de construction hors site du projet, celui-ci est finalement assemblé sur le site et ne peut sortir d'une usine « clé en main ».

C'est pourquoi les notions de standardisation (cette fois-ci dans le sens péjoratif du terme) et d'industrialisation ne sont pas des leviers universels pour le bâtiment, qui est conçu par l'architecte et doit répondre à un site, un contexte historique, politique, urbain et architectural spécifique.

La valeur faciale VS la valeur globale

Le coût de construction brut, tel qu'évalué aujourd'hui, ne représente que la valeur faciale de la construction (coût des travaux). Cette évaluation est valable tant que la valorisation du projet se résume à un coût de construction au mètre carré, indépendamment du facteur temps.

Or, avec l'approche hors site, le facteur temps prend toute son importance :

- d'un point de vue macro, un bâtiment livré 30 % plus vite permet de réaliser trois bâtiments dans le temps de deux, soit un taux de rentabilité interne (TRI) de + 50 % ;
- un chantier plus court représente des frais d'installation allégés, mais également des frais de portage moins importants ;

- une livraison anticipée permet la mise en service et donc la collecte des loyers ou des revenus d'exploitation plus tôt ;
- une meilleure mise en œuvre des composants et une maintenance facilitée grâce à la fabrication en atelier et au gain de qualité ;
- une construction hors site en filière sèche pourra, ultimement, être valorisée en fin de vie par son démontage et sa revalorisation (environ 15 % actuellement pour le rachat de bâtiments modulaires 3D⁴).

Il est important de prendre en compte les apports spécifiques de la construction et de la rénovation hors site (CRHS) lors de la comparaison financière d'opérations.

Comparer ce qui est comparable

Les projets construits hors site sont souvent des projets aux ambitions particulières, qui se veulent démonstrateurs et dont les objectifs ne se limitent pas au mode constructif. Des objectifs de réglementation environnementale (RE) anticipés, des labels biosourcés, l'imposition de structures en bois sont autant de contraintes qui accompagnent souvent la mise en œuvre de procédés hors site. De plus, la construction hors site est particulièrement propice à la mise en œuvre de matériaux « nobles », car ils sont légers, façonnables en atelier et transportables avec une infrastructure classique.

Or, une opération ambitieuse coûte plus cher qu'une opération répondant aux exigences minimales légales, quelle que soit l'approche constructive. C'est pourquoi, en valeur absolue, la construction hors site est souvent considérée comme plus chère que la construction traditionnelle.

Il est essentiel de ne pas confondre prix de construction moyen et prix de construction sur une opération spécifique.

Ce phénomène explique pourquoi les projets EnergieSprong, extrêmement exigeants tant au niveau des performances que de la qualité, sont globalement bien plus chers que les prix moyens du traditionnel. En revanche, sur une opération avec un objectif simple de RE 2020 seuil 2028, les retours sur expérience suggèrent des coûts de construction comparables entre les approches traditionnelles et les approches hors site.

Une approche constructive encore hautement subventionnée

L'approche hors site fait l'objet d'un engouement particulier, et promet une réponse potentielle à des enjeux stratégiques portés par les territoires, la France, l'Europe. Or, comme toute approche sur un marché en croissance, elle nécessite encore des investissements en innovation et en outils de production importants qui se répercutent sur les coûts de fabrication. Bien que cet impact soit fortement limité en construction neuve seuil 2028, il reste sensible en rénovation et sur des seuils moins exigeants.

De nombreuses subventions ou aides financières ont été mises en place pour accompagner la filière dans la transition vers l'approche hors site. Appels à projets (AAP-CRHOS lancé par l'ADEME), démarche EnergieSprong sont les exemples les plus significatifs de ces dispositifs, mais de nombreux dispositifs localisés sont également en cours de développement (régions, territoires, EPCI, etc.).

⁴ Selon l'étude comparative publiée par l'ACIM le 6 juin 2024.



LA CONSTRUCTION HORS SITE EST-ELLE PLUS CHÈRE QUE LA CONSTRUCTION TRADITIONNELLE ?

La question du prix de la construction hors site est une question piège. À l'instar de la construction traditionnelle, la construction hors site est plus ou moins coûteuse en fonction des matériaux, des performances et de la qualité du mode constructif.

Cependant, de par leur nature et leur vocation à répondre à la demande actuelle comme future, les techniques constructives hors site tendent à anticiper les évolutions réglementaires et normatives et à intégrer un niveau de réponse plus important que la construction traditionnelle.

Cet investissement dans la réponse aux besoins futurs de la construction (outil de production), la recherche de la légèreté dans les composants (transport) poussent les solutions hors site à intégrer une part importante de matériaux bas carbone et biosourcés, recyclés, et à proposer des solutions techniques récentes qui bousculent les habitudes centenaires du bâtiment (isolation par l'extérieur filante, isolation dans la masse, etc.).

Il est donc essentiel, lors de la comparaison des prix des approches constructives, de mettre en face des projets équivalents en termes de performances et de caractéristiques.

L'approche hors site ayant tendance à se positionner au-dessus du minimum réglementaire et normatif actuel, il est normal qu'elle soit globalement plus chère sur ce type de projets.

Cependant, dès que les projets exigent un niveau réglementaire plus poussé (seuil 2028 ou 2031 de la RE 2020, ou label biosourcé niveau 2 ou 3), l'écart entre les prix de construction devient de moins en moins important.

Cela détermine un seuil d'exigence de rentabilité de la construction hors site, qui est amené à évoluer rapidement avec le temps et les nouvelles exigences réglementaires. De nombreux experts considèrent qu'un projet construit selon une RE 2020 seuil 2028 avec un label biosourcé est construit à prix équivalent en construction hors site comme en construction traditionnelle, mais le nombre d'opérations réalisé ne permet pas de confirmer cette opinion. •

Cette dynamique naissante reste souvent rattachée à des opportunités concrètes, et nécessite une mobilisation de l'écosystème de la construction sur les bénéfices de l'approche hors site. Un groupement d'aménageurs, de bailleurs sociaux ou de territoires est souvent moteur du développement de nouveaux financements. Il est donc essentiel de mobiliser ses équipes et son réseau pour créer les opportunités de financement de demain.

3. Les leviers opérationnels de la construction / rénovation hors site (CRHS)

Ces interrogations sur le coût du projet, du coût de construction au coût global, s'accompagnent d'une remise en question de la valeur du projet.

La qualité de la construction évolue également, avec une valorisation du chantier et de son insertion dans la ville et dans la vie des citoyens, et une multiplication des labels qualitatifs qui permettent aux concepteurs de dépasser le simple minimum réglementaire (biosourcé, NF Habitat, HQE®, etc.).

C'est dans ce contexte que l'approche hors site offre un ensemble de réponses possibles afin de construire des bâtiments toujours plus vertueux et performants.

Le temps de chantier

Le levier principal de la construction hors site est la réduction du temps de chantier. Cette réduction apporte plusieurs avantages qui participent à la réévaluation du coût de l'opération mais également à celle de la valeur du projet de construction. Les avantages sont les suivants :

- Gains en économie globale (cf. le coût de construction).
- Réduction de l'impact sur la ville et son fonctionnement (infrastructures, circulation, occupation des trottoirs).
- Réduction de la durée des pollutions et des nuisances sur site (poussières, eau, bruit, vibrations).

La réduction du temps de chantier permet également d'optimiser la construction en fonction des plannings électoraux et autres événements cycliques qui influencent le démarrage des opérations, offrant un avantage contextuel certain à l'approche hors site.

Les nuisances

Le déplacement des nuisances en atelier et la création d'assemblages complexes permettent de réduire le temps ainsi que le nombre d'interventions *in situ*. Les nuisances tant physiques (occupation des locaux, stocks, etc.) que sensorielles (bruit, poussière, odeurs, etc.) sont donc en grande partie déplacées en atelier.

L'approche hors site permet également de réduire considérablement l'intensité des nuisances et des pollutions, en réduisant le recours à la filière humide et aux techniques génératrices de vibrations, de poussières et de bruit (marteau-piqueur, scies, etc.).

Cela rend l'approche hors site particulièrement pertinente dans les contextes sensibles où le chantier peut avoir un impact négatif sur la santé, l'activité économique ou la tranquillité des lieux grâce à :

- La réduction de l'impact du chantier sur les milieux sensibles (écoles, hôpitaux, laboratoires, etc.).
- La réduction de l'impact des travaux en milieu occupé (remplacement de façade dans la journée, par exemple).

La fiabilité du chantier

La réalisation des éléments en atelier, en milieu protégé, ainsi que la superposition des tâches (les tâches ne sont plus dépendantes de l'achèvement des tâches précédentes) permettent de fiabiliser le planning et la qualité de la réalisation des ouvrages.

Grâce à l'approche hors site, le déroulement du chantier est moins vulnérable aux aléas climatiques, aux problèmes de gestion de la main-d'œuvre et des ressources humaines, aux problèmes de coordination et de gestion des stocks, du matériel et de la sécurité sur le site.

4. Le paramètre de taille du projet

La taille du projet est déterminante pour l'accès aux fabricants hors site. Il est essentiel de distinguer les très petits projets (1-20 logements), les petits projets (20-50 logements), les projets moyens (50-120 logements), les gros projets (120-200 logements) et les projets de massification (200 logements et plus).

Les très petits projets

De taille très restreinte, il s'agit des projets dont « personne ne veut », en traditionnel comme en construction hors site. Comme on l'entend souvent, le marché de la construction est en forte tension, contraint par une pénurie de main-d'œuvre et un besoin important de logements, il est très difficile de trouver des entreprises capables de répondre aux appels d'offres pour ce type de projet.

La construction hors site apporte ici, dans le neuf, une réponse pertinente par le recours à des produits « catalogues », de fabrication courante pour les industriels et hautement standardisés. Les fabricants de maisons modulaires 3D en sont le parfait exemple et offrent des solutions intéressantes. À cette échelle de projet, il est possible de recourir à toutes les catégories d'entreprises.

Le petit projet

Le petit projet intéresse les fabricants de rayonnement local (petites entreprises) qui vont trouver des opérations adaptées à la taille de leur outil de production et seront capables de répondre en lots séparés. Leurs consultations, comme le pilotage du projet, sont très peu impactées par l'approche hors site, et ils répondent aux appels d'offres au même titre que les entreprises traditionnelles.



COMMENT CITIZENM A FAIT DE LA CONSTRUCTION HORS SITE UN OUTIL STRATÉGIQUE

Connaissez-vous les hôtels CitizenM ?

Il s'agit d'une chaîne récente présente dans le monde entier qui a décidé d'embrasser la construction modulaire et de l'intégrer dans sa stratégie de groupe.

La chambre d'hôtel est particulièrement adaptée à la construction modulaire, qui peut intégrer l'ensemble des prestations de la chambre, depuis l'aspect structural (planchers, murs, plafonds) jusqu'au mobilier. La chambre doit cependant rentrer dans un module et être transportable par bateau et route.

Pour s'accommoder de cette contrainte, la chambre a été repensée comme un objet design à part entière qui compense ses dimensions par une intégration très poussée en termes d'ergonomie et de technologie. Le lit est surdimensionné et fait la largeur de la chambre, et l'ensemble des équipements est commandé à partir d'une tablette afin d'offrir toutes les fonctionnalités d'une chambre dans un espace réduit.

En échange, l'hôtel offre des espaces communs design et généreux, avec des espaces de coworking, de lecture, de loisirs et de vie partagés.

Cette approche permet, sur un même foncier, d'intégrer 50 % de chambres en plus dans un délai de chantier deux fois plus court, ce qui permet en retour d'acheter le foncier à un prix plus élevé que la concurrence.

Une belle démonstration de l'importance de la symbiose entre le mode constructif et la destination des ouvrages. ●

Les moyens projets

Les projets de taille moyenne (50-120 logements) commencent à devenir intéressants pour les entreprises de rayonnement régional. Leur taille présente un potentiel important d'intégration de composants hors site, et le montant de la commande permet d'absorber les coûts de préparation de la production (coût total = coût de fabrication + coût d'étude + coût de paramétrage de l'outil de production).

Les projets doivent cependant être conçus de manière à présenter un véritable potentiel d'industrialisation. Les façades doivent être rationalisées et les points de singularité (uniques, ou non réalisables selon le processus) doivent être évités. L'économie du projet se joue alors sur l'intelligence de la conception pour intégrer les éléments hors site de manière fluide, sans surcoût et en tirant profit de l'outil de production.

Ils peuvent être conduits selon un déroulé de projet classique, ce qui nécessite une adaptation du projet après consultation, mais n'atteignent leur plein potentiel que lors d'un travail collaboratif entre le concepteur et le fabricant dès les phases d'avant-projet (APS – APD).

Enfin, le niveau d'exigence environnementale (seuil de RE et label biosourcé) est déterminant pour la compétitivité de la solution hors site, qui trouvera sa pertinence dans la performance (la RE 2020 seuil 2028 est un bon niveau d'exigence, par exemple).

Les gros projets

Un projet unique de plus de 120 logements (environ) est considéré comme un « gros projet ». Un gros projet trouve sa rentabilité hors site rapidement grâce au volume de commande assuré par l'opération.

Seuls les opérateurs régionaux et nationaux sont capables de répondre à ces projets de manière pertinente, en assurant la capacité de production et les garanties financières suffisantes pour sécuriser la construction. La masse produite sécurise un volume de production suffisant pour que l'industriel occupe son atelier à pleine capacité et stabilise son équilibre financier, ce qui lui permet de réduire sa marge de risque.

Ces projets sont donc les plus sécurisants pour les industriels et permettent de trouver plus facilement l'équilibre économique pour le maître d'ouvrage.

L'approche de massification

De manière générale, plus le projet est de taille importante, plus il est performant économiquement et plus il est facile de trouver des fabricants capables de répondre à la consultation.

Ce constat (influence de la masse sur la sécurisation et la performance économique des projets) pousse les acteurs à recourir à la « massification de la commande ». Cette approche vise à regrouper les projets afin de créer un volume de commande plus important et ainsi de sécuriser les prix comme la capacité de production.

Pour les petits projets, la massification apporte une sécurisation des marchés et la disponibilité d'entreprises capables de répondre. Pour les projets de taille moyenne et grande, la massification vise à optimiser les prix par un effet de volume.

Fig.7 - Taille de projets et de fabricants

ÉCHELLE DE PROJET	TAILLE DU PROJET	FABRICANT LOCAL	FABRICANT RÉGIONAL	FABRICANT NATIONAL	"GIGA FACTORY"
Équipement		Fabrication de manière artisanale en atelier	Fabrication à l'aide d'outils industriels "génériques" (ex: pont de levage)	Fabrication à l'aide d'outils industriels spécialisés (robotisation)	Fabrication automatisée à grande échelle
Adaptabilité architecturale		Haute adaptabilité, création possible de composants uniques	Adaptable, capacité de production d'éléments uniques dans des standards larges	Peu d'adaptabilité, le produit doit répondre à des outils de production spécifiques	Haute standardisation pour entrer dans un process optimisé
Très petit projet	1-20 lgts	Intéressé selon contexte économique	Intéressé si objet catalogue	Pas intéressé	Pas intéressé
Petit projet	20-50 lgts	Intéressé	Intéressé pour combler la capacité de production de son outil	Pas intéressé	Pas intéressé
Moyen projet	50-120 lgts	Intéressé sur des petites parties de bâtiment	Intéressé, cœur de cible	Intéressé à partir de 80 logements	Intéressé
Gros projet	120-200 lgts	Intéressé sur des petites parties de bâtiment	Intéressé, mais peut prendre un nombre limité de projets	Intéressé, cœur de cible	Intéressé
Massification	200+ lgts	Pas intéressé	Pas intéressé	Intéressé, peut prendre un nombre limité de projets	Intéressé, cœur de cible

5. À chaque projet son équation

Le vrai coût du projet doit être revu selon des critères globaux. Il faut prendre en compte l'impact de la réduction de la mobilisation des outils de fabrication, de la sécurisation du site, de l'encadrement du chantier, du portage de l'opération et du manque à gagner opérationnel.

D'un autre côté, la prise de conscience de l'impact du chantier sur la ville, les infrastructures et les politiques apportent de nouvelles variables à l'équation. Le prix n'est plus autosuffisant, et il faut désormais prendre en compte l'impact de la construction au sens large, sur son environnement immédiat

(milieux sensibles), sur les infrastructures et la ville, sur la vie des habitants et sur l'économie des territoires.

La valeur d'un projet ne se résume donc pas uniquement à un coût de construction, et l'approche constructive doit être évaluée au regard de ses impacts économiques, environnementaux et sociétaux.

Il n'existe pas aujourd'hui d'outil unifié permettant à chacun d'évaluer le coût comparatif global d'une opération hors site avec une opération traditionnelle, mais certains acteurs travaillent à la mise en place de méthodes internes.

LE PROJET DE CONSTRUCTION - RÉNOVATION HORS SITE

Le projet hors site n'est donc pas un concept binaire ou absolu. Dans un projet de construction, il y a une part plus ou moins importante de composants hors site, d'une grande variété et de différentes natures. Ce chapitre donnera un aperçu de l'état de l'art de la construction hors site en France.

1. Quand un projet peut-il être qualifié de « hors site » ?

Il n'y a pas de définition aujourd'hui qui permette de qualifier un projet de « hors site » ou non. Tout dépend de la proportion de construction hors site présente dans le projet. Le référentiel « Construction Hors Site » propose une classification en trois catégories (bronze, argent ou or) des opérations selon la part du coût de construction que représente la construction hors site dans le projet ainsi que la provenance des composants.

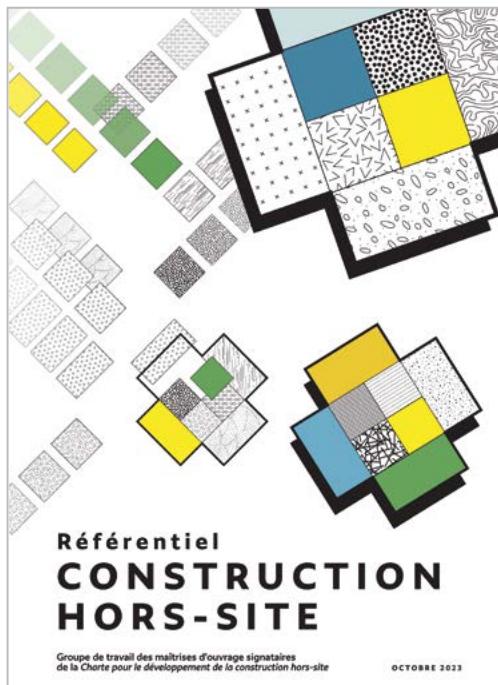


Figure 8 - Couverture du « Référentiel Construction Hors Site ». ©I3F

2. Quelles formes peut prendre la construction - rénovation hors site

La construction hors site n'est pas réductrice et peut adopter de nombreuses formes et matérialités. Bien qu'il n'existe pas aujourd'hui de catégorisation officielle des différents types de composants hors site, plusieurs critères permettent d'établir une première classification :

La granulométrie

Les composants hors site peuvent représenter des « briques » plus ou moins importantes de l'ouvrage et peuvent être facilement catégorisés de cette manière, à l'instar de la nomenclature développée par le référentiel « Construction Hors Site » :



Figure 9 - Granulométrie développée dans le référentiel construction hors site. ©I3F

Ossatures 1D

Systèmes structurels linéaires correspondant principalement à des systèmes poteaux/poutres ou de charpente. Ils peuvent être quantifiés en unités linéaires.

Panneaux 2D

Murs, planchers, façades, CLT (Cross Laminated Timber), toitures, y compris toutes sujétions posées/intégrées en atelier (menuiseries, occultations, bardage, etc.). Ils peuvent être quantifiés en unités de surface.

Modulaire 3D structurel

Systèmes structurels volumétriques pouvant contenir, en plus de la structure, l'ensemble des corps d'état du bâtiment pour fournir des morceaux de bâtiment clés en main. Ils contiennent un volume utile.

Les composants non structurels

Salles d'eau, gaines techniques, skids, escaliers, balcons rapportés. Y compris toutes sujétions posées / intégrées en atelier.

La participation à l'ouvrage

Lors de sa mise en œuvre, le composant devient une partie de l'ouvrage et peut participer à sa fonction de plusieurs manières :

- **Structurel** : le composant hors site peut être structurel s'il participe à la stabilité de l'ouvrage.
- **Collaborant** : il peut être collaborant si, lors de sa mise en œuvre, il devient indissociable des autres ouvrages (par exemple, un bac de douche coulé avec la dalle ou une demi-cloison doublée par la suite).
- **Meublant** : ou encore meublant s'il reste indépendant de l'ensemble des autres ouvrages du projet (exemple : salle de bains en résine posée sur le sol). Il est alors facilement remplaçable.

La complexité de la composante

La composante peut être plus ou moins complexe et avoir été l'objet de plusieurs transformations :

- **Composante unitaire** : la composante de base qui n'a jamais fait l'objet d'un assemblage.
- **Sous-ensemble** : résulte de l'assemblage de composants unitaires ou d'autres sous-ensembles.

Elle peut également comporter un seul ou plusieurs corps d'état. Une poutre préfabriquée en béton ne comporte qu'un seul corps d'état, alors qu'une salle de bains préfabriquée collaborante peut contenir neuf corps d'état différents !

3. État des lieux de la construction hors site

La construction hors site est à la croisée des chemins. Elle regroupe sous son giron des méthodes de construction très avancées et historiquement reconnues (ossature acier depuis la révolution industrielle, préfabrication béton depuis 1892 avec les premières poutres creuses moulées d'avance) ainsi que des méthodes considérées comme innovantes, comme les modules 3D tout équipés ou les murs 2D finis.

Cette diversité des approches explique que la construction hors site reste une approche difficile à qualifier en termes de maturité ou de techniques disponibles. L'état des lieux suivant reste donc indicatif selon les systèmes constructifs.

La classification des éléments de construction

Les éléments linéaires (1D)

Les poteaux, les poutres, les fermettes et autres éléments 1D sont les plus représentés chez les acteurs historiques de la construction, avec une industrie de la charpente métallique et de la charpente bois très présente, ainsi que des fabricants de béton préfabriqué historiques.

Ces filières sont organisées et représentées par de grands syndicats, qui travaillent depuis des années à la normalisation et à la démocratisation de ces composants, le plus souvent couverts par les DTU, des règles professionnelles ou autres guides faisant foi.

Le maillage économique est assez dense sur l'ensemble du territoire, et ces solutions sont parfaitement adaptées à toutes les typologies de projets.

Les éléments surfaciques (2D)

Deux typologies d'acteurs existent pour ces éléments : les acteurs historiques (panneaux béton préfabriqués type pré-murs ou prédalles, fabricants de panneaux sandwich, etc.) et les nouveaux acteurs qui essaient d'apporter des approches innovantes (béton de chanvre, etc.).

Quelle que soit l'approche, le domaine d'application des composants surfaciques correspond à la maturité technique des matériaux et des techniques constructives utilisées, indépendamment de la notion de « hors site ». Alors que le prémur béton est relativement universel, les approches à ossature bois sont limitées par la doctrine des pompiers et les DTU, comme toute construction bois. Il faut parfois avoir recours à une ATEX (Appréciation Technique d'Expérimentation).

De nombreux acteurs existent sur l'ensemble du territoire capables de fabriquer des murs à ossature bois, mais il existe une grande diversité d'approches constructives. Il en résulte que, bien qu'il soit possible de construire en ossature bois 2D sur l'ensemble du territoire, il est essentiel d'identifier rapidement les entreprises disponibles et les domaines d'application des produits afin de finaliser les études (isolants différents, avis techniques variables, etc.).

Les éléments surfaciques sont adaptés à toute typologie de projet et se mettent en œuvre sur tout support : bois, béton ou métallique. Ils permettent de répondre à de grandes variations architecturales et volumétriques, en faisant l'un des procédés les plus populaires de la construction hors site.

Les modules 3D structurels

Il s'agit sûrement du mode constructif hors site dont on parle le plus. Le module 3D structurel est le plus impressionnant car c'est le seul capable d'embarquer le gros œuvre et le second œuvre dans un seul et même élément, ce qui le rend le plus disruptif. Il bénéficie d'un second souffle et d'une vague d'investissements importante en ce moment, ce qui favorise l'apparition de nouveaux acteurs sur le marché.

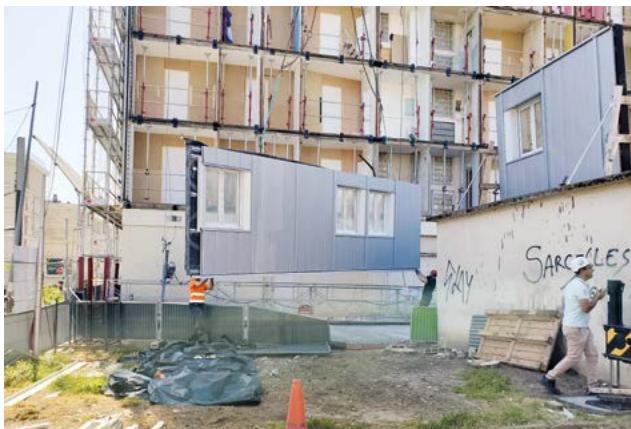


Figure 10 - Panneaux 2D utilisés dans l'opération de rénovation thermique dite « Les Biscottes » © DR (architecte : Équateur).

Ce mode constructif nécessite des outils de fabrication importants, des halles d'assemblage volumineuses et des outils de manutention conséquents. C'est ce qui explique qu'il y ait finalement très peu d'acteurs de la construction modulaire en France.

Les modules peuvent être en bois, en acier, en béton ou adopter une mixité de matériaux afin d'offrir une performance optimale. Ils sont contraints par un gabarit de transport et leur poids, ce qui limite leurs dimensions (des dimensions de 4 m en largeur et 13 m en longueur sont très rarement dépassées).

Enfin, les modules 3D sont constitués de faces verticales (murs) et horizontales (plafond et plancher) qui imposent des épaisseurs de parois importantes lors de leur juxtaposition. Les jonctions entre les modules doivent être réalisées sur place et ont souvent un impact visuel et architectural sur l'intérieur du bâtiment.

Cette approche est particulièrement bien adaptée aux unités d'habitation de petite taille qui peuvent être contenues dans un seul module, à l'instar entre autres des résidences seniors, foyers de jeunes travailleurs, logements d'urgence. En effet, la répétition des cellules de vie permet une rationalisation des processus de fabrication et ainsi de rendre le module compétitif par rapport aux autres modes constructifs.

Enfin, l'assemblage de modules entre eux est souvent réversible et permet une flexibilité optimale du bâti dans le temps, ce qui le rend inévitable pour les constructions temporaires (2 à 8 ans)



Figure 11 - La construction modulaire permet non seulement de gagner un temps de chantier considérable, de limiter les nuisances sur l'environnement immédiat, mais également de recourir à des systèmes de fondations plus légères et avec un impact 100 % réversible sur le site, ici par exemple avec des pieux vissés (Technopieux). © Techno Pieux France - Quattro Architecture

ou encore les logements d'urgence. À part quelques acteurs historiques (Cougnaud, Ossabois, Avelis, etc.), les fabricants restent encore de taille modeste, et une vigilance particulière est à apporter à leur capacité à porter les projets. Il est essentiel de s'assurer de la capacité technique (ATEX, DTU, etc.) comme financière des fabricants.

Les composants intégrés

Les composants intégrés comprennent l'ensemble des éléments fabriqués hors site qui participent à la construction mais qui ne rentrent pas dans les catégories précédentes. Ce sont en général des éléments techniques multi-corps d'état qui facilitent les interventions sur site, dont notamment :

- **Les salles de bains préfabriquées**, qui peuvent être soit meublantes (pouvant être remplacées dans le temps) soit participatives (devenant indissociables de la construction). De manière générale, les salles de bains participatives sont construites selon des méthodes traditionnelles en atelier puis acheminées sur le site et sont indiscernables d'une salle de bains classique, alors que la salle de bains meublante peut être réalisée selon des processus moins courants (résine, par exemple).

- **Les skids techniques** sont des structures de type châssis (ossature) qui embarquent une partie de la technique du logement ou du bâtiment. Ils permettent d'installer en quelques minutes des blocs techniques entiers sur mesure, à l'intérieur ou à l'extérieur du logement. Ces blocs peuvent intégrer la production d'eau chaude, le génie climatique, les blocs W.-C ou encore les gaines GTL ; ils sont particulièrement pratiques dans le cadre de la rénovation.

- **Les murs techniques et les gaines préfabriquées** sont des ensembles de type skid (avec une ossature) comprenant les réseaux nécessaires à l'alimentation des logements et des terminaux.

Les composants intégrés permettent d'embarquer des éléments à très haute valeur ajoutée pour le logement et de faciliter grandement les interventions sur site en évitant les superpositions de tâches et les interférences entre les corps d'état. Ils sont cependant très peu répandus en France, et l'on compte moins d'une dizaine de fabricants de salles de bains sur le territoire.

Le domaine est naissant et présente un fort potentiel de développement.

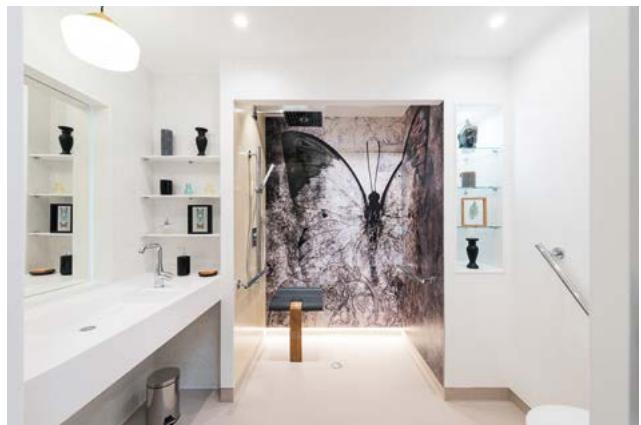


Figure 12 - Exemple de salle de bains haut standing réalisée hors site chez HVA concept. © Eiffage

Les échelles des sites de production

Les industriels de la construction hors site existent à toutes les échelles et sur l'ensemble des territoires. Bien que nombreux, ils sont inégalement répartis en fonction des catégories d'éléments recherchés et du volume de production désiré.

L'échelle locale

Les entreprises d'échelle locale (rayonnement local) sont de taille modeste et se contentent de répondre sur des volumes limités. Ce sont en général des entreprises qui ont des méthodes et des processus de fabrication très traditionnels mais réalisés en atelier.

Elles peuvent répondre à des projets de petite taille (20 à 50 logements) et sont peu sujettes aux contraintes de la production industrielle. Cette spécificité fait de la fabrique locale une unité de production très flexible, capable d'adapter sa production au projet et de produire des éléments uniques ou sur mesure.

Ces entreprises sont consultées de manière traditionnelle et répondent en général aux appels d'offres classiques.

L'échelle régionale

Les outils de fabrication industriels de rayonnement régional sont plus structurés que les entreprises locales. Cette organisation permet de répondre à des projets de plus grande envergure (60 à 150 logements) mais a recours à des investissements matériels plus conséquents.

L'outil de production à l'échelle régionale s'appuie sur un outil de production stable qui trouve sa rentabilité dans une occupation à 100 % de ses capacités de production. L'outil de production est contraint et permet de fabriquer des composants dont les caractéristiques doivent répondre à des standards (différents selon les principes constructifs).

Le recours à ces outils est alors plus contraignant pour le projet et nécessite la prise en compte de leurs spécificités lors de la conception du bâtiment (conception pour la fabrication et la mise en œuvre).

L'échelle nationale

Il existe très peu de sites de construction hors site qui rayonnent à l'échelle de l'hexagone. Le poids inhérent à des composants complexes et de grande taille constitue une contrainte significative et limite la zone de chalandise des entreprises.

L'outil de production à l'échelle nationale trouve sa rentabilité de deux manières :

- **Production de composants standardisés** en quantité suffisante pour rentabiliser un outil de fabrication massif centralisé (menuiseries, par exemple).
- **Fabrication de composants hyper spécialisés** et donc à très forte valeur ajoutée (équipements médicaux, par exemple).

Bien que le mythe de la « giga-factory » soit de plus en plus présent et fasse rêver certains, il se confronte par nature à des obstacles logistiques et territoriaux (adaptation au climat et aux spécificités des territoires), il doit encore faire ses preuves.

L'offre et la demande

Le produit préfabriqué, le logement modulaire, existent depuis des dizaines d'années. Il y a 20 ans, le logement d'urgence modulaire était mis en œuvre, mais il s'agissait d'une solution de secours, qui permettait ponctuellement de répondre à une urgence dans des conditions très dégradées. Le module était alors imposé à la maîtrise d'ouvrage comme un produit fini qui répondait à ses propres exigences.

L'évolution des produits hors site

Les vingt dernières années ont vu, grâce à des entreprises pionnières (Ossabois, Cougnaud, par exemple), l'avènement de produits qui prennent en considération les attentes des maîtrises d'ouvrage, évoluant vers des solutions compatibles avec le cahier des charges de ces dernières.

Par ailleurs, le développement de la filière bois, encouragé par les gouvernements successifs, a permis l'émergence de nouveaux produits 2D complexes et qualitatifs capables de s'adapter à de nombreuses situations et contextes.

Le Village Olympique marque le couronnement de cette évolution des modes constructifs vers le bois et démontre la maturité d'une filière, en tout cas sa capacité à répondre aux attentes de la société française.

Différents modèles existent du côté des fournisseurs de composants hors site, et chaque outil de fabrication est plus ou moins dimensionné pour s'adapter techniquement aux spécificités des cahiers des charges des maîtrises d'ouvrage.

L'évolution des produits hors site ne peut se faire que par l'investissement dans le développement ou la transformation des outils industriels. Cet élément explique pourquoi les produits innovants sont souvent financés par des emprunts et des fonds d'investissement (devant développer leur marché), tandis que les industriels établis se lancent très peu dans l'innovation (rentabilisation de l'outil industriel existant).

L'évolution de la demande

D'un autre côté, la densification urbaine et l'urgence environnementale ont poussé les maîtrises d'ouvrage à assouplir leur vision du bâtiment, à s'ouvrir à de nouveaux modes constructifs et à prendre plus de risques dans le montage et la conduite des opérations de construction.

La construction hors site, avec les nombreux avantages évoqués précédemment, devient un argument de plus en plus présent dans la conception des projets, prenant progressivement sa place au même titre que les autres modes constructifs.

L'acceptabilité des maîtrises d'ouvrage augmente également, et des solutions qui auraient été inenvisageables il y a quelques années sont utilisées de plus en plus fréquemment dans la construction.

Cet engagement des maîtrises d'ouvrage a été matérialisé par la signature de la Charte pour la construction hors site en octobre 2023, durant laquelle une dizaine de maîtres d'ouvrage publics se sont engagés à réaliser 50 % de leurs opérations de construction en hors site d'ici 2031.

Une offre et une demande qui peinent à se rencontrer

Bien que la part de construction hors site soit en pleine croissance et que la demande soit présente, La frustration est partagée du côté de l'offre comme de la commande.

Les maîtrises d'ouvrage souhaitent rencontrer de nouveaux industriels et mettre en œuvre des solutions correspondant à leurs attentes en termes de performance et de qualité, tandis que les industriels attendent de recevoir un volume de commandes suffisant pour pérenniser leurs usines.

L'explication principale de ce phénomène est un décalage de phase entre l'offre et la demande. Contrairement à d'autres industries (mobilier, par exemple), il existe une quantité importante de modes constructifs qui segmentent l'offre et réduisent donc son volume spécifique à chaque opération.

Par ailleurs, la demande est très variée et dépend du contexte politique et architectural autant que du style de l'équipe de conception du projet.

Il ne s'agit donc pas simplement de faire rencontrer l'offre et la demande de construction hors site, mais plutôt d'associer chaque typologie de produit à une catégorie particulière de projets.

Ce critère explique la difficulté de chaque mode constructif à atteindre un volume critique de production capable d'assurer une filière hors site fiable et pérenne, ainsi que les tentatives de plus en plus fréquentes de recours à des procédures adaptées permettant la massification de la commande dans un segment particulier.

4. L'hybridation motrice de la transition

La construction/rénovation hors site est une évolution naturelle de la construction qui s'est amorcée il y a plus d'un siècle et qui est en nette accélération, car elle promet une réponse à la saturation des infrastructures et des villes, aux ambitions de réduction de l'empreinte carbone, ou encore au besoin d'accélérer la production de logements sur l'ensemble du territoire.

Contrairement à ce que les démonstrations de force de la construction hors site peuvent suggérer, la transition vers ce mode constructif peut se faire de manière progressive, en s'appuyant sur des méthodes et des procédés déjà couramment utilisés (béton préfabriqué, murs et façades à ossature bois, par exemple), en introduisant progressivement les approches innovantes (skids, modules 3D), et en développant un réseau d'acteurs et de partenaires de confiance qui consolideront l'approche au fur et à mesure des projets.

Comme tout mode constructif, la construction hors site s'inscrit dans un projet architectural, urbain et politique, et n'est pas une solution miracle à tous les maux de la construction. Il est donc essentiel d'identifier les opportunités et les obstacles d'un projet comprenant de la CRHS, et d'adapter son approche en fonction des contraintes spécifiques.

Malgré une forte croissance, le tissu de fournisseurs de solutions hors site reste cependant très hétérogène et varie grandement en fonction des technologies et des régions. La transformation de l'industrie du bâtiment se fait de manière progressive, et il est difficile de demander à un secteur qui représente 10 % du PIB de faire sa mutation du jour au lendemain.

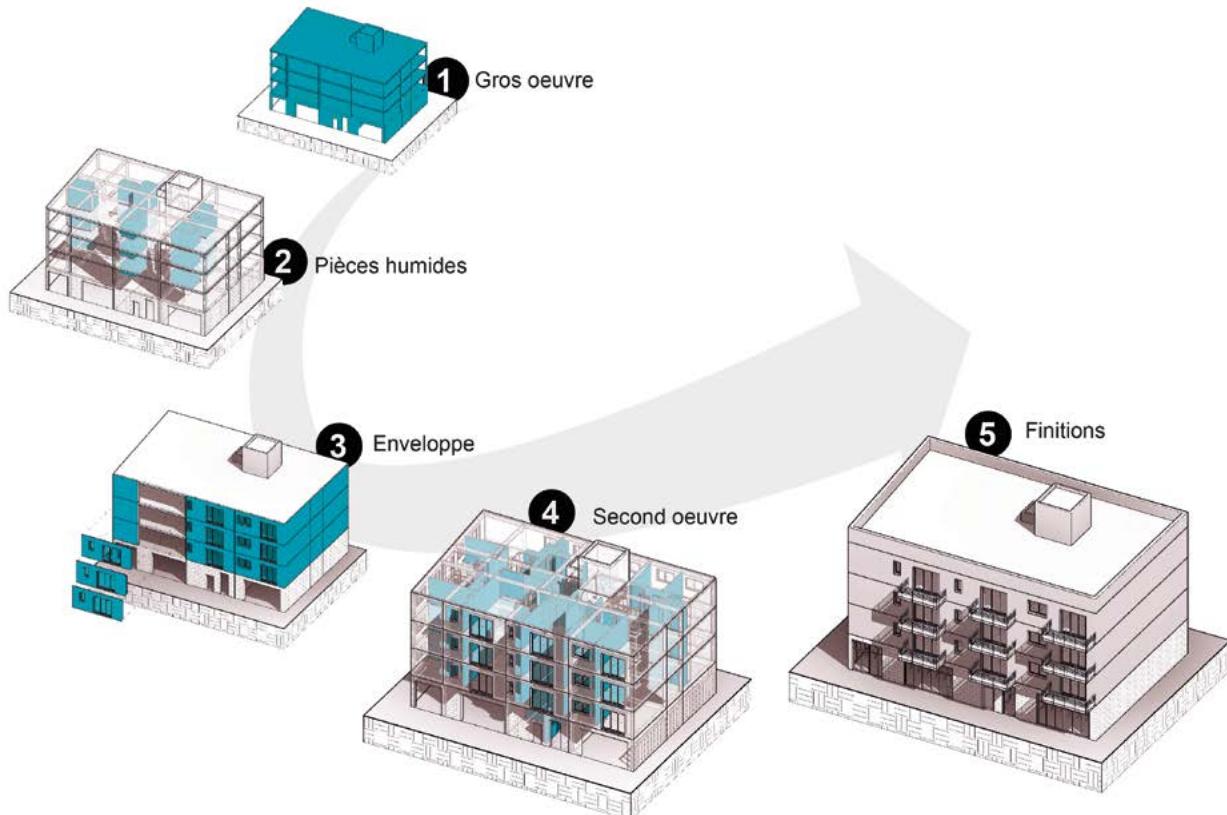


Figure 13 - Exemple de déroulé d'une opération hybride. © BIMfox

C'est pourquoi la grande majorité des projets recourt à différents procédés constructifs complémentaires au sein d'une même opération, et, de cette manière, mitige les risques liés au sourcing des intervenants ou aux variations de prix trop importantes.

Cette approche, dont l'objectif est de mettre en œuvre la bonne solution hors site au bon endroit dans le projet, est communément appelée approche.

C'est elle qui permet d'intégrer progressivement une part de plus en plus importante de construction hors site dans les projets et d'opérer une transition douce vers la CRHS. La majorité des projets de construction actuels sont hybrides, mettant par exemple en œuvre des prémurs en béton préfabriqué au rez-de-chaussée (2D), un système de poteaux-poutres aux étages (1D), des façades à ossature bois (2D) et des cages d'escaliers préfabriquées (3D).



Figure 14 - La tour Silva (Artbuild Architectes) est le plus grand immeuble d'habitation en bois de France, il est constitué de prémurs, d'escaliers préfabriqués, d'une structure porteuse bois et CLT et de murs à ossature bois entièrement finis en atelier. © Artbuild Architectes

02

HORS SITE
ET LA CONSTRUCTION
EN FRANCE

L'approche
hors site
et la construction
en France

Deux spécificités de la construction/rénovation hors site (CRHS) modifient le cadre opérationnel et le déroulement du projet et permettent de mieux comprendre les facteurs de succès de la conduite d'une opération hors site, qu'il s'agisse de construction ou de rénovation :

- **Spécifiquement à l'approche hors site :** la fabrication atelier et en parallèle des composants du bâtiment, puis leur assemblage sur site, modifient l'ensemble de la planification et du déroulement du chantier.
- **De manière plus générale :** l'approche hors site implique souvent le recours à des techniques innovantes ou complexes (matériaux biosourcés, ossature bois, mixité des matériaux) qui nécessitent une attention particulière et ne peuvent être gérées de la même manière qu'un projet classique.



Figure 15 - Réalisation en atelier de murs à ossature bois avec remplissage en paille (Lycée Gergovie, Savare).
© Eiffage - CRR Architecture

LES GRANDS CHANGEMENTS DE PARADIGME

Même si l'approche hors site s'inscrit dans la continuité de l'approche traditionnelle et doit s'appliquer de manière progressive et non disruptive, elle entraîne des changements importants dans l'approche du projet. Construire hors site, c'est fabriquer dans un milieu séparé du chantier, autant géographiquement que temporellement.

1. De la construction à l'assemblage

L'intégration d'éléments de construction fabriqués hors site à un chantier qui reste somme toute majoritairement traditionnel transforme le chantier en un lieu hybride où se déroulent fabrication de composants sur site (infrastructure, lots réalisés sur place) et assemblage de composants hors site.

Il s'agit donc de faire cohabiter et de créer une continuité entre des ouvrages traditionnels qui se déroulent de manière

séquentielle, s'adaptant progressivement aux tolérances de chacun des ouvrages précédents, et des composants hors site dont la fabrication se déroule en parallèle du chantier et s'effectue en temps masqué.

L'impact le plus notable est celui sur la coordination du chantier, autant temporelle que spatiale. Les composants hors site arrivent sur le site « juste à temps » pour leur assemblage, avec un degré de préfabrication et de précision qui s'accorde très mal des aléas classiques et des tolérances courantes du chantier.

Une amélioration de la gestion de chantier devient nécessaire, la coordination du chantier devient une condition sine qua non du bon déroulement de la construction.

La mise en place de process innovants, tel que le LEAN Construction sont également en train de se développer.



QU'EST-CE QUE LE LEAN CONSTRUCTION ?

Le Lean Construction est une approche de gestion de projet qui vise à optimiser la production et la livraison de bâtiments en éliminant les gaspillages et en améliorant l'efficacité.

Cette méthode s'inspire du modèle Lean Manufacturing, développé dans l'industrie automobile, et l'adapte aux spécificités du secteur de la construction. L'objectif principal du Lean Construction est de réduire les délais, les coûts et les défauts, tout en améliorant la qualité et la satisfaction du maître d'ouvrage.

Pour cela, il faut impliquer tous les acteurs du projet, de la conception à la réalisation, dans un processus de collaboration et de résolution de problèmes en commun. En adoptant cette approche, les entreprises de construction peuvent améliorer leur productivité et leur rentabilité.

Finalement, cette philosophie de gestion de projet répond particulièrement aux enjeux du logement social en conciliant maîtrise budgétaire, respect des délais et satisfaction des futurs occupants, tout en contribuant à la pérennité du patrimoine par une qualité d'exécution optimisée. •

2. Du lot à la composante hors site

La fabrication de morceaux de bâtiment en usine suppose également une revue du découpage classique des projets. En effet, les fabricants d'éléments hors site ne sont pas spécialisés dans un seul corps d'état mais généralement dans plusieurs, ce qui remet en question l'allotissement traditionnel par spécialité.

Si la composante hors site est multi corps d'état, ce n'est pas pour autant qu'elle les remplace. Dans le cas de la construction hybride, les corps d'état traditionnels existent toujours et doivent souvent travailler en interface avec des composants fabriqués en usine.

Cela peut rapidement créer une confusion autour de la taille des lots, des limites de prestations et de la responsabilité de

chacun des acteurs. Il est donc essentiel de travailler, lors de la consultation des entreprises, à un allotissement particulier qui doit se refléter dans l'ensemble des pièces du marché.

3. Concevoir pour la fabrication et l'assemblage (DfMA)

Cette hybridation des modes constructifs et des approches met en exergue le besoin pour les concepteurs de maîtriser les spécificités des différents modes constructifs à leur disposition.

C'est tout l'objet du DfMA, ou « *Design for Manufacturing and Assembly* » (conception pour la fabrication et l'assemblage), qui est au cœur de toutes les démarches de construction hors site des pays anglo-saxons. Trois mots clés expliquent l'importance de maîtriser ces systèmes constructifs :

- **Design (Conception)** : Le DfMA est un processus de conception architecturale et technique qui fait appel à des sous-ensembles ou composants particuliers, chacun ayant ses caractéristiques techniques, performancielles, volumétriques, esthétiques et fonctionnelles. La conception doit savoir recourir au bon composant au bon endroit afin de mettre en valeur ses spécificités tout en garantissant la qualité de conception.
- **Manufacturing (Fabrication)** : deux enjeux importants sont associés à la prise en compte de la fabrication des composants :
 - Faisabilité : s'assurer de la fabricabilité des composants selon les contraintes des outils de fabrication des industriels capables de répondre ;
 - Optimisation : rendre les composants plus compétitifs en intégrant les spécificités de l'outil de fabrication et en faisant en sorte que chaque composant soit plus facile à produire.
- **Assembly (Assemblage)** : enfin, chaque composant doit devenir une partie intégrante de l'ouvrage, ce qui se fait par l'assemblage. Prendre en compte cette étape lors de la conception permet d'anticiper le chantier et ses problèmes, de s'assurer que les composants puissent être acheminés sur le site jusqu'à leur emplacement définitif dans l'ouvrage.

Le DfMA est donc une discipline de la conception du projet qui concerne l'ensemble de l'équipe de maîtrise d'œuvre (MOE) et influence autant la faisabilité que la performance économique et calendaire du chantier. Il est donc essentiel de s'assurer des compétences de l'équipe de MOE.

4. Produit ou ouvrage ?

Dès lors qu'une partie du bâtiment est réalisée en dehors du chantier, se pose la question fondamentale de la nature de cette composante.

S'agit-il d'un produit qui est mis en œuvre sur le chantier ou d'une partie de l'ouvrage au même titre que son équivalent réalisé sur place ?

Cette question est essentielle et est au cœur des préoccupations des maîtrises d'ouvrage. En effet, cette distinction détermine les garanties et le régime assurantiel de l'élément, donc les responsabilités du fabricant.

Ce point est abordé en détail au chapitre « La notion de produit » (page 28).

5. Une étape supplémentaire : le transport

Les composants hors site doivent être acheminés vers le site de construction puis vers leur emplacement de mise en œuvre.

Le transport est une étape importante du processus, car il représente un risque de dégradation des composants réalisés en usine et donc une perte de performance lors de la mise en œuvre. Cependant, le transport a toujours existé pour tous les approvisionnements, et les logisticiens sont généralement parfaitement qualifiés pour acheminer les composants du bâtiment.

Il reste cependant essentiel de s'assurer que les phases de transport et de manutention des composantes soient réalisées sous la responsabilité des entreprises, et donc couvertes au titre des marchés de travaux signés par les entreprises.

6. L'apparition du métier d'ensemblier dans le bâtiment

La délocalisation d'une partie des travaux en dehors du site de construction permet de simplifier une grande partie du processus sur le chantier.

Mais cela n'est vrai que si la mise en œuvre de ces composants sur le site est anticipée, intégrée de manière rationnelle et surtout en bonne intelligence avec les autres lots qui, eux, se déroulent de manière traditionnelle. Un certain nombre d'entreprises générales ont bien compris ce principe et forment leurs directeurs de travaux à de nouvelles compétences qui sont celles de l'ensemblier.

Il est donc crucial de s'assurer de la capacité de l'encadrement de chantier à gérer l'interface entre le monde de l'assemblage et celui de la construction, de comprendre les enjeux de chacun et d'accompagner la maîtrise d'ouvrage vers un chantier qui profite réellement des avantages de la construction hors site.



RETOURS D'EXPÉRIENCES

Les retours d'expérience (REX) des maîtrises d'ouvrage sont mitigés quant au gain de temps associé à la construction hors site.

Deux critères principaux expliquent ce constat :

Premièrement, l'approche hors site suppose une conception du bâtiment beaucoup plus aboutie en phase amont du projet afin de garantir une fabrication cohérente et son assemblage rapide sur le chantier. Cela rallonge la phase de conception, qui ne se superpose plus avec le chantier, et tend à rééquilibrer les délais globaux de l'opération. L'approche hors site permet de gagner essentiellement du temps de chantier et non de projet.

Deuxièmement, la gestion de projet est au cœur du sujet. La fabrication des composants en atelier et le recours plus fréquent à des approches non standardisées requièrent un pilotage compétent et conscient des spécificités de l'approche. Parmi ces exemples figurent l'anticipation des techniques expérimentales (ATEX), des approvisionnements ou encore du passage des concessionnaires comme sources majeures de retard sur les chantiers hors site. •

7. De la complémentarité à la synergie : comment la CRHS efface les lignes entre la conception et la construction

La construction a reposé jusqu'à présent sur des modes de construction très plastiques, capables de s'adapter à une conception de projet qui répond, avant tout, à des ambitions politiques, esthétiques, environnementales, dont les considérations à l'échelle du projet urbain sont décorrélées de la méthode constructive.

L'approche hors site impose une vision différente du bâtiment, qui ne peut plus être conçu indépendamment de ses composants, qui doit être un savant assemblage d'éléments

existants tout en offrant une qualité architecturale, technique et environnementale toujours plus importante.

Or, il est impossible de connaître tous les produits et tous les modes constructifs existants. Certes, un expert est capable, dans un premier temps, de mettre en place des grands principes de conception, mais il ne peut pas à terme, malgré les meilleures compétences du monde, remplacer une interface directe avec l'industriel, le fabricant et l'entreprise qui met en œuvre.

Il devient donc essentiel de les intégrer le plus tôt possible dans la conception du projet, et que la conception architecturale se fasse en symbiose avec les acteurs de la construction.

LES CONSÉQUENCES SUR LE DÉROULÉ DU PROJET

Le recours à la fabrication déportée des composants du bâtiment nécessite une anticipation des modes constructifs à disposition, une implication des entreprises très tôt dans le projet et une revue de la manière dont on conduit le chantier. Le facteur temps est donc le premier concerné par ce changement.

1. Le déroulé classique

Dans un projet classique, le déroulé est séquentiel, et peut être décomposé de la manière suivante :

- Montage de projet et études de faisabilité ;
- Consultation et mise en concurrence d'équipes de conception sur un niveau d'esquisse ;
- Études de conception d'avant-projet (APS / APD) ;
- Dépôt d'un permis de construire ;
- Constitution d'un dossier de consultation des entreprises (PRO-DCE) ;

- Consultation des entreprises ;
- Études d'exécution ;
- Intervention successive des corps d'états (Chantier) ;
- Raccordement aux réseaux concessionnaires ;
- Livraison.

Dans ce déroulé courant, deux étapes notables figent le processus de conception et donc définissent les caractéristiques constructives finales du projet : le permis de construire, qui fige son apparence, et la consultation des entreprises, qui fige les constructeurs et les procédés afférents.

Cet ordre préétabli fonctionne particulièrement bien lorsque les techniques et méthodes à disposition pour la construction sont connues et génériques, permettant au concepteur de s'engager sur des procédés et une apparence finale du projet dès la fin de l'avant-projet.

Déroulé d'une opération classique

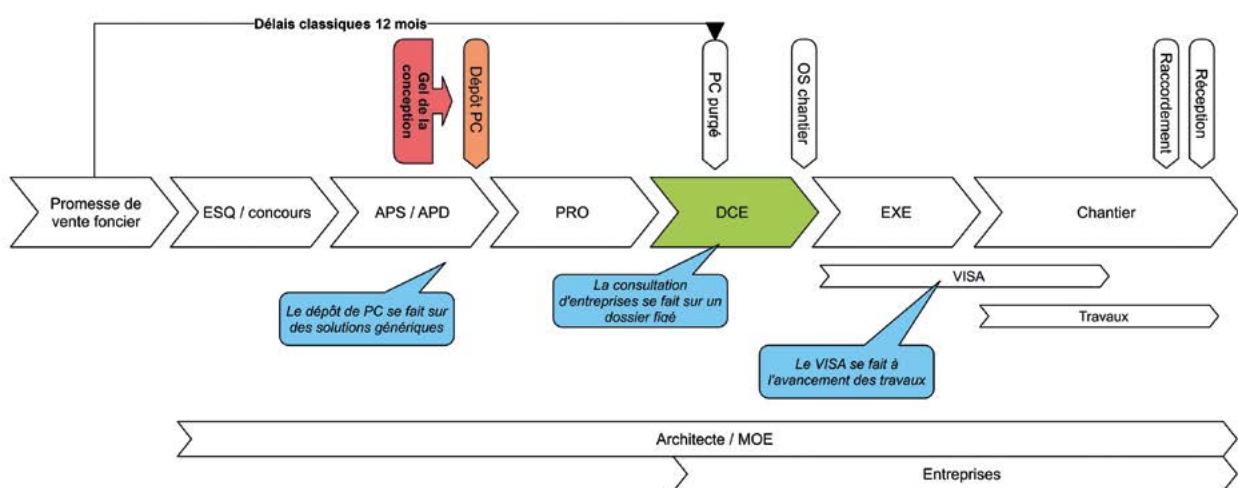


Figure 16 - Schéma simplifié du déroulé d'une opération «classique» type.

2 . De la conception générique à la conception pour la fabrication et la mise en œuvre

L'approche traditionnelle permet donc d'aborder les phases initiales de conception de manière générique, la technique se conformant à la conception architecturale de la construction, la fabrication in situ permettant une flexibilité optimale de l'outil de fabrication.

La construction hors site, quant à elle, ne peut pas être abordée de manière générique et nécessite, étant donné la variété des techniques et des procédés constructifs existants, un niveau d'expertise technique important lors de la conception du projet. Le recours à des outils de production fixes et à des méthodes industrialisées ne permet pas cette adaptabilité du processus de fabrication, et suppose une prise en compte des contraintes techniques constructives dès l'esquisse afin de permettre une expression architecturale cohérente et de garantir la qualité de la construction.

3. Focus sur le permis de construire

Le permis de construire est une étape clé du développement du projet. Au-delà du symbole de la validation du projet par la commune (et l'intercommunalité par extension), le permis de construire est un jalon essentiel dans le montage des projets :

- **Du point de vue de l'acquisition du foncier** : le permis de construire est souvent une clause suspensive des promesses de vente et doit couramment être obtenu sous un an ;
- **Du point de vue des financements** : le dossier de permis de construire permet l'obtention des agréments et la sanctuarisation des financements pour l'opération ;
- **Du point de vue décisionnel** : il est au cœur de l'obtention des accords des comités fonciers au même titre que le programme, l'étude de besoin, réglementaire et technique, tout en se basant sur un coût de construction consolidé.

Le permis de construire est donc une étape clé qui permet de confirmer la viabilité du projet et conditionne sa poursuite. Il est souvent déposé en fin de phase APS ; et afin de respecter les conditions suspensives de la promesse de vente, il est déposé avec un délai contraint.

Cependant, l'approche hors site ne se base pas sur des méthodes de construction génériques mais sur l'intégration de procédés constructifs spécifiques, choisis pour leurs qualités et leurs performances. Le dimensionnement des composants, la prise en compte des contraintes techniques rattachées apportent très souvent des modifications importantes à l'apparence du bâtiment et éloignent l'apparence finale du projet de celle déposée en phase permis de construire.

Il faut donc revoir le déroulé du projet pour intégrer les spécificités constructives avant le dépôt du permis de construire tout en ne pénalisant pas le projet par rapport à l'acquisition du foncier.

4. De la construction linéaire à la fabrication parallèle

Le chantier traditionnel se déroule de manière séquentielle, chaque intervenant - généralement incarnant un corps d'état - intervient à la suite du lot précédent, ajustant son travail aux tolérances du chantier, ce qui requiert une grande flexibilité de chacun. Cette approche, qui se base sur la continuité du planning et sur un seul lieu de fabrication - le chantier - permet une adaptation de chaque composant du bâtiment à son environnement de mise en œuvre, mais rend l'ensemble de la chaîne de valeur dépendante du bon déroulement du chantier, et un retard dans le processus se répercute et s'amplifie jusqu'à la livraison.

L'approche hors site, en déplaçant une grande partie de la fabrication en atelier, ne dépend plus de la succession des tâches et du chemin critique pour fabriquer le bâtiment. Cela permet de superposer les tâches et de réduire le temps de construction de manière considérable.

Cette fabrication en temps masqué a cependant quelques conséquences non négligeables :

- **Tolérances** : les éléments étant fabriqués à distance de leur support définitif, le respect des tolérances dans le bâtiment doit être parfait afin de ne pas créer de défaut lors de leur assemblage sur site ;
- **Études d'exécution** : les études d'exécution de ces éléments doivent être réalisées en phase très amont du projet, souvent avant le démarrage « classique » des études EXE ;
- **Suivi du planning** : le suivi du planning doit être minutieux - un élément hors site doit être mis en œuvre immédiatement sur le chantier, et tout stockage ne doit être que temporaire.

Le rôle de conduite de chantier se transforme et bouscule les habitudes. Le conducteur de travaux devient ensemblier et doit se concentrer sur la réception des supports, le traitement des interfaces et la gestion fine de la logistique des composants hors site.

5. La prise en compte des délais des concessionnaires

L'avantage principal de l'approche hors site est la réduction des délais de construction, ce qui permet une réduction des frais de chantier, des nuisances rattachées et une livraison anticipée, participant activement à une accélération de la construction en France.

De nombreuses opérations réalisées dans des délais records ont été livrées avec du retard car les délais d'intervention des concessionnaires n'ont pas été bien anticipés, notamment pour des opérations aux délais de construction exemplaires (logements d'urgence en modulaire 3D).

Il est donc essentiel de requalifier l'intervention des concessionnaires comme prioritaire dès le dépôt du permis de construire, date à laquelle les demandes doivent être formulées dans le cas de bâtiments à très forte proportion hors site (chantier de 5 à 7 mois).

LES CONSÉQUENCES SUR LE CADRE ASSURANTIEL

La loi Spinetta impose à la maîtrise d'ouvrage (MOA) la souscription à un contrat dommages-ouvrage, et fait de l'assurabilité du bâtiment une question essentielle pour la réalisation de l'ouvrage.

1. Le métier de l'assureur

Le métier de l'assureur — surtout dans le bâtiment — est d'offrir l'assurance la moins onéreuse tout en assurant la couverture des sinistres auprès de la maîtrise d'ouvrage.

D'un côté, la cotisation d'assurance va donc être proportionnelle au risque encouru par l'assureur, et la mesure du risque est donc au cœur de ses préoccupations.

De l'autre, la construction hors site, associée à une forte volonté d'innovation, est un terme qui peut rapidement rendre les assureurs méfiants, car plus l'approche est innovante, moins le risque est mesuré et plus il est surestimé.

2. Technique traditionnelle, courante et non courante

La technique de construction peut être catégorisée de trois manières :

La technique traditionnelle (Comprend les techniques courantes)

La technique traditionnelle est la plus rassurante pour l'assureur. En effet, elle est encadrée par un ensemble de corpus normatifs (DTU, règles professionnelles, etc.) validée par une commission spécialisée (appelée C2P) et adoptée par l'ensemble des professionnels.

Cette validation se fait après une évaluation fine de la maturité des techniques, en s'appuyant sur des avis techniques et tout autre élément permettant de justifier de sa performance, idéalement en prenant en compte le retour d'expérience de sa mise en œuvre. Elle est effectuée par des organismes sachants et des experts.

La technique courante (ATEX, DTA)

La technique courante est une technique validée par des organismes spécialistes (CSTB par exemple). Cette validation peut être ponctuelle ou continue (ATEX cas A ou B, par exemple) et est valide dans un certain cadre d'application.

La validation d'une approche technique par une ATEX reste le meilleur moyen de s'assurer que les ouvrages seront assurés dans un cadre relativement classique et que peu de complications assurantielles viendront alourdir le projet, sous réserve qu'il soit applicable au projet.

La technique non courante

Enfin, une technique de construction non courante n'est pas encadrée par un ATEX ou une autre validation reconnue de la technique.

Avant sa mise en œuvre, elle devra faire l'objet d'une validation par ATEX auprès d'un organisme compétent. Une ATEX

représente un investissement financier non négligeable pour l'industriel et surtout un délai de production des justificatifs important. Il faut compter de 6 à 18 mois pour l'obtention d'une ATEX selon l'avancement du travail préalable de justification de l'industriel.

Le recours à des techniques non courantes représente donc un risque important pour la MOA ; en effet, le risque de retard sur le planning de projet est significatif (ne convient donc pas aux projets trop contraints) et il n'y a aucune garantie qu'une ATEX soit délivrée à la fin de la procédure d'évaluation.

La vérification des procédés constructifs

L'équipe de maîtrise d'œuvre doit s'assurer au plus vite que les techniques de construction envisagées permettent une mise en œuvre simple et apportent les garanties nécessaires à la construction du projet de manière qualitative et dans les temps. Pour cela, elle devra :

- **Déterminer si la technique est traditionnelle ou non.** Si elle l'est, alors elle est applicable au projet.
- **Si elle n'est pas traditionnelle,** vérifier si elle est courante, donc couverte par une ATEX, un Avis Technique (Atec) ou une autre évaluation valide en France. Il faudra également vérifier que cette évaluation est applicable dans le cadre de mise en œuvre envisagé (hauteur, qualité du support, etc.).
- **Enfin, si la technique nécessite une évaluation,** alors la maîtrise d'ouvrage devra se prononcer sur la prise de risque liée aux délais supplémentaires et au rejet possible de la demande d'ATEX.

Le cas échéant, la MOE peut s'appuyer sur un examen de la proposition constructive par un bureau de contrôle qui ne pourra pas proposer de solution mais pourra se prononcer sur sa validité.

3. La notion de produit

L'approche hors site, en réalisant une partie des ouvrages en usine et en les livrant « prêts à poser » sur le site, rend la délimitation entre ouvrages et produits moins claire, et certains fabricants de composants hors site tentent de s'affranchir d'une partie des contraintes de la construction en assimilant leurs composants à des produits de construction et non pas à des ouvrages.

La grande différence réside dans le régime assurantiel :

- **Les produits de construction** (concernés par la Réglementation Européenne des Produits de Construction) sont des produits normés qui doivent répondre à certaines caractéristiques et sont mis en œuvre dans l'ouvrage. Ils sont sous garantie fabricant et leur mise en œuvre est encadrée par des textes spécifiques.
- **Les ouvrages**, indissociables du bâtiment, sont couverts par l'assurance dommages-ouvrage et font l'objet d'une garantie décennale ou trentenaire. Ils résultent de la mise en œuvre de produits de construction sur le chantier et constituent l'ouvrage.

Le cadre de référence pour les MOA doit rester l'assurance dommages-ouvrage, qui couvre les travaux réalisés par des constructeurs. Il est essentiel de bien distinguer qui porte la responsabilité de la réalisation des ouvrages, et donc qui sera amené à — le cas échéant — supporter les travaux et les frais liés à la garantie décennale.

C'est pourquoi, pour tous les composants du projet, l'ensemble des travaux doit être attribué à des entreprises de construction qualifiées et assurées en garantie décennale. Tout achat en direct de composants est proscrit ; seules les entreprises de construction portent les assurances nécessaires à la dommages-ouvrage.

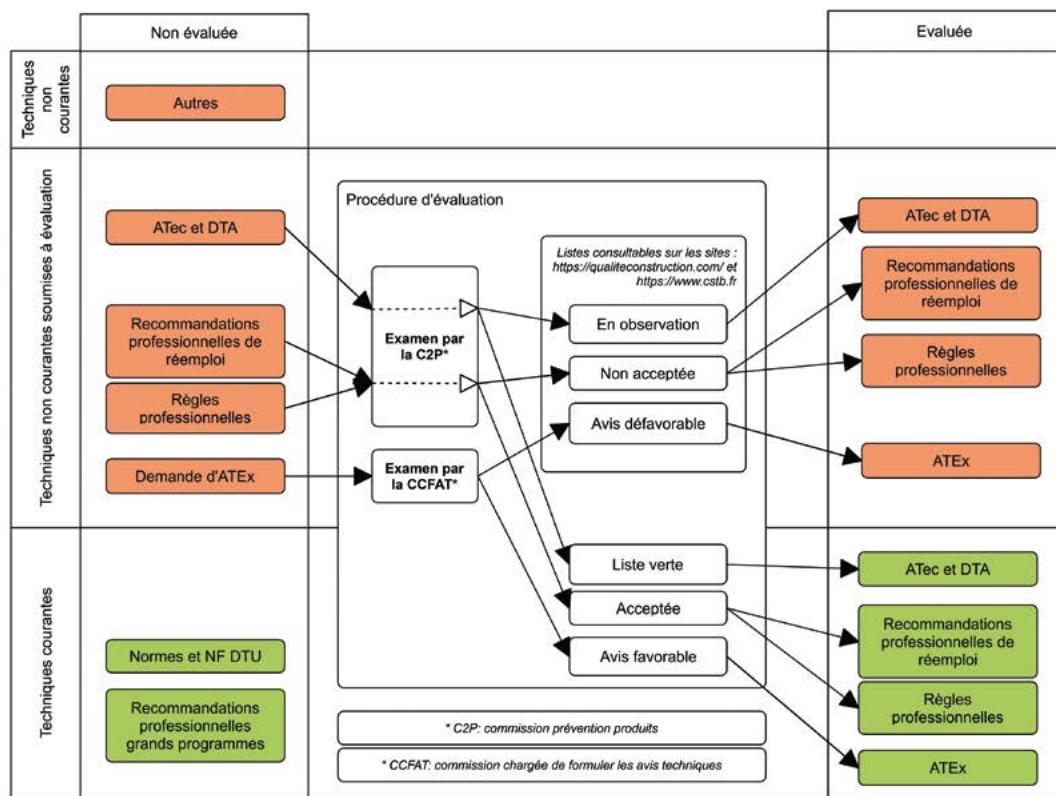


Figure 17 - Procédure d'évaluation des techniques de construction selon le site de l'AQC. En vert, les techniques courantes assurables par défaut.

Schéma assurantiel approche hors site

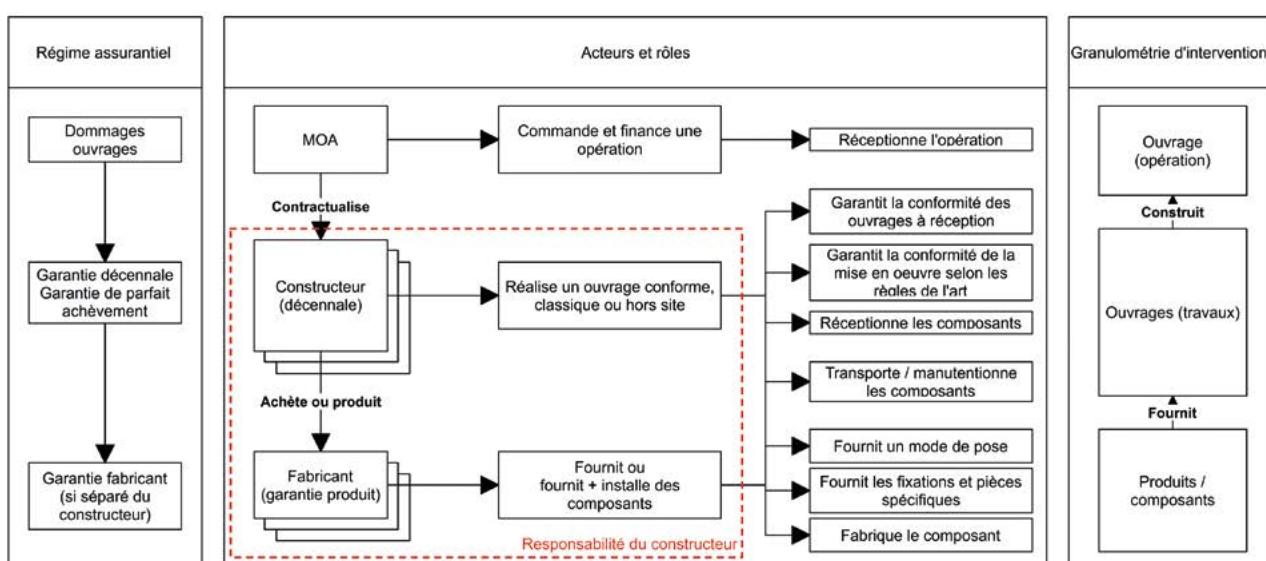


Figure 18 - Schéma indicatif de répartition des rôles des intervenants de la construction hors site.

4. La question du transport

Le transport des composants du bâtiment représente une sollicitation supplémentaire de ces derniers. Il s'agit d'une étape intégrante du processus de construction et doit être couverte au titre assurantiel de la même manière que le reste.

Le transport et le levage doivent être sous la responsabilité de l'entreprise de construction attributaire du lot qui comprend les composants et donc faire partie des phases couvertes par l'assurance dommages-ouvrage.

5. Le plan d'assurance qualité

La loi Spinetta ne prévoit que le contrôle de la qualité de la construction sur chantier, omettant ainsi les ateliers de fabrication lors d'une mission classique pour un bureau de contrôle.

Cette spécificité rend l'existence d'un Plan d'Assurance Qualité (PAQ) essentiel lors du recours à la fabrication hors site. Ce dernier décrira les contrôles qualité effectués sur les approvisionnements, en cours de fabrication, en validation du produit, pour le transport, la manutention et la réception. Il doit également comprendre les moyens de contrôle, les actions correctives à apporter et le protocole d'archivage de l'ensemble de ces éléments pour la traçabilité.

Le PAQ peut être consolidé par une mission spécifique et supplémentaire d'un bureau de contrôle (contrôle en usine) et/ou par la détention par le fabricant d'une certification valide qui garantit le suivi et le respect du PAQ (certification QB modulaire, par exemple).

Le PAQ est systématiquement demandé par les assurances avant de pouvoir couvrir les projets.

LE CADRE ACTUEL DE CONSULTATION D'ENTREPRISES

Pour le bailleur social, consulter les entreprises n'est pas une étape anodine, et elle doit répondre au cadre réglementaire de la commande publique tout en garantissant la qualité de la construction.

1. Loi MOP et hors site : un cadre juridique spécifique

La loi MOP, aujourd'hui codifiée dans le livre IV de la deuxième partie du code de la commande publique, est fréquemment représentée comme un frein à la mise en œuvre de la construction hors site dans la maîtrise d'ouvrage publique.

En premier lieu, on pourrait objecter à cette représentation que ce ne sont pas tant les mécanismes hérités de la loi MOP que les principes généraux et contraignants de mise en concurrence embarqués dans le droit de la commande publique qui génèrent un frein et une certaine incertitude quant à l'entrée anticipée des industriels et constructeurs dans l'opération. Dès 1985 dans son article 10, aujourd'hui codifiée aux articles L. 2431-2 et L. 2431-3 du code de la commande publique, la MOP prévoyait ainsi une mission de maîtrise d'œuvre spécifique *dans le cas de figure où les méthodes ou techniques de réalisation ou les produits industriels à mettre en œuvre impliquent l'intervention, dès l'établissement des avant-projets, de l'entrepreneur ou du fournisseur de produits industriels*. S'il y a bien une segmentation de l'opération et un séquençage des acteurs ancrés dans les principes de la MOP, il demeure une certaine ouverture d'un point de vue juridique pour y intégrer le hors site à un stade anticipé.

En deuxième lieu, et concernant spécifiquement les organismes Hlm, il faut rappeler :

- d'abord que la MOP ne les concerne que pour les seules opérations de logements locatifs aidés (L. 2411-1 du code de la commande publique).
- et surtout que seules ces dispositions relatives aux attributions et à l'organisation de la maîtrise d'ouvrage doivent impérativement être appliquées par les organismes Hlm (Art. L. 2430-2 du CCP). Un organisme Hlm est ainsi dispensé de la mise en œuvre du titre relatif à la maîtrise d'œuvre privée,

bénéficiant ainsi d'une dérogation globale au principe de distinction entre maîtrise d'œuvre et opérateurs économiques chargés des travaux, comme de la possibilité d'aménager contractuellement en fonction de ses besoins, le champ et le contenu de la mission de maîtrise d'œuvre.

Il faut donc tempérer les effets de la loi MOP au regard de la construction hors site pour l'organisme Hlm. Pour les opérations de logements locatifs sociaux, les obligations qui peuvent subsister, notamment à travers l'obligation de programmation, ne semblent pas s'opposer, au contraire, à intégrer une réflexion hors site à ce stade de l'opération. La notion de programme, défini à l'article L. 2421-2 du code de la commande publique comprend d'ailleurs les contraintes et exigences fonctionnelles et techniques définies par le maître d'ouvrage, qui peuvent naturellement inclure la dimension hors site de la réalisation des ouvrages.

On rappellera par ailleurs, pour illustrer la spécificité des règles applicables aux organismes Hlm par rapport à d'autres acheteurs publics, qu'ils bénéficient d'un régime dérogatoire pour recourir au marché de conception-réalisation, sans avoir à justifier de motifs, pour la réalisation de logements locatifs aidés par l'État (L. 2171-2) et pour toute autre programmation lorsque les ouvrages ne font pas partie du champ d'application de la MOP.

Le recours au marché global de performance en vue de la construction et de la réhabilitation d'ouvrages s'effectue dans les conditions du droit commun (en application des articles L. 2171-3 et R. 2171-2 du code de la commande publique).

Il résulte ainsi une grande souplesse pour les organismes Hlm au regard du droit de la commande publique qui peuvent alternativement, et presque pour l'ensemble des cas de figure opter pour :

- un montage en MOP classique ;
- un montage en MOP incluant une mission adaptée de maîtrise d'œuvre associée à la sélection préalable ou concomitante d'industriels éventuellement référencés par le biais d'accords-cadres ou retenus spécifiquement pour l'opération ;

- un montage en marché global, conception/réalisation ou marché global de performance, l'industriel pouvant soit figurer dans le groupement ou retenu parallèlement selon les modes de consultation précitée.

2. Deux schémas classiques sont appliqués à la consultation des entreprises :

Le recours à la loi MOP (codifiée)

La consultation classique pour un projet de construction s'effectue selon le déroulé énoncé dans la loi MOP, à savoir : procédures de choix d'un maître d'œuvre (procédures négociées, AO, MAPA, concours) sur phase esquisse, études d'avant-projet (APS et APD) débouchant sur le dépôt d'un permis de construire, réalisation d'un PRO aboutissant sur un dossier de consultation des entreprises détaillant chacune des particularités techniques et constructives du projet.

Cette approche est parfaitement adaptée dès lors que l'on utilise des techniques génériques et standardisées qui correspondent à des méthodes constructives traditionnelles. En effet, elle garantit, par la standardisation des prestations, la mise en concurrence d'entreprises et l'atteinte du meilleur prix.

Cependant, il faut rappeler que les solutions hors site, par nature, ne correspondent pas, ni dans leur description ni dans leur composition, à la décomposition traditionnelle du bâtiment, et l'application courante de la loi MOP présente les problèmes majeurs suivants :

- **Intégration des industriels une fois le dossier figé et le permis de construire déposé** : L'industriel doit donc se conformer exactement au projet et ne peut pas apporter de réponse correspondant à ses spécificités.
- **Décomposition des lots qui ne correspond pas à la construction hors site** : Les industriels se trouvent dans l'incapacité de répondre à des lots dans leur intégralité ou ne sont pas conformes par une réponse partielle.

Cette approche permet de conserver la place essentielle de la création et de la qualité architecturale mais au détriment de l'approche hors site.

Si l'organisme Hlm fait le choix d'un montage en MOP, l'intégration du hors site nécessite une adaptation des missions de maîtrise d'œuvre (selon l'article R. 2431-32 du code de la Commande Publique, l'organisme Hlm dispose d'une certaine liberté pour aménager contractuellement cette mission).

Les consultations en alternative à la MOP classique

Les consultations alternatives, de type conception/réalisation, marchés globaux de performance ou accords-cadres, permettent une implication dès la phase esquisse des fabricants et des entreprises.

Elles sont cependant plus complexes à mettre en œuvre et sont par définition des solutions alternatives à la loi MOP.

En associant maîtrises d'œuvre et entreprises dès le démarrage du projet, la conception doit se faire en alliant deux approches radicalement opposées. La MOE de conception, dont l'objectif est d'offrir la meilleure qualité ou performance dans une enveloppe fixe, se trouve immédiatement confrontée à l'objectif opérationnel d'un opérateur économique qui est l'entreprise.

Associé à une seule entreprise, l'architecte perd de son devoir de conseil. Il est à noter que de nombreux architectes ont une vision constructive de cette approche et témoignent d'un gain de qualité par l'échange et la transparence économique du projet dès la phase APS.

Enfin, la mise en œuvre des consultations de type conception/réalisation doit toujours être étudiée en faisant un bilan Coût/Avantages/Complexité.

La politique d'achat public

L'objectif de la loi MOP est de garantir une conception architecturale du projet indépendante et ainsi de concevoir des bâtiments au service du bien public qui offrent la meilleure qualité possible au meilleur prix. Or, ce mode de consultation privilégie les solutions génériques et se fait, parfois, au détriment de l'innovation.

D'un autre côté, la consultation adaptée, en associant dans une même phase conception architecturale et engagement performanciel économique, restreint la marge de manœuvre des concepteurs.

LES CONSÉQUENCES SUR LE SYSTÈME EXISTANT

Le monde de l'atelier et le monde du chantier sont issus de cultures aux objectifs divergents qui ont souvent du mal à communiquer. Or, tout l'enjeu du chantier d'opération hors site est de faire cohabiter sur un même lieu deux approches constructives et industrielles différentes, et il est essentiel d'identifier les points de divergence entre ces deux approches.

1. Sur le projet

Construire hors site revient à un vrai changement de la vision du bâtiment. Alors que le bâtiment a toujours été construit de manière séquentielle, un corps d'état après l'autre, sur le site définitif, la construction hors site propose de fabriquer des parties de bâtiment séparément, en temps masqué et à l'écart du chantier. Les conséquences sont importantes :

- **Financières** : le modèle de financement des projets doit prendre en compte la fabrication en usine et en temps masqué. La fabrication commence souvent avant l'ordre de service (OS) chantier, et la facturation se fait à la livraison du produit fini plutôt qu'à la situation de chantier. Certains modèles ne sont pas compatibles et doivent être revus.
- **Temporelles** : les composants du bâtiment sont fabriqués en atelier, hors des contraintes linéaires du chantier et en temps masqué, ce qui remet en question la planification de conception, de chantier et de livraison, ainsi que les situations.
- **Coordination** : le chantier devient un lieu de fabrication sur site et d'assemblage de composants hors site, et donc met en œuvre sur le même site deux approches très différentes de la construction. Cela requiert une transformation des moyens et des méthodes d'encadrement du chantier afin de faire coexister ces approches.
- **Consultation** : les composants hors site sont indépendants de la séparation classique des ouvrages en corps d'état, ce qui nécessite une restructuration des dossiers de consultation des entreprises (CCTP, DPGF et CCAP).

2. Sur le cycle de vie du bâtiment

Construire hors site revient souvent à réaliser des assemblages à sec, donc avec une réversibilité importante. Ce point est essentiel à la prise en compte de la fin de vie du bâtiment, qui peut devenir une source de ressources de construction plutôt que de déchets et de gravats.

- **Valorisation du bâtiment en fin de vie** : le désassemblage des composants permet d'envisager un recyclage voire une réutilisation facilitée des composants, réduisant drastiquement son impact sur l'environnement sur le long terme.
- **Réparabilité** : de la même manière, sa composition en éléments plus simples permet d'envisager leur remplacement pour une meilleure réparabilité des bâtiments. Les composants deviennent interchangeables, remplaçables, réparables.

3. Sur les territoires

Les territoires sont potentiellement impactés également par cette transformation et doivent être particulièrement attentifs aux potentiels avantages et inconvénients :

- **Transports et logistique (de l'atelier au chantier)** : si la construction hors site allège le chantier d'une grande partie de ses nuisances liées à la fabrication, il faut prendre en compte l'acheminement des composants sur le site, leur manutention et leur levage.
- **Réindustrialisation des territoires et politique de filière courte** : les nouveaux outils de production sont au cœur des préoccupations de l'association Filière Hors Site France. Bien qu'ils représentent une formidable opportunité de réindustrialisation des territoires, il ne s'agit pas de créer une délocalisation importante des emplois et des ressources qui deviendrait nuisible aux politiques locales.
- **Temporalité d'occupation des sols** : c'est un paramètre qui peut enfin être pris en compte avec des solutions montables et démontables sur le site à moindre coût carbone. Les fonciers peuvent trouver des occupations temporaires liées à des situations particulières pour le foncier ou sociales (logements d'urgence).

4. Conséquences globales

Enfin, ce changement de paradigme a des conséquences nationales importantes :

- **Transformation des emplois et des métiers** : la formation des opérateurs est nécessaire au développement de la filière. De nombreux opérateurs des filières traditionnelles devront se former pour comprendre les spécificités et les évolutions de leurs métiers lors du recours à la construction hors site.
- **Déplacement des composants** : en devenant déplaçables hors du chantier, les composants ne sont plus rattachés à un territoire et peuvent s'exporter à l'étranger et sur d'autres territoires. C'est tout l'enjeu des travaux de l'organisme ISO au niveau international qui anime une commission spécialisée nommée *TC59 / Prefabricated Buildings*.

En conclusion, la construction hors site induit des transformations majeures dans le système de construction existant. Elle remet en question les méthodes traditionnelles en modifiant les processus financiers, temporels, de coordination et de consultation des projets. Elle impacte également le cycle de vie des bâtiments en favorisant la réversibilité et la réparabilité, et influence les territoires par la réindustrialisation et les enjeux logistiques. Enfin, cette approche nécessite une adaptation des métiers et des compétences, tout en offrant la possibilité d'exporter des composants au-delà des frontières. Pour que cette transition soit réussie, il est essentiel que les acteurs du secteur intègrent ces changements de paradigme et collaborent étroitement afin de tirer pleinement parti des opportunités offertes par la construction hors site.

03

LE
T
E
P
A
R
T
H
E

Guide de
recommandations
pour le cadre
opérationnel

Alors que les deux premières parties de cet ouvrage ont expliqué comment l'approche hors site impacte en profondeur notre manière de concevoir les projets, les deux dernières parties visent à apporter les outils nécessaires pour aborder sereinement une opération hors site.

Cette troisième partie se concentre sur la mise en place d'un cadre opérationnel favorable au développement de projets hors site. Il est supposé que le lecteur possède déjà des compétences dans le déroulement d'une opération traditionnelle, et que seuls les aspects spécifiques à l'approche hors site doivent être développés.

LA COMPOSITION DE L'ÉQUIPE OPÉRATIONNELLE, UNE ÉTAPE STRATÉGIQUE

Le succès d'un projet est le résultat d'une conception, d'une réalisation, mais surtout de la création d'un environnement favorable à son développement. Si cette étape devait être résumée en une phrase, ce serait la constitution d'une équipe opérationnelle collaborative et symbiotique qui encadre un projet qui contribue à la réalisation d'ambitions partagées (explication ci-dessous).

1. La préparation du terrain :

Le bailleur social est tenu de respecter un cadre réglementaire particulier, notamment le code de la commande publique, et il est facile de tomber dans la tendance à formater les dossiers de consultation, à réduire l'information à son strict minimum technique pour ne pas être mis en porte-à-faux.

Il est cependant essentiel de communiquer sur les ambitions d'une MOA au-delà du projet, d'afficher clairement ses ambitions environnementales, sociales, voire temporelles ou de volume de travaux.

Ce positionnement permet de rassembler, d'informer et de retenir l'intérêt des acteurs de la construction qui souhaitent s'engager dans une transition vers de nouveaux modes constructifs, de préparer un écosystème compétent et volontaire favorable au développement du projet.

2. La sélection d'une équipe au service d'ambitions partagées :

La transition vers une approche hors site requiert un effort supplémentaire afin de changer nos habitudes et de créer une méthodologie et un encadrement propice.

Il faut donc, dès le montage de l'équipe accompagnant la maîtrise d'ouvrage (Assistant technique à maîtrise d'ouvrage, Bureau de contrôle...), sélectionner des partenaires capables de travailler ensemble à l'encadrement d'un projet qualitatif.

La sélection de ces acteurs devrait se faire selon ces critères :

- Capacité à travailler de manière collaborative ;
- Partage des ambitions stratégiques générales ;
- Adhésion aux valeurs du projet ;
- Capacité à travailler sur des projets innovants.

Une note méthodologique et des références de projets innovants seront demandées lors de la consultation de ces partenaires et ces critères seront intégrés à la grille d'évaluation.

La même approche sera appliquée lors de la sélection de l'équipe de conception et/ou de réalisation.

3. Passer les bons messages

Rassembler une équipe autour d'ambitions et de valeurs communes ne suffit pas à créer un environnement de travail favorable au développement du projet. Il faut ensuite travailler ensemble, avec une expertise commune, à leur formalisation sous la forme d'un cahier des charges qui servira de base à la consultation des équipes de conception et de réalisation.

Ce cahier des charges doit clairement exprimer les objectifs qualitatifs, architecturaux et performanciels du projet, comment ce projet s'inscrit dans une démarche plus large et contribue à la réalisation d'ambitions au niveau du quartier, de la ville, d'un territoire, d'un bailleur social ; l'objectif étant d'expliquer les valeurs recherchées au travers du projet.

Ces objectifs doivent converger vers une réponse ambitieuse et innovante mais qui doit rester réaliste, un savant équilibre entre exigences, recommandations et encouragement à l'innovation raisonnée.

CONSTITUTION DE L'ÉQUIPE OPÉRATIONNELLE

D'un point de vue strictement technique, une opération menée selon une approche hors site requiert les mêmes compétences qu'une opération dite « traditionnelle », seuls deux aspects de la construction subissent des changements significatifs : la temporalité des interventions et le respect des tolérances.

1. L'assistant technique à maîtrise d'ouvrage (ATMO) et la culture du changement

L'aspect le plus important dans l'approche hors site est la prise en compte de la modification du déroulement du projet et de la répartition des tâches dans le temps. Les conséquences sont nombreuses, tant au niveau de la conduite du projet que de la gestion des interfaces entre les différents acteurs, qui sont souvent habitués à travailler de manière séquentielle et non pas en temps masqué.

Le rôle de l'ATMO est d'accompagner la maîtrise d'ouvrage dans l'adaptation de ses méthodes et processus de travail au déroulé d'une opération hors site, de réaliser des retours sur expérience et d'accompagner les équipes dans la transformation de leurs missions. Il s'agit somme toute d'un rôle temporaire destiné à disparaître avec le développement d'une expertise au sein même des structures de MOA.

L'ATMO devra être chargé de l'application d'une grande partie des recommandations du présent cahier repère et devra être missionné au plus tôt (montage du projet) afin de pouvoir implémenter les changements nécessaires à la conduite optimale d'un projet de construction/rénovation hors site.

2. Le rôle central du bureau de contrôle

L'approche hors site s'accompagne souvent d'un certain degré d'innovation ou du recours à des procédés constructifs plus ou moins usités. Cette spécificité rend l'évaluation de la conformité des modes constructifs envisagés essentielle au bon déroulement du projet.

L'équipe de MOE de conception et d'exécution doit être en mesure d'évaluer la conformité de ces modes constructifs et de vérifier cette conformité à l'aide du bureau de contrôle.

De plus, la mission du bureau de contrôle telle que définie dans la NF P 03 100 ne concerne que les travaux exécutés sur site. Une grande partie des travaux de fabrication ayant lieu en atelier, et n'étant pas visitable sur le site de mise en œuvre, il est important de s'assurer que le bureau de contrôle ait une mission de suivi des travaux de fabrication des éléments hors site.

Il faut donc s'assurer des deux points suivants concernant ses missions :

- **Intégrer le bureau de contrôle dès l'esquisse du projet** afin de formuler des avis relatifs aux techniques constructives envisagées et d'orienter les choix constructifs tout au long du processus de conception du projet.
- **S'assurer du suivi de la fabrication par le bureau de contrôle le cas échéant.** Selon les techniques constructives envisagées dans l'approche hors site, les composantes peuvent être exposées et visitables pour un contrôle sur site ou non



LA MOD COMME ENTITÉ CAPITALISATRICE DES EXPÉRIENCES*

Dans certaines situations, il est parfois difficile de construire une expertise dans la construction hors site qui couvre plusieurs projets et initiatives, les maîtrises d'ouvrage étant variées et n'ayant pas les ressources humaines et temporelles nécessaires au partage de cette expertise avec d'autres maîtrises d'ouvrage.

Dans le cas d'opérations couvrant plusieurs projets, de type contrats-cadres ou projets de massification, une solution permet de centraliser l'ensemble des retours sur expérience en un seul et même endroit pour ensuite les partager et les redistribuer. Une maîtrise d'ouvrage déléguée peut être missionnée pour suivre plusieurs projets et ainsi servir d'entité capitalisatrice de l'expérience croisée et accumulée de ces opérations. Le cas échéant, il ne faut surtout pas oublier de lui donner une mission de synthèse et de restitution de l'expérience accumulée sous la forme d'un rapport et de réunions spécifiques ! •

* approche de massification

visibles. Dans ce cas, il est essentiel d'assurer la capacité du bureau de contrôle à vérifier l'ensemble des éléments constituant les ouvrages, notamment en lui permettant de contrôler la fabrication en usine. Cette donnée étant inconnue lors de la signature de sa mission initiale, il convient d'inclure une clause de réexamen à son contrat, activée au moment de la consultation des entreprises, et permettant de négocier une mission de suivi de la fabrication en atelier.

3. La collaboration des intervenants et le BIM

L'approche hors site requiert une définition en phase amont des composantes du bâtiment pour une fabrication en temps masqué et pour un gain maximum en efficacité. Cette fabrication ne peut se faire que si l'ouvrage est bien construit selon les stipulations des plans des concepteurs et que les dimensions réelles de fabrication sont transmises à temps à l'industriel.

Le respect scrupuleux des tolérances de mise en œuvre est la garantie du bon interfaçage des composantes hors site et de leur bon assemblage avec le reste du bâtiment. Plus le projet comporte de composantes hors site différentes, plus le traitement des assemblages est critique pour la bonne conduite du chantier.

C'est pourquoi la collaboration, la transparence et l'échange d'informations sont essentiels au bon déroulement d'un projet hors site.

Le BIM (Building Information Modeling), par sa structuration sous la forme d'objets, est particulièrement adapté à ce mode de conception et de fabrication. Il permet d'étudier en détail chaque élément, dimensionnement, interface et mode d'assemblage.

Il est de plus un outil collaboratif qui s'appuie sur des plateformes d'échange et de collaboration entre les différents acteurs. La gestion de la synthèse 3D des composantes du bâtiment, la détection des conflits, la synthèse des informations du projet en un seul endroit permet un pilotage précis et collaboratif des phases de conception du projet.

En préparation de chantier, il permet de simuler l'avancement, les besoins en logistique et les contraintes d'acheminement des composantes sur le lieu de mise en œuvre (particulièrement en rénovation) comme le déroulement du montage des composantes hors site (BIM 4D).

À défaut d'intégration d'une approche BIM dans le projet, la MOE s'engagera à réaliser une mission avancée de synthèse et de coordination des études et à remettre à la fin de chaque phase un rapport complet et détaillé de la coordination des lots et des interfaces, ainsi qu'à demander à chaque intervenant de remettre dans un document spécifique partagé à l'ensemble de l'équipe de maîtrise d'œuvre une synthèse de l'intégration de ses composantes dans le projet de bâtiment et une description des conflits relevés et des points à résoudre.

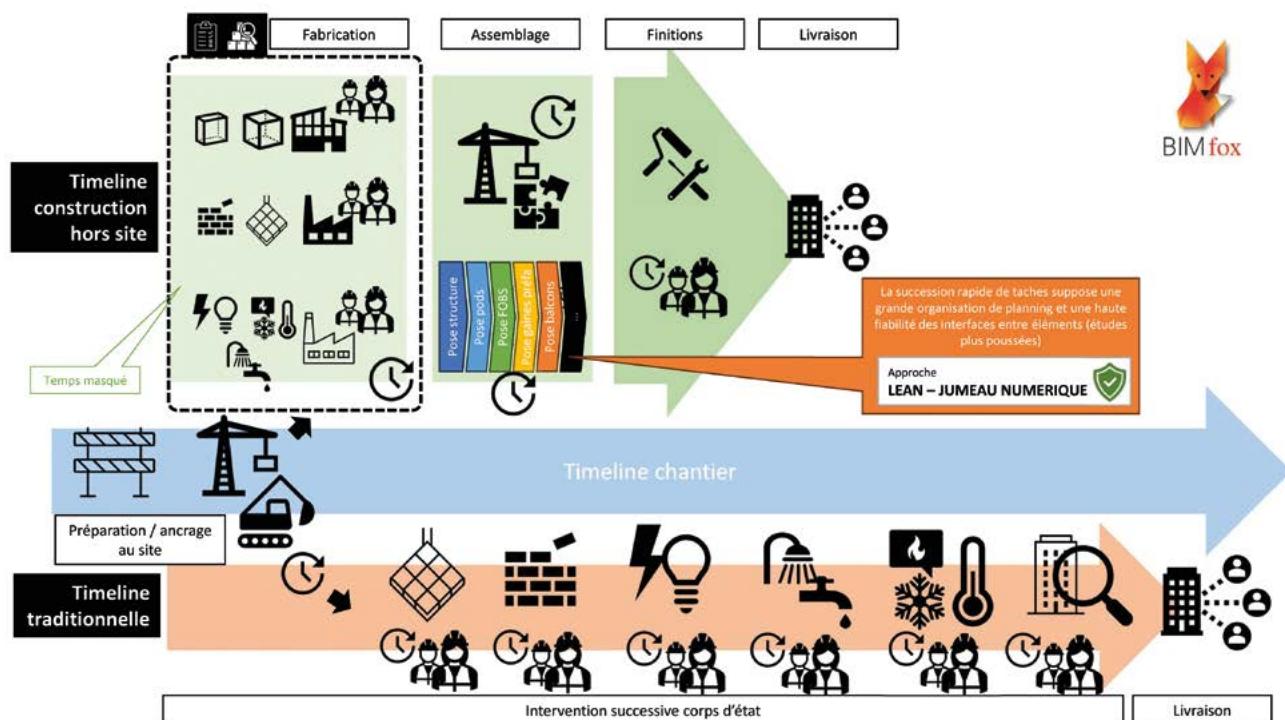


Figure 19 - Schéma explicatif de l'impact sur la gestion du temps et de la synthèse.

4. Le Pilote de chantier

Le chantier est le lieu de concrétisation de l'ensemble des grands principes de la construction hors site. Son pilotage est critique pour la réussite de l'opération. Il assure la bonne interface temporelle et physique entre les lots et permet de fluidifier les questions de gestion des stocks et de logistique sur le site de mise en œuvre.

Quel que soit le titulaire du marché de travaux (entreprise générale ou corps d'état séparés), le pilote de chantier devra être désigné le plus en amont, dès la phase conception lorsque c'est possible et participer aux études, afin d'anticiper les contraintes liées à l'approche hors site.

- **En entreprise générale**, il devra s'assurer que la planification et les méthodes appliquées au projet sont cohérentes avec une opération hors site. Il mettra en place un protocole de suivi et de gestion des interfaces spécifique qui assurera les contrôles nécessaires à la conduite de l'opération. Il devra être identifié dès la réponse à l'appel d'offres de l'entreprise générale et avoir une mission de suivi de l'ensemble du chantier, avec des rapports d'activité réguliers remis à la MOA.
- **Dans le cas de lots séparés**, un pilote de chantier devra être désigné dès la phase DCE. Il participera à la rédaction du DCE et des recommandations en termes d'interfaces, de logistique, de méthodes et de planning. Il émettra une évaluation des offres et de leur compatibilité avec un déroulé de chantier hors site ainsi qu'une évaluation de leur compatibilité avec les lots réalisés sur site. Il sera missionné pour le suivi du chantier jusqu'à sa livraison.

5. En rénovation : la mission complémentaire du géomètre expert

Lorsque l'approche hors site est envisagée en rénovation, le support du projet devient critique pour sa réussite. Les composantes hors site, fabriquées en atelier, doivent s'adapter parfaitement dans les trois dimensions à la géométrie des bâtiments à rénover ainsi qu'à leur environnement.

Lors de la phase diagnostic, deux grands critères sont à analyser finement lors du relevé de l'existant par un géomètre :

- **Le relevé de tous les points particuliers** : les interfaces avec le sol, la toiture ou encore les avoisinants constituent autant de sources de particularités de l'existant. Il est également essentiel de relever toutes les singularités de l'enveloppe du bâtiment. Avec le temps, des éléments singuliers sont souvent rajoutés au bâtiment tels que des nouvelles bouches de ventilation ou des réparations ponctuelles. Ces éléments ne sont pas réguliers et doivent être détaillés car ils vont affecter largement le volume d'éléments répétitifs ainsi que leur complexité.
- **Dans le cas des bâtiments répétitifs**, souvent tramés (exemple : coffrage « tunnel »), il est important de ne pas simplifier le travail de relevé. En effet, les trames constructives sont beaucoup plus variables que l'œil ne laisse voir, et le géomètre doit s'assurer de la constance des espacements des éléments de façade ainsi que de leur constitution. Les voiles porteurs, par exemple, ont tendance à s'affiner avec leur altimétrie car supportant moins de poids.

Un relevé par nuage de points de l'existant avec une précision centimétrique assemblé par le géomètre (un seul fichier) (+ / - 5 mm max) est fortement recommandé dès la phase APS dans la rénovation.

6. En rénovation : le recours à un BE structure

Pour les mêmes raisons que les voiles porteurs s'affinent avec l'altimétrie, les qualités de béton peuvent varier de la même manière.

Lors de la phase diagnostic, il est essentiel d'étudier la qualité de la structure porteuse de l'existant dans les trois dimensions, avec des points de qualification des éléments structurels répartis sur l'ensemble du bâtiment. Il est encore trop fréquent de devoir modifier son mode de fixation sur le chantier afin d'accrocher ces éléments hors site, et les impacts sont importants en termes de prix comme de délais.

Le diagnostic de l'ensemble de la structure du bâtiment dès les phases d'avant-projet est fortement recommandé.

7. Les accompagnements supplémentaires

Deux accompagnements complémentaires méritent d'être explorés :

Le LEAN manager

Lorsque les opérations requièrent une optimisation particulièrement poussée en termes de délais de construction et de rationalisation de l'approche, le LEAN management apporte des solutions de gestion de projet efficaces.

L'approche LEAN cherche à optimiser le projet sous trois aspects : délais, coûts, qualité en supprimant les tâches inutiles (« chasse aux gaspillages ») dans le projet et en organisant le déroulé de projet de manière optimale (réorganisation de la succession de tâches, prise en compte des contraintes à l'échelle du chantier et non pas du lot). L'entreprise Rabot Dutilleul a par exemple pu observer que l'application du LEAN sur des opérations de rénovation en milieu occupé a permis de diviser par deux les temps d'intervention dans les logements.

Le logisticien

Lorsque les projets présentent des défis particuliers, notamment en rénovation, et que les zones de stockage et de distribution des matériaux et des composantes hors site sont restreintes, il peut être intéressant de se rapprocher d'un logisticien capable de gérer les approvisionnements en « juste à temps » et ainsi de limiter les besoins en zones logistiques sur place. Certaines sociétés offrent des services de livraison à la semaine selon les spécifications du client et permettent ainsi d'ajuster les besoins en stockage aux spécificités du chantier, ce qui est particulièrement adapté à la rénovation en milieu occupé.

Nouvelles compétences et rôles en construction/rénovation hors site

	MOA	MOE	CONSTRUCTEURS / MOE EXE
Nouvelles compétences	<p>Bureau de contrôle</p> <p>Contrôle fabrication Contrôle PAQ Contrôle traditionnalité renforcé</p> <p>Compétences supplémentaires</p>	<p>MOE conception</p> <p>DIMA Connaissance écosystème Mission BIM Hors Site (synthèse) Sourcing des fabricants éligibles</p> <p>Compétences supplémentaires</p> <p>BE structure</p> <p>Connaissance panel solutions disponibles Diagnostic structurel détaillé (réno)</p> <p>Compétences supplémentaires</p>	<p>Pilote chantier / ensemblier</p> <p>Vérification des plannings et de leur respect Coordination hors site Logistique Suivi réceptions supports Vérification conditions de stockage Mission BIM hors site (synthèse / planification)</p> <p>Compétences supplémentaires</p>
Nouveaux rôles	<p>Formation des équipes</p> <p>ATMO construction hors site</p> <p>Orientation performancielle du cahier des charges Adaptation des pièces de consultation Ajustement des critères d'évaluation Assistance opérationnelle Sourcing d'entreprises</p> <p>Missions supplémentaires</p>	<p>Géomètre expert (réno)</p> <p>Relevé millimétrique de l'existant</p> <p>Missions supplémentaires</p>	<p>Logisticien (réno)</p> <p>Sécurisation des flux Sécurisation des chaînes d'approvisionnement</p> <p>Missions supplémentaires</p> <p>RECOMMANDÉ</p> <p>LEAN manager (réno)</p> <p>Coordination production industrielle et chantier: Optimisation du planning Gestion des flux en juste à temps</p> <p>Missions supplémentaires</p> <p>RECOMMANDÉ</p>

Figure 20 - Tableau indicatif des compétences spécifiques requises pour l'approche hors site.

LA GESTION FINANCIÈRE DU PROJET

L'approche hors site suppose une prise en compte dès les phases amont des spécificités des méthodes de construction et des modes constructifs choisis. Cette spécificité a des conséquences importantes sur le déroulé du projet et donc l'échéancier de financement rattaché.

1. Les études

Le dépôt de permis de construire est une étape déterminante pour les études puisqu'il fige les grandes lignes de la conception du bâtiment : volumétrie, composition des façades, matérialités, dimensions. Il est habituellement déposé après la phase APS, donc sur une base de conception relativement sommaire du projet.

Or, le recours aux méthodes de construction hors site nécessite une adaptation du projet et de sa géométrie, de ses matérialités et de sa composition. Le permis de construire dans une approche hors site devrait donc être déposé sur une base de travail bien plus avancée que dans un déroulé classique.

De la même manière, la fabrication des composants en atelier suppose une gestion des détails constructifs avant la mise en œuvre sur le chantier, et donc une phase VISA condensée avant le lancement de la phase EXE.

Les études pour une approche hors site ne sont pas plus onéreuses que pour un projet traditionnel, mais il est important de redistribuer le temps accordé à chaque mission et à chaque

phase pour assurer une conception qualitative.

L'échéancier de financement des études doit être revu avec les équipes de maîtrise d'œuvre afin d'intégrer un niveau d'études plus avancé avant le dépôt du permis de construire et une réalisation des VISA anticipée.

2. La fabrication en atelier

Le déplacement de la fabrication du bâtiment en atelier remet également en question la notion de situations et de paiement à l'avancement du chantier.

Les entreprises de construction hors site sont des entreprises dont l'outil de fabrication est constant et représente des coûts fixes importants. Elles fonctionnent - à la différence d'une grande partie des entreprises traditionnelles - en flux tendu, et la gestion de la trésorerie est au cœur de leurs préoccupations.

Les approvisionnements

De nombreux industriels demandent un premier règlement pour faire les approvisionnements nécessaires à la fabrication des composants hors site. Il s'agit d'une demande courante qui est la plupart du temps parfaitement acceptable.

Un point d'attention est à noter sur le phasage des approvisionnements par rapport à la purge du permis de construire. Un projet hors site trouve une grande partie de son intérêt dans la promesse de la rapidité du chantier.

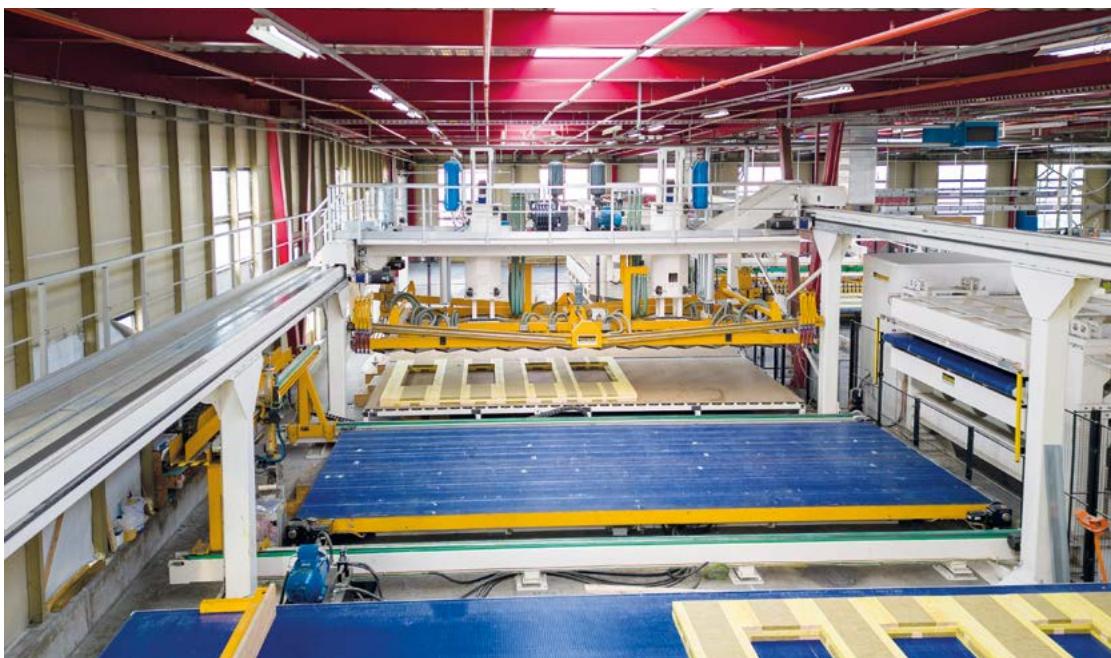


Figure 21 - Les ateliers de fabrication des murs Techniwood permettent grâce à un investissement industriel important la fourniture d'un produit «qualité usine». Ce mode de fabrication peut influencer le calendrier de financement classique d'une opération. © Ivan Dupont - Techniwood

Ce gain de temps provient de la superposition des tâches et notamment de la capacité de démarrer la production des éléments avant d'avoir réalisé la préparation du chantier. Les approvisionnements viennent, eux, avant la production en atelier. Une solution souvent évoquée pour gagner du temps opérationnel est de valider les approvisionnements avant le lancement du chantier, ce qui peut entrer en conflit avec les délais de purge du permis de construire. Il est fortement déconseillé de régler des approvisionnements avant l'obtention du permis de construire purgé, cette avance se faisant aux risques de la maîtrise d'ouvrage (MOA).

L'avancement de la production

Certains fabricants hors site demandent un échéancier de paiement au fur et à mesure de la production des éléments afin de couvrir les frais de fabrication. Cette pratique est relativement courante mais doit faire l'objet de précautions particulières afin de réduire les risques liés à la cessation d'activités du fabricant.

Pour rappel, la MOA ne contractualise qu'avec des entreprises de construction qui apportent une garantie décennale indispensable à la couverture des ouvrages par la dommages-ouvrages. Le constructeur reste responsable de ses composantes et de ses ouvrages jusqu'à la livraison, et il lui appartient de s'assurer que ses composants hors site sont protégés et maintenus en état jusqu'à la livraison. La maîtrise d'ouvrage ne doit prononcer la réception des ouvrages (et donc prendre possession des composantes) qu'une fois le bâtiment livré et toutes les réserves levées.

Une manière de sécuriser les éléments fabriqués est donc une appropriation progressive par l'entreprise de construction en charge de leur mise en œuvre, qui peut alors régler le fabricant à l'avancement et mettre en place, sous sa responsabilité,

un transfert de propriété des composants. Dans ce cas, les éléments qui ont été fabriqués et réglés par le constructeur doivent être identifiés et stockés à un emplacement spécifique sur le site de fabrication. Cette disposition peut être constatée par un huissier.

Il est donc essentiel de s'assurer que l'entreprise de construction est :

- Soit assez solide financièrement pour couvrir le risque lié à l'appropriation progressive des composants hors site ;
- Soit couverte par une police d'assurance adaptée et qui couvre le risque sur un montant équivalent au prix de la production hors site.

Paiement à la livraison

Le paiement à la livraison ne peut se faire qu'une fois les éléments livrés et posés. Il est important de conserver la retenue de 5 % sur les montants des travaux concernés par les composants hors site au même titre que n'importe quel autre lot. Le fabricant installateur, (donc constructeur, doit apporter une garantie décennale couvrant ses ouvrages), reste responsable de la qualité de ses ouvrages jusqu'à la fin de la garantie de parfait achèvement.

LA CONTRACTUALISATION

La modification du déroulé du projet et de l'allotissement des marchés a un impact considérable sur la contractualisation du projet, depuis le mode de dévolution jusqu'à la réception des ouvrages.

1. En phase conception

Il est important de prendre en compte dans la contractualisation avec l'ensemble des intervenants de la phase de conception les grands changements qu'apporte la construction hors site.

Équipe de maîtrise d'œuvre

Compétences

Les équipes de maîtrise d'œuvre doivent revoir leur approche et leur méthodologie dans le cadre d'opérations ayant recours à la construction hors site.

En consultation classique, il est recommandé aux équipes de conception d'avoir des compétences en DfMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) et donc de prendre en compte les grandes caractéristiques dimensionnelles et structurelles des composants hors site envisagés pour le projet. Ce point est essentiel car il permet d'assurer que le projet sera compatible avec la mise en œuvre de composants hors site.

Si l'équipe de conception n'a pas les compétences en interne, elle devra s'attacher les services d'un partenaire réputé compétent.

Répartition de la mission

Le choix de la technique constructive et de l'entreprise qui sera en charge des différents lots est déterminant pour l'apparence finale de l'opération. Il est donc essentiel pour l'équipe de conception d'avoir une vision précise des techniques constructives qui seront mises en œuvre dans le projet et d'en comprendre les conséquences sur la conception architecturale avant que les premières caractéristiques du projet ne soient figées, donc au dépôt du dossier de permis de construire.

Deux approches peuvent être adoptées pour répondre à cette exigence :

- S'assurer que l'équipe de maîtrise d'œuvre investisse le temps et les ressources pour confronter leur conception à la réalité des modes de fabrication hors site éligibles pour le projet. Pour cela, il peut être nécessaire de contraindre l'équipe de maîtrise d'œuvre à intégrer un spécialiste de la construction hors site.
- Consulter les entreprises en amont afin de prendre en compte les spécificités du mode constructif attributaire avant le dépôt du dossier de permis de construire.

Quelle que soit l'approche adoptée, il faut prendre en compte le supplément d'études nécessaires à la constitution du dossier de permis de construire et ajuster la répartition des honoraires associée.

En retour, la phase PRO est allégée ; elle vise simplement la mise en conformité de la conception du projet avec les modes constructifs retenus.

Le deuxième jalon important qui fige la conception est l'ordre de service (OS) de fabrication (lancement de la fabrication des composants en atelier). L'ensemble des caractéristiques des composants hors site doit alors être figé, aucune modification ne sera possible une fois le processus de fabrication de la série lancé.

La mission de VISA des plans d'exécution n'est donc plus répartie sur la durée du chantier mais doit être finalisée – pour tout corps d'état en interface avec les lots hors site – avant le lancement de la fabrication des composants hors site afin d'assurer la bonne intégration et le bon assemblage des différents lots les uns avec les autres.

Le nouveau déroulé de projet pourrait être exprimé de la manière suivante (délégation par appel d'offres)

PHASE	DESCRIPTION	CHANGEMENT
ESQ	Esquisse classique	Intégration du Bureau de Contrôle (BC)
AVP (APS + APD)	Avant-projet	Validation du BC. Conception selon les méthodes DfMA.
DCE (lorsque la consultation est sur la base d'un APD)	Dossier de consultation des entreprises	Consultation des entreprises sur une description des performances et finitions à atteindre. La spécificité technique de la réponse est à la charge du répondant.
DPC	Dépôt de permis de construire	Dépôt d'un dossier prenant en compte les spécificités de la réponse lauréate.
PRO	Études de projet	Finalisation du niveau de détail du projet en collaboration avec les entreprises titulaires.
DET	Direction de l'exécution des marchés de travaux	VISA et validation de l'ensemble des plans d'exécution avant la fabrication des composantes hors site en atelier.

La consultation des entreprises (déroulé type loi MOP)

Lorsque la consultation des entreprises se fait sous la forme d'un appel d'offres, il est important d'apporter un certain nombre de modifications au processus de consultation classique afin de permettre aux entreprises de construction hors site de répondre avec leurs procédés constructifs.

La maturité du projet

La consultation des fabricants doit se faire selon deux paramètres :

- Elle doit se faire à un moment où le projet peut encore évoluer pour intégrer les spécificités du système constructif. Le projet ne doit pas être trop avancé et les détails du projet ne doivent pas être figés.
- D'un autre côté, la volumétrie, l'apparence et les principes architecturaux doivent être définis afin de mettre en valeur le travail de conception et de permettre aux équipes de maîtrise d'œuvre de concevoir un projet architectural qui réponde à un environnement urbain, culturel et politique.

Elle doit donc se faire avant le dépôt du permis de construire (étape qui fige l'apparence et les grands principes organisationnels du projet) mais le plus tard possible dans le processus de conception architecturale.

Une consultation des lots hors site en phase APD, avant le dépôt du permis de construire, est fortement recommandée.

Qui doit-on consulter ?

En préambule, il faut rappeler, que la consultation en entreprise générale n'est pas tolérée pour les organismes Hlm, sauf exception, le principe général reste le marché de travaux par allotissement.

Les lots séparés

La consultation en lots séparés reste le mode de consultation le plus utilisé en appel d'offres, mais c'est également celui qui nécessite l'analyse et la synthèse les plus fines des offres des entreprises. La démarche est d'autant plus complexe que la conception hors site implique souvent la constitution de macro-lots impliquant plusieurs corps d'états.

Le rôle de la maîtrise d'œuvre est essentiel dans ce cas de figure.

Tout d'abord, les étapes suivantes doivent être intégrées à la mission de mise au point des marchés de travaux (MDT) de la maîtrise d'œuvre :

- Analyse de la conformité de la solution proposée avec la conception architecturale ;
- Analyse des interfaces et des limites de prestations, notamment entre les lots hors site et les lots traditionnels ;
- Vérification des plannings et de l'organisation de la fabrication en atelier et de l'assemblage sur site.

Ensuite, la transformation du chantier en un lieu où se déroulent simultanément la fabrication in situ et l'assemblage de composants hors site complexifie grandement sa conduite opérationnelle. Elle doit être réalisée par une entreprise compétente ou qui s'attache les services d'un spécialiste (planificateur Lean, par exemple).

La consultation en corps d'état séparés est généralement moins coûteuse que la consultation d'entreprise générale, mais n'apporte pas les mêmes garanties qualitatives.



Figure 22 - Pose des façades à ossature bois (FOB) Techniwood en interface avec le gros œuvre béton sur la Cité Administrative de Lyon. © Z architecture.

Les entreprises générales

L'intérêt de l'entreprise générale réside dans sa prise en charge de l'ensemble des lots et dans son engagement au niveau du projet dans son ensemble. Il est dans le meilleur intérêt de l'entreprise générale que les travaux se déroulent dans les temps, selon le cahier des charges, et de la manière la plus efficace possible. Elle a une approche rigoureuse et extrêmement rationnelle de la fabrication du bâtiment afin de répondre aux exigences contractuelles.

Il n'est pas rare pour l'entreprise générale de recourir par elle-même aux composants préfabriqués dans la mesure où ils trouvent leur pertinence dans le modèle économique de l'entreprise ; ils sont alors la résultante de calculs au niveau des ressources de l'entreprise dans son ensemble, de disponibilité de main-d'œuvre, de planification interchantiers et de politiques internes d'évolution de l'entreprise.

L'obligation de résultat guide l'entreprise générale, et elle a de plus la maîtrise du chantier dans sa globalité. Il est plus difficile de contraindre une entreprise générale à recourir à la construction hors site, et il est essentiel de contractualiser ce mode constructif le cas échéant.

D'une certaine manière, l'entreprise générale permet une transition encadrée vers la construction hors site en allégeant l'équipe de maîtrise d'œuvre d'une partie de ses missions et en garantissant le résultat final à la maîtrise d'ouvrage. Cette tranquillité d'esprit a un coût de revient conséquent.

Quand le fabricant devient entreprise générale

Lorsque la consultation hors site porte sur des éléments structurels ou sur une part importante du bâtiment (exemple du bâtiment modulaire), la part résiduelle de construction peut ne plus être suffisante pour offrir le volume critique de travaux nécessaire à une entreprise générale.

Il arrive alors souvent que les fabricants de solutions hors site proposent de prendre le rôle d'entreprise générale et donc de

prendre en charge la gestion du chantier dans son ensemble, y compris les corps d'état complémentaires et la gestion des concessionnaires.

Cette situation est délicate et requiert une attention particulière. Le métier d'entrepreneur général n'est pas le même que celui de fabricant hors site, et il ne peut pas s'improviser à l'occasion d'un projet. L'adoption de ce type de montage doit être faite après une analyse rigoureuse de la solidité financière de l'entreprise, de ses références et après vérification du bon déroulement de ses dernières opérations.

Le cas échéant, il est préférable de consulter en lots séparés et de s'attacher les services d'une maîtrise d'œuvre d'exécution spécialisée dans les opérations hors site.

L'adaptation de documents de consultation

La modification de l'allotissement comme de la temporalité de l'opération hors site modifie de manière assez importante la constitution du dossier de consultation des entreprises.

L'approche performancielle

Le recours à des produits fabriqués selon un processus et un outil de production spécifiques apporte souvent des réponses techniques qui n'avaient pas été envisagées lors de la conception. Or, les dossiers de consultation contiennent la plupart du temps la description technique détaillée des ouvrages envisagés, matériaux et techniques de construction inclus.

Cette approche est qualifiée de « solutionniste », car dans sa recherche de performance, elle impose une réponse technique spécifique.

Pourtant, c'est bien la performance qui est recherchée dans la construction. Lors de la consultation de fabricants hors site, il est important de laisser la possibilité au fabricant de répondre selon les spécificités de son outil de fabrication et des produits qu'il est habitué à mettre en œuvre, tout en garantissant la performance finale.

Cette rédaction, qui vise à décrire les performances à atteindre dans les pièces de consultation, sera qualifiée d'approche performancielle. Lors de la rédaction des pièces de consultation sous forme performancielle, il sera essentiel de décrire les critères à respecter en termes de :

- Réglementation
- Performance technique : structurelle, acoustique, etc.
- Qualité du résultat : apparence, ressenti (effet ressort, par exemple)
- Qualités d'usage : réparabilité

Les CCTP seront réécrits dans ce sens.

L'allotissement

Il est clair que les lots ne peuvent plus être calés sur les corps d'état traditionnels et qu'il est important de revoir leur composition. Alors que les éléments réalisés sur place subiront très peu de changements, il est essentiel de créer de nouveaux lots qui comprendront les parties spécifiques de travaux réalisées hors site. Ils viendront donc « grever », en quelque sorte, les lots traditionnels.

Deux modifications sont à apporter aux pièces de consultation :

- **La constitution de lots spécifiques hors site** : ces lots comprennent l'ensemble des éléments réalisés hors site pour une typologie de composant donnée. Chaque lot hors site doit être restreint à une typologie de composant spécifique.
- **Le retrait dans les lots traditionnels des parties de marché réalisées en atelier** : les lots traditionnels doivent être ajustés en conséquence pour exclure les travaux réalisés hors site.

Leurs conséquences sont importantes :

- **Pièces graphiques du dossier** : les documents doivent clairement faire apparaître les composants réalisés hors site et ceux réalisés in situ. Leur géométrie, leur rôle et leurs performances doivent être clairement décrits.
- **CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières)** : ils doivent décrire les macro-lots et les lots traditionnels de manière complémentaire mais sans confusion. Les limites de prestations doivent être détaillées afin de permettre un assemblage et une intégration qualitative.
- **DPGF (Décomposition du Prix Global et Forfaitaire)** : elle doit également intégrer cette nouvelle décomposition des lots et permettre une analyse comparative de chaque lot.
- **Pièces complémentaires** : toute pièce nécessaire à la bonne compréhension du nouvel allotissement doit être incluse dans le dossier de consultation.

Les critères d'analyse des offres

Laisser l'entreprise proposer les détails de la solution technique pour la construction d'un bâtiment change la manière d'évaluer la performance d'une réponse à appel d'offres. En effet, permettre une marge d'interprétation du projet aux entreprises est un exercice non conventionnel et qui modifie les habitudes de l'ensemble des intervenants, depuis la maîtrise d'ouvrage jusqu'à la maîtrise d'œuvre.

Cependant, afin de respecter le code des marchés publics, il est essentiel de définir des critères d'évaluation pertinents, transparents et établis avant la consultation des entreprises. Les critères suivants devront donc être intégrés à la grille d'évaluation des offres des entreprises :

- **Respect de la conception architecturale** : notamment l'impact des solutions proposées sur la volumétrie et l'insertion architecturale.
- **Conformité des techniques proposées** : vérification de la nécessité d'ATEX ou d'autres validations techniques.
- **Performance d'usage des solutions proposées** : confort, réparabilité, durabilité, etc.

Les clauses administratives

Le principal impact sur les Cahiers des Clauses Administratives Particulières (CCAP) est lié à la réorganisation temporelle d'une partie des étapes de la conduite de projet.

Le permis de construire

Le permis de construire reste une étape critique du projet de construction ou de rénovation, il valide un projet qui doit souvent répondre stricto sensu aux exigences des règlements d'urbanisme comme à leur interprétation par les services d'urbanisme.

D'un côté, il est essentiel de consulter les entreprises ou les macro-lots prévus en approche hors site avant le dépôt du dossier de permis de construire et d'intégrer la réalité technique de la construction aux pièces du dossier.

De l'autre, il est important de se prémunir d'exigences urbaines ou architecturales qui rendraient la solution proposée caduque pour des raisons par exemple d'intégration dans le volume urbain (matériaux, reculs par exemple).

Afin de faire face aux aléas liés aux autorisations d'urbanisme nécessaires à la réalisation du projet, il semble préférable de contractualiser la dimension hors site à la suite de l'obtention définitive du PC. Dans le cas d'une consultation lancée en amont, il reste possible de prévoir dans le marché, soit par une clause de réexamen, soit par une tranche optionnelle ou encore une clause de sortie, les éventuelles conséquences associées à l'obtention ou au rejet du permis.

Les plans d'EXE et les VISAS

Fabriquer en atelier pour assembler sur site, c'est se donner l'opportunité de superposer les tâches et de réduire considérablement le temps de chantier.

Ce point est essentiel, car il suppose que l'ensemble des documents d'exécution des ouvrages supports aux composants hors site soit réalisé avant la réalisation des plans de fabrication en usine et le lancement de la production.

Cela signifie que la phase de VISA, troisième phase critique qui fige la conception du bâtiment, doit se dérouler en amont, avant même la production des plans de fabrication et donc bien avant l'ouverture du chantier. Cela implique que, pour un chantier de taille moyenne, l'ensemble des VISAS des lots hors site et en interface avec ces derniers soit traité 2 à 4 mois avant le démarrage des ouvrages de fondation.

Le non-respect de cette recommandation est un obstacle majeur aux gains de temps proposés par l'approche hors site.

La consultation des entreprises hors site

Les pièces du dossier de consultation destinées aux entreprises de fabrication hors site doivent également être rédigées spécifiquement pour cette approche constructive.

Pour la fabrication d'un ouvrage, les entreprises consultées doivent être des entreprises de construction, capables d'apporter les garanties légales et assurantielles nécessaires pour sécuriser la maîtrise d'ouvrage. C'est pourquoi il est fortement déconseillé de contractualiser directement avec une entreprise de fabrication hors site qui n'est pas un constructeur (simple fourniture de composants). Il appartient à une entreprise de construction de produire elle-même ou de se fournir chez un fabricant hors site. De cette manière, la garantie décennale et la responsabilité des ouvrages sont portées par une entreprise, qui est responsable de ses approvisionnements.

Une entreprise en charge de la mise en œuvre d'éléments de construction hors site doit être responsable des études, de la fabrication, de la fourniture, de la logistique, de la pose et de la livraison en parfait état des composants qui constitueront alors des ouvrages.

Trois points spécifiques à l'approche hors site nécessitent une attention particulière et doivent être demandés lors de l'appel d'offres :

- **La réception des supports** : l'entreprise aura à sa charge la réception des supports de ses composants hors site. Elle devra contrôler le respect des tolérances et du cahier des charges afin de garantir la performance des composants qu'elle assemble (planéité des sols pour les salles de bains, par exemple).

- **La validation de la technique par un bureau de contrôle** : chaque composant fabriqué hors site devra faire l'objet d'une validation par le bureau de contrôle lors de sa conception et de sa mise en œuvre.

- **Le Plan d'Assurance Qualité (PAQ)** : le PAQ garantit le suivi de la fabrication des composants en usine, détermine les points de contrôle et les critères de qualité à atteindre pour qu'un composant soit livré. Les points suivants seront intégrés au PAQ :

- Critères d'acceptabilité du contrôle qualité.

- Points de contrôle :

- Contrôle qualité des approvisionnements ;
- Contrôle qualité de la fabrication ;
- Contrôle de la qualité des éléments après transport et levage.

- Processus :

- Protocole de stockage des approvisionnements ;
- Méthodes de reprise des éléments qui ne passent pas le contrôle qualité.

- Traçabilité :

- Fréquence des contrôles ;
- Archivage et accessibilité des rapports de contrôle ;
- Remise de certificats de contrôle des composants sur site.

2. Les procédures d'attribution

Le mode de consultation le plus courant, qui découle du modèle dorénavant historique de la loi MOP, est souvent décrié comme un obstacle à la construction hors site en organisant la conception et la consultation comme des tâches successives au détriment de l'intégration de solutions industrialisées, et les consultations adaptées sont parfois considérées comme une solution préférable.

Consultation par appel d'offres

La procédure de consultation par appel d'offres est la plus courante aujourd'hui. Sa structuration, séparant clairement études de conception et réalisation, donne aux équipes de conception une maîtrise totale de la conception architecturale et technique du bâtiment, qui sera suivie d'une consultation d'entreprises qui devront faire une offre répondant aux spécificités du design (DCE réalisé sur plans phase PRO).

Lors de la consultation des entreprises, le niveau de détail des procédés constructifs est très avancé, et ne permet pas à une entreprise de répondre avec un système constructif équivalent en performance mais de composition différente de

la conception. C'est cet aspect de la consultation qui est très critiqué car il privilégie les solutions courantes génériques et pénalise les solutions propriétaires.

Cependant, cette procédure n'est pas immuable.

La temporalité des missions peut être réorganisée, et la consultation des entreprises peut se faire avant la réalisation d'un PRO par les équipes de conception, sur un niveau de conception de phase APD, par exemple.

Le déplacement de cette étape clé du projet permet de conserver une flexibilité dans la conception du détail du bâtiment tout en garantissant la conception architecturale.

Cette approche repose tout de même sur une conception par les équipes de maîtrise d'œuvre respectant les grands principes de l'approche hors site (tailles maximales, spécificités de recouplement, etc.) mais permet une consultation par appel d'offres tout en mettant la construction hors site à pied d'égalité avec les techniques de construction traditionnelles.

Déroulé sans consultation des entreprises avant dépôt du PC

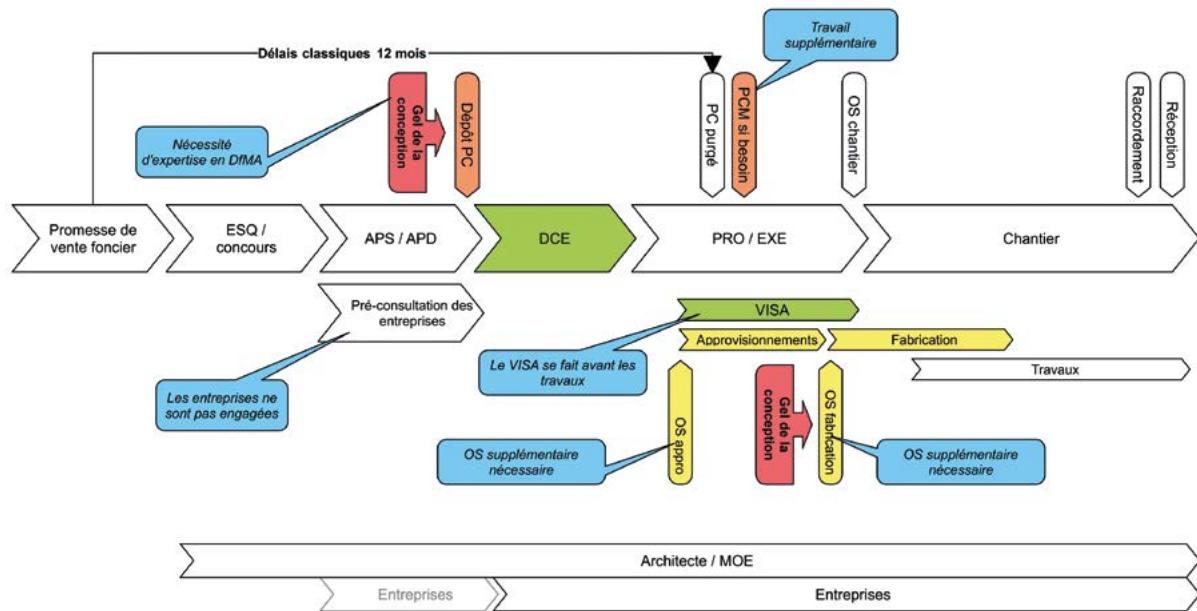


Figure 23 - Schéma de consultation classique avec prise en compte de l'approche hors site.

Déroulé avec consultation des entreprises avant dépôt du PC

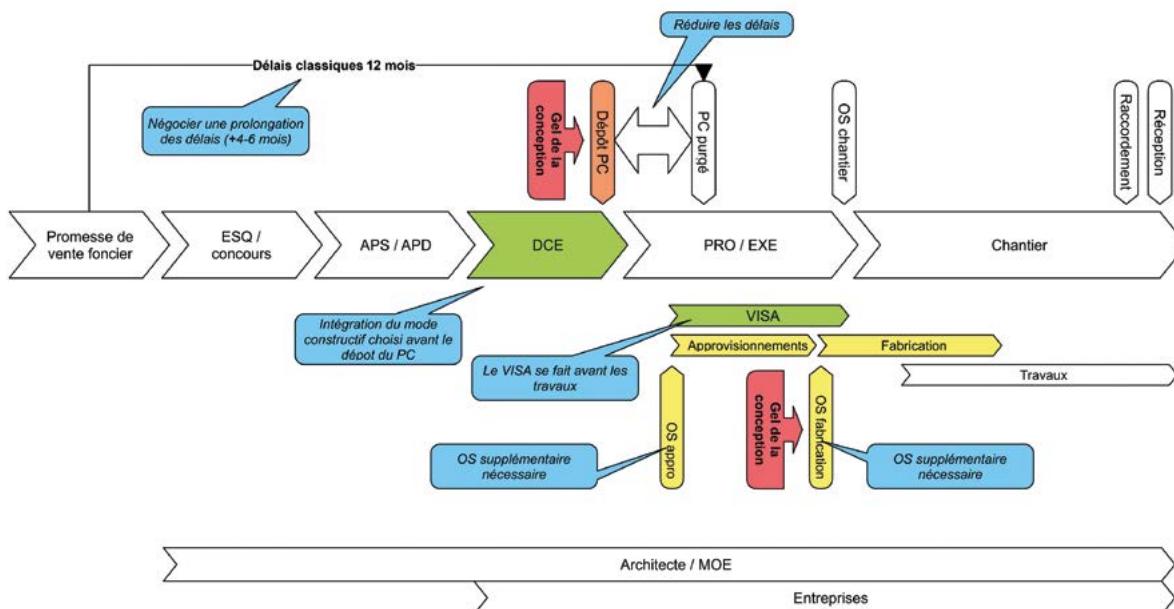


Figure 24 - Schéma de consultation des entreprises avant le dépôt du PC.



DES EXPÉRIMENTATIONS EN COURS

Certaines maîtrises d'ouvrage expérimentent avec la loi MOP afin de trouver un montage qui permette l'intégration des entreprises de construction hors site dès la phase esquisse sans pour autant sortir du cadre de consultation courant.

Cette approche a même donné lieu à la « Loi MOP inversée », principe de consultation qui vise à sélectionner les entreprises de construction hors site avant même de sélectionner les équipes de conception.

Le principe est le suivant :

Les entreprises sont consultées à partir d'une fiche de lot et d'un programme d'une maîtrise d'ouvrage pour remettre une offre et un cadre de validité de cette dernière : mode constructif, contraintes techniques.

Les équipes de conception sont consultées et doivent remettre des projets conformes aux modes constructifs des entreprises lauréates, donc à leurs cahiers des charges.

Le projet se déroule ensuite normalement, mais avec la mise en place d'une convention tripartite fixant un cadre de travail entre la maîtrise d'œuvre, les entreprises et la maîtrise d'ouvrage.

Ce principe de consultation expérimental permet de montrer qu'il est possible de remettre en question nos habitudes de consultation tout en respectant la loi sur les marchés publics. •

Déroulé selon la « Loi MOP inversée »

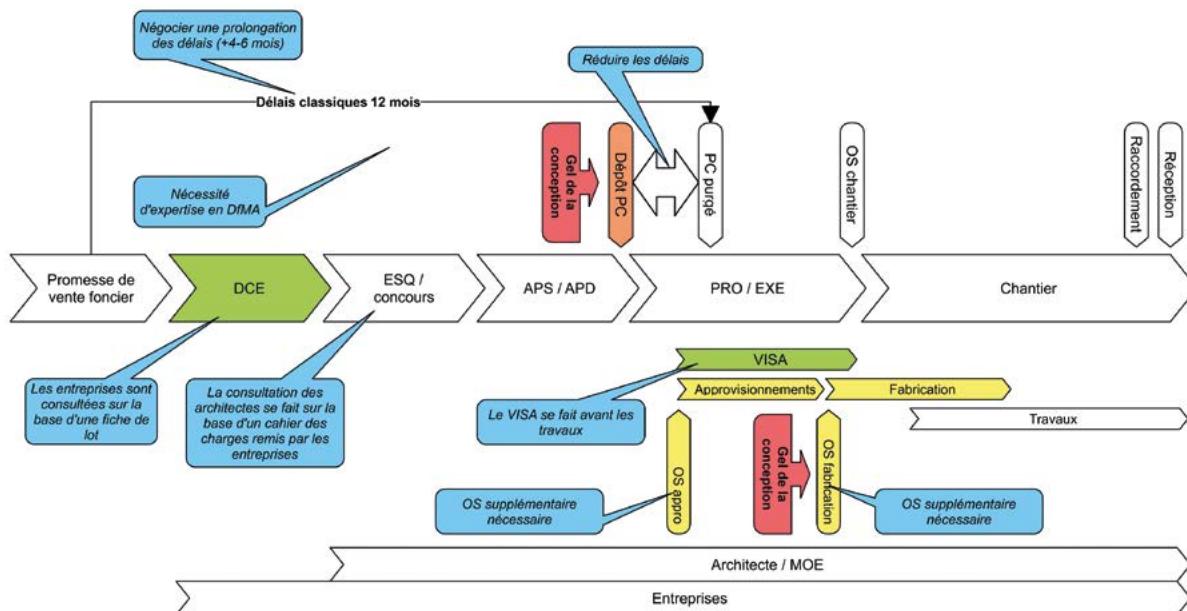


Figure 25 - Schéma de consultation dit « Loi MOP Inversée » (REX en cours).

Le dialogue compétitif et les procédures négociées : compétences

Ils comprennent notamment les marchés de conception-réalisation, les marchés globaux de performance et les contrats-cadres.

D'un côté, ces procédures permettent, dès la phase APS, d'allier conception et réalisation dans une même équipe, et donc de proposer des projets complets, dont la composition et la qualité sont définies, avec une offre financière ferme et définitive à la maîtrise d'ouvrage. Cela permet une intégration directe de la

technique dans la conception et de s'affranchir des aléas liés à la consultation des entreprises. Il s'agit de l'approche idéale pour une entreprise générale, un fabricant ou un industriel.

De l'autre côté, cette approche est parfois critiquée par les MOE et notamment des architectes, ces derniers considérant que des conflits peuvent exister avec la mission de conseil du MOA. Le MOA n'a pas de visibilité sur l'existence potentielle de conflits au sein du groupement sur les arbitrages retenus en matière d'orientation des techniques de construction.

Grille comparative des modes de consultation

Le cas spécifique des accords-cadres

Dans le cas où le volume de commande par opération est faible, mais que la typologie de l'opération se retrouve sur différents projets, il peut être intéressant de mettre en place un accord-cadre.

L'accord-cadre permet de regrouper un ensemble de marchés (marchés subséquents) et ainsi d'augmenter le volume de commande lors de la consultation des entreprises. Il s'agit d'une solution élégante et sécurisante pour la maîtrise d'ouvrage comme pour les entreprises.

Cet outil de massification de la commande permet d'actionner le levier de volume de commande essentiel à l'atteinte des objectifs de prix pour les petites opérations et à leur optimisation pour les grandes.

Dans le cas de la mise en place d'accords-cadres, il est important de :

- **Bien identifier la typologie d'opération cible** correspondant à une réponse technique unique.
- **Vérifier le volume d'opérations réalisables** selon l'accord-cadre. Chaque opération deviendra un marché subséquent.
- **Fixer un minimum d'opérations à inclure dans l'accord-cadre**, c'est l'engagement de volume qui permet de motiver les industriels.
- **Consulter des groupements opérationnels** et capables de répondre ensemble sur l'ensemble des consultations subséquentes.

Les accords-cadres prennent de 4 à 5 mois en moyenne à être mis en place.

Grille comparative des modes de consultation

Mode de consultation MOE	Déroulé selon loi MOP	Loi MOP adaptée	Loi MOP inversée	Conception / réalisation	Accord cadre
Type de projet	Projets moyens, grands, très grands	Projets moyens, grands, très grands	Projets moyens, grands, très grands	Tous projets	Projets de massification
Spécificités	Aucune, déroulé classique	Déplacement de la consultation des entreprises hors site avant le dépôt du PC	Consultation des entreprises préalable à la consultation des MOE	Consultation simultanée entreprises / MOE	Sélection des entreprises puis consultation restreinte
Respect des objectifs hors site	Lié à la volonté politique et de l'équipe de conception	Lié à la compétence et la volonté de l'équipe de conception	Imposé par le mode de consultation	Lié à la compétence et la volonté du groupement	Imposé à la sélection des lauréats de l'accord cadre
Intégration du DfMA	Besoin d'expertise importante pour intégrer les modes constructifs hors site. Pré-consultation des entreprises en conception recommandée	Besoin d'une expertise généraliste pour orienter les grands choix constructifs en APS-APD	Prise en compte "native" des spécificités du mode constructif par la pré-consultation des entreprises	Prise en compte dès la conception du projet	
Impact promesse de vente	Aucun	Délais plus importants avant le dépôt de PC, recherche de délais prolongés (4 à 6 mois)		Aucun	
Impact sur le PC	Besoin d'un PC modificatif selon le mode constructif retenu	Nécessité d'accélérer l'instruction du PC par la préconsultation des services concernés (urbanisme, sécurité, accessibilité, ABF, mairie). Demander une instruction accélérée si possible		Aucun, déroulé classique	
Impact sur le PRO	La MOE doit connaître parfaitement ses modes constructifs et l'offre pour réaliser un PRO cohérent	Réalisation du PRO avec les entreprises, accélération induite des VISAS Besoins d'une convention de travail tripartite MOE-ENT-MOA pour arbitrage le cas échéant entre technique et conception		Réalisation du PRO avec les entreprises, accélération induite des VISAS	
Impact sur le DCE (macro-lots hors site)	Adaptation des pièces du DCE pour intégration des macro-lots hors site et des limites de prestation		Réalisation d'un DCE sur fiche de lot et intentions urbaines Remise par les entreprises de cahiers des charges techniques pour la conception architecturale	Consultation des groupements sur cahier des charges construction / rénovation hors site	Consultation initiale des entreprises sur cahier des charges construction / rénovation hors site
	Le DCE doit décrire en détail les dispositions constructives, ce qui limite les réponses d'entreprises	Réalisation d'un DCE avec objectifs performanciers et non pas solutionnistes Intégration d'une clause de revoyure / condition suspensive liée à l'obtention du PC			

Figure 26 : grille comparative indicative des modes de consultation.

PHASE RÉALISATION

La phase de réalisation doit s'appuyer sur une équipe de coordination et de conduite de chantier solide et capable d'encadrer un processus de construction hors site.

1. L'impact pour la coordination de chantier

Les gains de temps relatifs à la construction hors site sont possibles grâce à la superposition des tâches, notamment la fabrication simultanée des composants hors site, souvent en parallèle avec le démarrage du chantier (installation, fondations et gros œuvre).

Cette nouvelle organisation des tâches n'est possible que sous certaines conditions :

- Les plans d'exécution sont réalisés en amont, et les ouvrages réalisés sur place sont conformes aux plans, ce qui requiert un suivi particulier.

- Les ouvrages supports sont livrés à temps et ne nécessitent pas de reprises de conformité (planéité, dimensions).
- Les composants hors site sont validés à temps et leur fabrication est suivie.
- Les livraisons des composants hors site sont planifiées en « juste à temps », et les entreprises les mettent en œuvre immédiatement.
- Chaque retard ou délai supplémentaire est répercuté immédiatement chez les fournisseurs de composants hors site.
- Les composants hors site sont protégés une fois mis en œuvre sur le chantier, leur intégrité est régulièrement vérifiée.

Une note spécifique et des engagements contractuels seront demandés à la structure en charge du pilotage du chantier afin de garantir que les compétences et les ressources nécessaires soient attribuées à la gestion du chantier.

La coordination du chantier spécifique à l'approche hors site

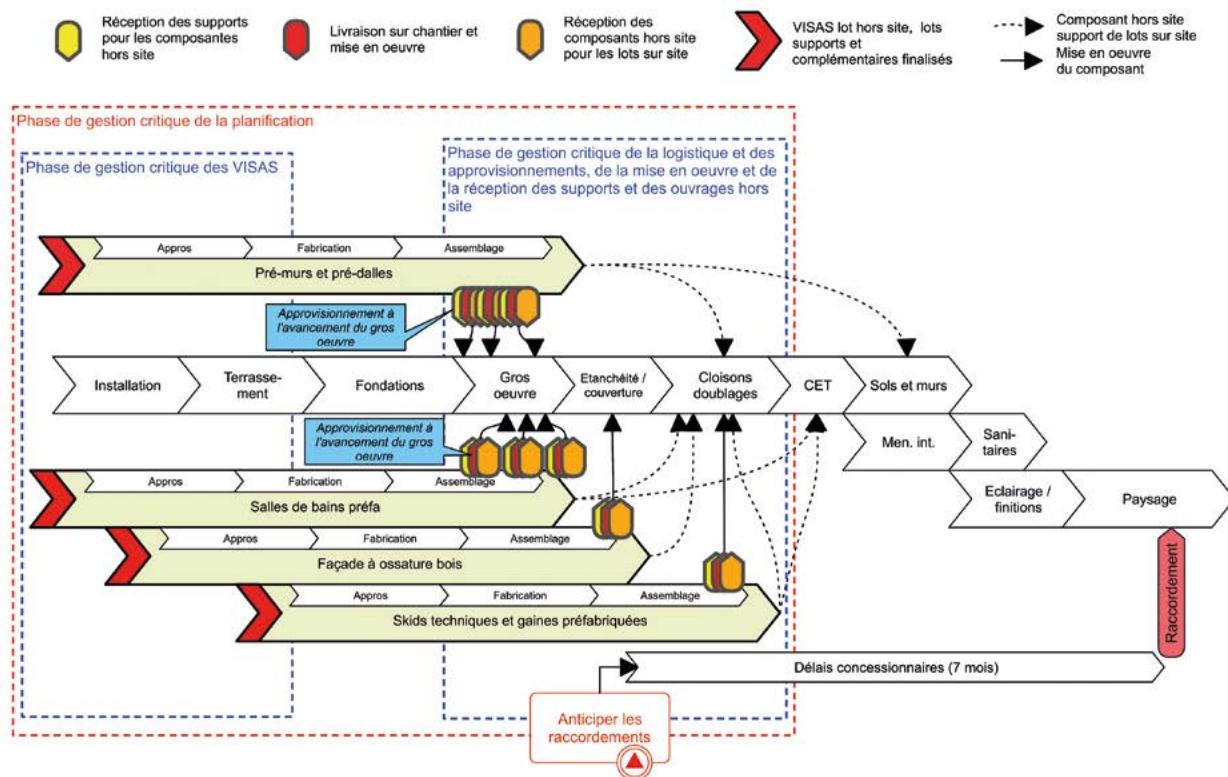


Figure 27 : Schéma explicatif de l'importance de la coordination du chantier dans l'approche hors site.

2. La mission spécifique du bureau de contrôle :

La mission du bureau de contrôle telle que décrite par la NF P 03-100 couvre le déroulé traditionnel d'un projet, mais pas la fabrication des composants hors site. C'est pourquoi il est important de s'assurer que sa mission couvre la fabrication de ces composants, idéalement avec des contrôles en usine, ou au minimum par un contrôle des engagements du fabricant et une vérification que le plan d'assurance qualité couvre bien l'ensemble des points d'attention du processus.

Le bureau de contrôle devra, quelle que soit la situation, s'assurer de la conformité réglementaire et normative des procédés constructifs envisagés et mis en œuvre sur site comme en atelier. Il sera investi d'une mission de suivi d'ATEX le cas échéant.

3. Les ordres de service

La superposition des tâches modifie le déroulé de la phase de réalisation dans son ensemble, et la fabrication des éléments hors site n'étant plus séquentielle, il arrive souvent qu'elle doive démarrer avant le lancement du chantier.

Deux étapes clés doivent être anticipées dans le déroulé d'une opération hors site :

- **Une phase EXE et VISA en amont importante** : l'ensemble des travaux réalisés sur place comme en atelier doivent être définis très tôt dans le processus.

- **La mise en place d'ordres de service spécifiques «hors site»**, qui permettent de lancer la production des composants hors site sans devoir attendre l'OS chantier :

- L'OS « approvisionnements », qui permet de lancer les approvisionnements chez le fabricant et de débloquer les fonds afférents.
- L'OS « fabrication », qui permet de lancer la fabrication des composants hors site avant le lancement du chantier.

Ces nouvelles étapes doivent être intégrées au contrat de maîtrise d'œuvre le cas échéant.

4. Le premier de série

Dans une opération courante, des témoins sont réalisés in situ. À la demande de la maîtrise d'ouvrage ou de l'équipe de maîtrise d'œuvre, les entreprises réalisent, in situ, un morceau de l'ouvrage qui servira pour finaliser les choix techniques et architecturaux et servira d'échantillon qualitatif pour le reste de la construction. Le témoin peut être réalisé à l'échelle de la façade ou même d'un logement.

Le premier de série est en quelque sorte le témoin transposé à la fabrication en atelier. Il est nommé premier de série car c'est le premier exemplaire d'un nombre défini d'éléments qui constituent une série. Il apporte les mêmes avantages qu'un témoin, en permettant un ajustement et un contrôle de la qualité technique et architecturale, mais permet également au fabricant de valider, améliorer et optimiser son process de fabrication pour produire les composants hors site de la manière la plus qualitative et efficace possible.

Le premier de série peut être visité en atelier ou sur site selon le planning de construction et la taille de l'opération.

Les visites du premier de série doivent être prévues au déroulé du projet et correspondre au planning de fabrication de l'industriel. La maîtrise d'ouvrage, l'équipe de maîtrise d'œuvre et le bureau de contrôle doivent participer à cette visite.

Le premier de série doit faire l'objet d'une validation par l'équipe de maîtrise d'œuvre et le bureau de contrôle avec l'accord de la maîtrise d'ouvrage. Si cette visite donne lieu à l'émission de réserves, de remarques et de demandes de modification substantielles, la validation n'est pas prononcée et une contre-visite est planifiée afin de valider un premier de série représentatif de la production finale.

5. La réception

L'approche hors site ne change rien à la constitution finale et à la qualité des ouvrages attendue par la maîtrise d'ouvrage. Il est donc essentiel de ne prononcer la réception finale des éléments fabriqués hors site que lors de la réception du bâtiment.

Des constats de qualité intermédiaires peuvent être réalisés aux frais de l'entreprise de fabrication hors site, afin de garantir la qualité de sa production et d'alléger sa responsabilité en cas de dégradation, mais ils ne valent pas réception. Le titulaire du marché reste responsable de l'ensemble de son allotissement durant les périodes légales traditionnelles.



EN CONCLUSION

La mise en œuvre d'une opération hors site requiert une adaptation des méthodes traditionnelles de gestion de projet. La constitution d'une équipe opérationnelle compétente est primordiale, incluant un assistant technique à maîtrise d'ouvrage (ATMO) pour accompagner le changement, un bureau de contrôle impliqué dès les phases initiales, et une collaboration étroite entre les intervenants, facilitée par des outils comme le BIM. La gestion financière du projet doit être réévaluée pour prendre en compte les spécificités de la fabrication en atelier, avec une redistribution des honoraires d'études et une adaptation des échéanciers de paiement pour les approvisionnements et la production des composants hors site. La contractualisation nécessite une révision de l'allotissement des marchés, une définition claire des critères d'analyse des offres et une attention particulière aux clauses administratives, notamment concernant le permis de construire et les plans d'exécution. Enfin, la phase de réalisation demande une coordination rigoureuse, en anticipant les ordres de service spécifiques à la fabrication hors site et en assurant une réception conforme aux exigences de qualité. Cette approche intégrée permet de maximiser les avantages de la construction hors site tout en maîtrisant les risques associés, garantissant ainsi la réussite du projet. •

Intégration des lots hors site dans le flux chantier

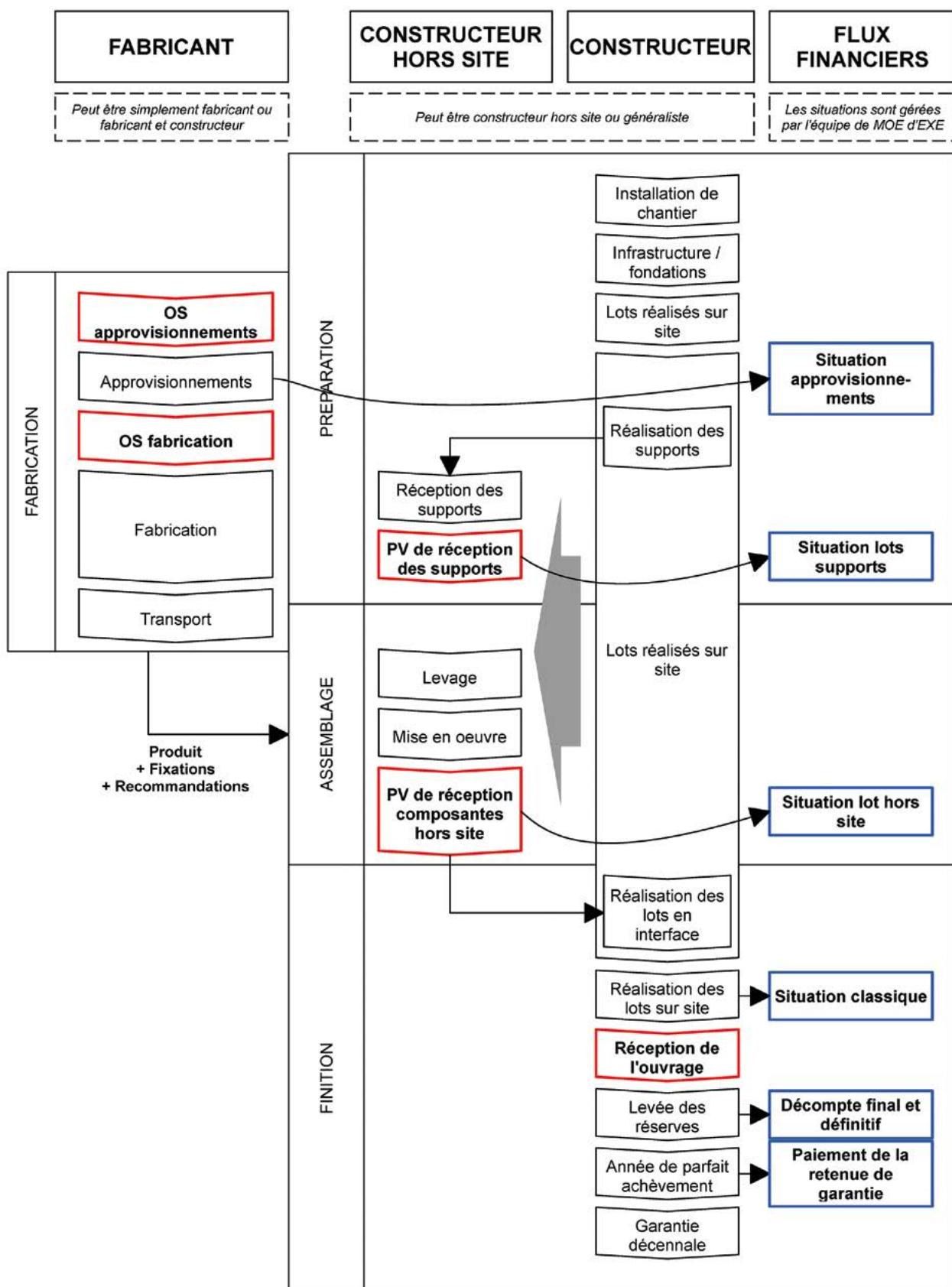


Figure 28 - Schéma indicatif de l'intégration des lots hors site dans le flux de chantier.

04



Pilotage opérationnel

LE
T
PART
PAR

La dernière partie de ce guide propose un ensemble de recommandations pour la conduite et le suivi opérationnel d'une opération en approche hors site. Cette section est rédigée comme un guide pratique auquel le lecteur peut se référer directement en fonction de la phase actuelle du projet.

ÉTUDE DE FAISABILITÉ HORS SITE

1. L'acquisition du foncier

Il est essentiel, dès l'acquisition du foncier ou la signature de la promesse de vente, de prendre en compte les conditions suspensives, notamment relatives à l'obtention d'un permis de construire.

Dans le cas de la construction hors site (hors conception-réalisation), les délais de mise au point du dossier de permis de construire peuvent être plus longs afin de permettre à l'équipe projet d'étudier avec les entreprises les solutions constructives les mieux adaptées, que ce soit par *sourcing* d'informations ou par consultation anticipée des entreprises.

Lorsque ces délais sont négociables, notamment dans le cas d'acquisition du foncier auprès d'un aménageur, d'une foncière ou d'une collectivité, il est recommandé de rallonger la durée de la clause à 15 ou 16 mois afin de prendre en compte une consultation anticipée des entreprises.

Dans le cas où ni les délais ni le mode de consultation des entreprises ne sont négociables, un travail particulier sera réalisé pour sécuriser les temps d'études nécessaires à l'intégration du DfMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) dans la conception du projet tout en respectant les délais de la promesse de vente. Une gestion du planning en LEAN (élimination des temps morts) et une prise de contact préalable avec les services d'instruction pour sécuriser l'instruction du permis de construire sont à considérer dès la faisabilité du projet.

2. La programmation de l'opération et le cahier des charges

Bien que l'approche hors site réponde à toutes les typologies de projet, il faut s'assurer que les grands paramètres de programmation et d'exigences techniques soient favorables à cette approche.

Le cahier des charges

L'approche hors site et la fabrication à l'aide de procédés et d'outils industriels permettent de remettre en question les usages du bâtiment pour offrir, dans une recherche constante de l'optimisation de la fabrication, le meilleur rapport qualité/délais/prix.

Dans cette recherche, les industriels repensent les matériaux et leur mise en œuvre, notamment les matériaux de doublage et de finition des parois.

Il est donc essentiel de revoir les référentiels et les cahiers des charges des bailleurs sociaux et des exploitants afin de permettre aux industriels de proposer des

solutions alternatives aux approches les plus courantes sans pour autant diminuer le niveau de qualité attendu.

Pour cela, il suffit de basculer les cahiers des charges basés sur une prescription de moyens (matériaux, qualité) en cahiers des charges avec obligation de performance (qualité de la finition, facilité de nettoyage et de maintenance), afin de permettre aux fabricants de répondre avec des solutions qualitatives alternatives.

La programmation

La programmation doit également être adaptée à une approche hors site. Les modes constructifs peuvent avoir un impact plus ou moins important sur la densité du bâti, notamment dans le cas d'une approche modulaire 3D. Les épaisseurs de plancher résultant de doubles parois (un plafond de module, un vide et un plancher bas du module supérieur) peuvent rapidement affecter la capacité du volume constructible.

Il est donc essentiel de réaliser une faisabilité sommaire prenant en compte les caractéristiques principales du mode constructif envisagé afin d'assurer la compatibilité des exigences programmatiques.

La composition macro du programme influence également les modes constructifs à l'échelle du projet. Différentes destinations de surfaces portent des contraintes particulières et influencent sa composition. Les programmes peuvent être simples (logement pur) ou mixtes (locaux d'activités, ERP et logements).

Le cas échéant, il convient de vérifier que la programmation permette de compartimenter clairement les différentes destinations fonctionnelles et de les séparer géométriquement (par exemple, ERP au rez-de-chaussée et logements aux étages, ou une destination par cage d'escalier). Cette disposition limite les interfaces et facilite le recours aux procédés hors site.

3. S'orienter vers une approche hors site

Processus décisionnel

Il faut évaluer la capacité hors site du projet dès la phase de faisabilité, au moins dans les grandes lignes.

La typologie de bâtiment, sa destination, le contexte politique et réglementaire sont autant d'éléments à prendre en compte pour orienter le projet.

À ce stade, il s'agit d'appliquer la méthode du « qui peut le plus peut le moins », l'idée étant que si un projet est conçu selon l'approche la plus exigeante (modulaire 3D), alors il est constructible en approche hybride, 2D ou même traditionnelle. La réciproque n'est pas vraie ; on ne peut pas construire en modulaire 3D un bâtiment qui a été conçu pour une approche traditionnelle.

Ce principe de perméabilité de la construction hors site apporte un niveau de sécurité supplémentaire à la maîtrise d'ouvrage. Une opération conçue en modulaire 3D peut être dégradée en 2D + pods techniques (salles de bains), qui peut à son tour être dégradée en opération béton bas carbone préfabriqué et 2D, puis être réalisée selon une approche traditionnelle.

De nombreuses opérations suivent ce processus qui garantit notamment la capacité du tissu industriel existant à répondre aux consultations sur ces projets.

Les paragraphes suivants décrivent une approche méthodologique pour déterminer si un projet peut être approché en 3D, hybride ou traditionnel.

Description de l'approche

Déterminer si les opérations sont éligibles à la construction modulaire 3D

Une première catégorisation à grande maille permet de sélectionner les bâtiments constructibles en modulaire 3D. Il faut considérer les typologies de projets suivantes :

- Les opérations de réponse à l'urgence (critère délais essentiel) ;
- Les opérations temporaires ou déplaçables (seul le modulaire 3D répond à cette problématique) ;
- Les résidences gérées (unités d'habitation < 24 m²) ;
- Les maisons individuelles en petit nombre (< 20) ;
- Les logements intermédiaires (petits collectifs) en petit nombre (< 20).

Ces types de projets sont particulièrement adaptés à la construction 3D, alors que :

- Les logements familiaux courants ;
- La rénovation.

Sont des typologies de bâtiments favorables à la construction hybride.

Filtrer les projets compatibles avec le contexte

Une fois une opération éligible au modulaire 3D, il faut procéder à une première analyse rapide pour mesurer la compatibilité du mode constructif avec son environnement :

- **Règles d'urbanisme** (hauteurs d'étage, hauteurs constructibles, attiques) : vérifier que les règles d'urbanisme permettent d'absorber les contraintes liées au modulaire ;
- **Environnement politique et architectural** (volonté municipale, servitudes d'utilités publiques impliquant l'accord ou l'avis des Architectes des Bâtiments de France (ABF), matérialités obligatoires) ;
- **Perception du mode constructif** : acceptation par les parties prenantes.

Niveau de prescription de l'approche

Enfin, il est important d'adopter un positionnement clair quant aux exigences hors site du projet.

Dans le cas des logements d'urgence ou des logements déplaçables, l'approche modulaire est fortement recommandée, étant est la seule capable de réduire drastiquement les délais et d'être démontée ou déplacée.

Dans les autres cas, il est important d'ouvrir la consultation à des approches variées et de permettre aux concepteurs comme aux constructeurs de répondre avec une approche qualitative correspondant à une réalité architecturale et industrielle.

Cependant, l'adoption de modes constructifs hors site n'est pas encore un réflexe pour les constructeurs et doit se faire à l'initiative de la maîtrise d'ouvrage.

Il est donc essentiel de fixer un niveau d'exigence hors site qui corresponde aux ambitions de la maîtrise d'ouvrage. Le référentiel de la construction hors site de la Filière Hors Site France est un support solide pour formuler ces exigences.



Figure 31 - Finitions intérieures d'une résidence gérée à Nantes (Moon Architectures). © Avelis - Cédric Colin



Figure 32 - Vue d'une chambre réalisée en modulaire 3D dans la même résidence (Moon Architectures). © Avelis - Cédric Colin

Organigramme décisionnel d'orientation du mode constructif

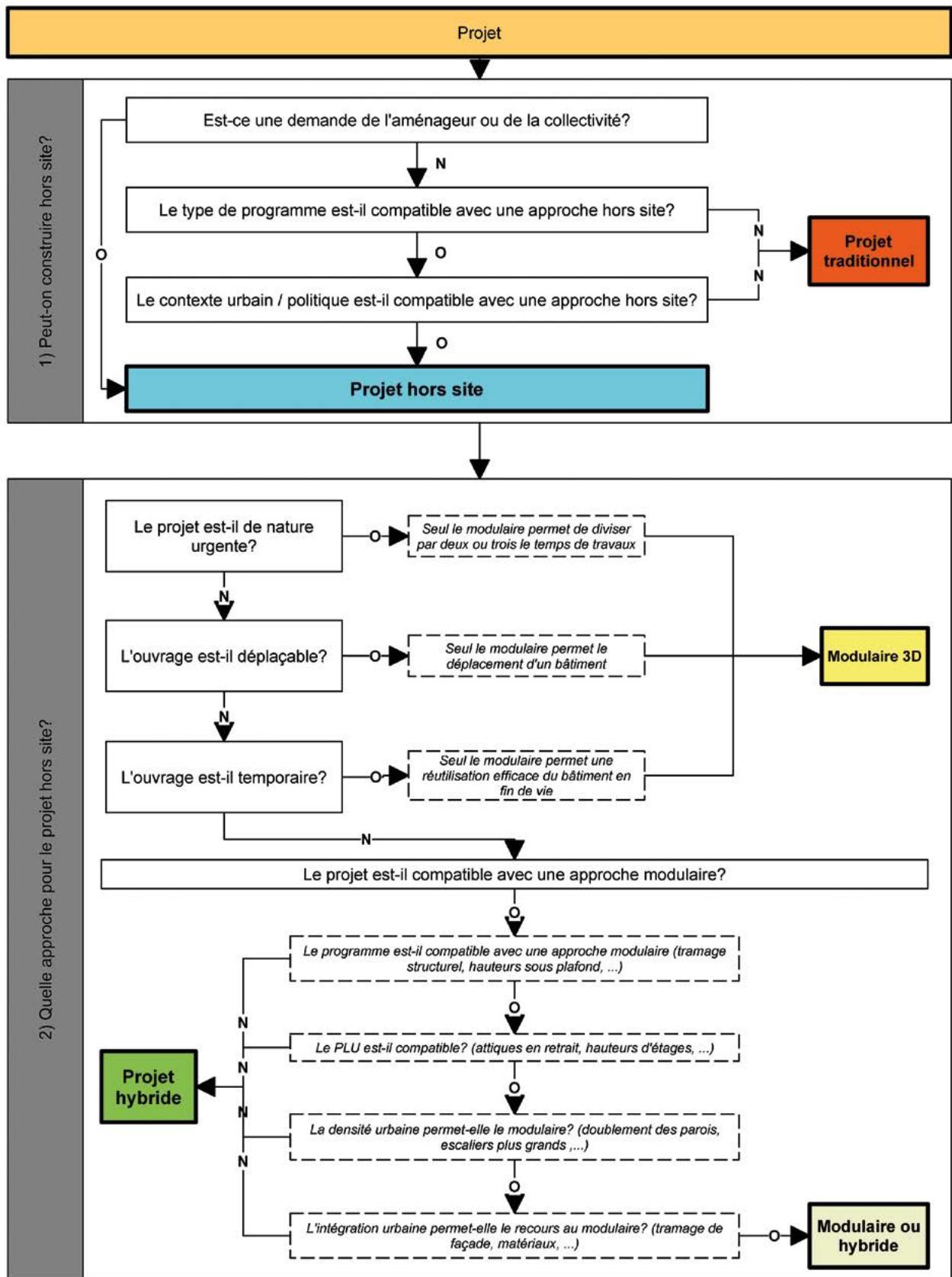


Figure 33 - Organigramme décisionnel d'orientation vers un mode constructif.

L'ASPECT CRITIQUE DE LA PHASE DE DIAGNOSTIC POUR LA CONSTRUCTION ET LA RÉNOVATION

La construction hors site repose sur la mise en œuvre de composants réalisés en usine sur le site de construction. Que ce soit une construction neuve ou un projet de rénovation, ces éléments sont assemblés sur un support existant ou réalisé sur place.

Les équipes de conception doivent procéder, dès les premières esquisses du projet et tout au long de son développement, au diagnostic de l'existant et à l'évaluation de sa compatibilité avec les approches hors site. Ce diagnostic doit porter notamment sur les aspects suivants :

1. La taille du projet

La taille du projet est déterminante dans le *sourcing* d'entreprises capables de répondre à la consultation. Les tailles de projet ont été définies plus haut (cf. Le paramètre de taille du projet). De manière synthétique :

- **Petits projets** : un très petit projet suscite peu d'intérêt pour un industriel dont l'objectif est de saturer son outil de production. Les études spécifiques (développement de produit pour le projet) sont coûteuses et nuisent à l'économie du projet. Dans ce cas, l'avantage de l'approche hors site repose sur le recours à des produits « catalogue », dont le fabricant maîtrise parfaitement la fabrication et la livraison sur site. Cette approche permet de trouver des fabricants pour des projets dont la taille restreint fortement la consultation.
- **Projets de moyenne et grande taille** : ces projets sont adaptés à la consultation hors site de manière générale.

L'approche de massification permet de s'affranchir des objets catalogue pour les petits projets en proposant de regrouper la commande et d'augmenter le volume. Elle repose sur une réponse identique mise en œuvre sur plusieurs projets et suppose que les projets soient adaptés à la répétition d'un produit. Une phase de diagnostic amont et d'identification des projets similaires est nécessaire à ce type de démarche.

2. Le foncier

Le foncier et les règlements d'urbanisme ont une influence prépondérante sur l'approche hors site et le choix des modes constructifs. Un foncier sera qualifié de contraint lorsque son volume constructible est défini et présente très peu de marge de manœuvre.

Un foncier contraint en plan est peu favorable à une approche modulaire 3D qui, par définition, implique des épaisseurs de parois intérieures verticales et horizontales plus importantes que l'approche hybride, une trame structurelle régulière et non tronquée, et des épaisseurs de plancher importantes (environ 50 cm).

Un foncier contraint orientera donc le projet plutôt vers une approche hybride flexible, qui permet une liberté de volumétrie du bâtiment importante et respectueuse des intentions urbaines.

Pour la rénovation : un diagnostic en profondeur

L'existant, sa nature et sa composition sont critiques pour l'identification des solutions constructives les plus adaptées. Le diagnostic permet de poser des bases solides pour les études des modes constructifs et d'orienter progressivement les équipes de conception vers des solutions qui mêlent efficacité technique et économique.

En phase esquisse :

Dès l'esquisse, il faut déterminer si l'existant offre une base compatible avec les procédés constructifs retenus. Deux grands critères permettent à cette phase du projet, et sans diagnostic invasif, d'évaluer la compatibilité de l'existant :

- **La composition des élévations de l'existant** : les approches hors site actuelles ne sont efficaces que dans la répétition d'éléments identiques à l'échelle du projet. Il faut donc s'assurer que la composition des façades du bâtiment offre un potentiel de répétitivité suffisant.
- **La typologie structurelle du bâtiment** : les structures de type poteaux-poutres avec façades non porteuses sont les plus faciles à traiter en construction hors site. En effet, cela permet de simplement remplacer des éléments de façade aux performances dépassées par de nouveaux éléments. Les façades structurelles avec remplissages sont plus difficiles à traiter, car l'approche hors site devient une approche par « seconde peau » qui doit épouser les spécificités de l'existant. Une analyse fine de la géométrie exacte de l'existant et de l'ensemble de ses imperfections est alors nécessaire pour préfabriquer des éléments qui épousent parfaitement le bâtiment. Cette analyse sommaire devra être consolidée après attribution du projet par un géomètre-expert afin de garantir la fiabilité des données.



Figure 34 : Rénovation thermique par l'extérieur en panneaux 2D préfabriqués (Les Biscottes, architecte : Équateur). © Coline Bublex

Le diagnostic en phase conception :

Plus le travail de conception avance, plus le diagnostic exhaustif de l'existant est critique au succès de l'opération. Il faut alors étudier notamment les aspects suivants :

- **L'évaluation des composants nécessaires à remplacer** : cela permet d'ajuster le programme de rénovation à l'état réel du bâti, y compris les matériaux dangereux, les composants vétustes ou au contraire ceux qui peuvent être conservés (vitraux performants par exemple). Ce diagnostic doit être réalisé par des intervenants spécialisés dès l'attribution du projet.
- **Le relevé précis des dimensions de l'existant** : la phase esquisse, permettant de désigner un lauréat, ne permet pas une étude précise de la composition du bâti et de ses variations selon la hauteur et la localisation des éléments dans le bâtiment. Un relevé par nuage de points réalisé par un géomètre-expert est nécessaire pour fiabiliser les dimensions avec les tolérances nécessaires à la fabrication de composants hors site dès la phase APD (Avant-Projet Détaillé).
- **La qualité structurelle variable du bâtiment** : il n'est pas rare de se rendre compte lors du chantier que la qualité de la construction varie en fonction de l'étage du bâtiment. Certaines constructions ont des bétons moins résistants aux étages supérieurs car ils sont moins sollicités. Le diagnostic structurel doit donc être exhaustif et relever tous les points singuliers de la construction existante, surtout dans le cas de la construction hors site qui rajoute souvent un poids conséquent aux façades nécessaire à la performance de l'enveloppe. Ce diagnostic doit être réalisé dès la phase APD par un bureau d'études compétent afin de garantir la performance des supports comme des fixations des solutions rapportées.

Le site dans son environnement et son territoire

La construction hors site, par son principe d'agrégation des composants du bâtiment en atelier, nécessite l'acheminement

d'éléments de taille et de poids plus conséquents que pour un chantier traditionnel. Cette contrainte logistique importante est à prendre en compte lors de la conception du projet, par l'implication d'un bureau d'études Méthodes spécialisé dès les phases amont.

Les points clés à analyser comprennent notamment :

- **La faisabilité du transport sur site** : accessibilité du site contrainte par des ponts, des largeurs de voiries, des rayons de giration, par exemple.
- **L'existence de zones de déchargement** : elles doivent pouvoir être mobilisées sur des durées conséquentes pour la manutention des éléments hors site depuis le camion jusqu'au lieu de pose. Ces zones doivent être à proximité des outils de levage du chantier et ne pas gêner la circulation (voie pompiers, par exemple).
- **La capacité du site à accueillir une zone de stockage temporaire** : elle servira le cas échéant (on essaie toujours de livrer en « juste à temps ») à stocker des éléments hors site (prévoir de stocker une livraison).

La capacité des industriels de répondre à la commande

Selon les régions et les ambitions de développement local des projets, il est nécessaire de s'informer sur les entreprises capables de répondre au marché. En fonction du mode constructif envisagé, il existe un nombre plus ou moins important d'acteurs disponibles selon l'ambition d'un rayonnement local, à l'échelle du territoire ou de l'hexagone.

Il n'existe pas aujourd'hui de listing exhaustif des industriels et de leurs approches à l'échelle nationale. Selon les régions, il est possible de se rapprocher des associations régionales de bailleurs sociaux ou des pôles de compétitivité pour obtenir une liste partielle des industriels disponibles. On peut également trouver sur Internet des listes de fabricants complémentaires (Campus Hors Site, Filière Hors Site France, acim.pro).

PHASE CONCEPTION

La conception est la phase la plus importante pour le succès d'un projet de construction ou de rénovation hors site. Lors de cette phase, les grandes orientations constructives sont prises, et de ces décisions vont découler l'ensemble de la conception et de la réalisation du bâtiment.

Un certain nombre de maîtres d'œuvre défendent l'idée que les composants hors site s'adaptent à la conception et permettent de construire un projet qui est conçu de manière libre.

Ce n'est pas le cas. Alors qu'il est possible de réaliser en construction traditionnelle un projet qui a été conçu selon une approche hors site, il n'est pas possible de réaliser avec des composants hors site un projet conçu selon une approche traditionnelle, tout du moins pas de manière performante.

1. Anticiper l'impact du permis de construire

L'instruction du permis de construire est l'étape la plus critique de la phase de conception. Elle marque la validation des dispositions architecturales du projet dans son environnement urbain, politique et réglementaire.

Le permis de construire doit permettre de valider la volumétrie du bâtiment, les caractéristiques de son enveloppe (hauteurs de niveaux, matériaux, composition de façade) et son acceptabilité aux yeux des commissions de sécurité, d'accessibilité et des Architectes des Bâtiments de France (ABF) le cas échéant.

Il faut donc s'assurer que les principes constructifs mis en œuvre dans le projet soient bien compatibles avec le permis de construire. Suivant le contexte du projet, plusieurs approches sont possibles :

Déposer un permis de construire après la sélection des entreprises

Scénario idéal : la consultation des entreprises se fait sur un dossier APD (Avant-Projet Détailé) complet réalisé par l'équipe de maîtrise d'œuvre (MOE), et les caractéristiques des modes constructifs sélectionnés sont intégrées au dossier de permis de construire avant son dépôt. De cette manière, le permis est conforme à la construction finale et les études ne sont réalisées qu'une fois.

Cette approche se fait *de facto* dans le cadre d'une opération en conception-réalisation, les entreprises participant activement à la conception.

Dans le cas d'une consultation par appel d'offres, cette approche suppose un délai supplémentaire de 2 à 3 mois pour la consultation des entreprises avant le dépôt du permis, ce qui peut mettre en péril une promesse de vente rattachée au foncier, ou les ambitions de planning de l'opération.

Cette approche est donc à adapter en fonction des contraintes calendaires du projet.

Déposer un permis de construire en présageant des solutions retenues

Ce scénario repose sur une bonne connaissance de la part de l'équipe de maîtrise d'œuvre des approches constructives et des entreprises capables de répondre afin de garantir une qualité et quantité suffisante de réponses à l'appel d'offres.

Cette approche permet de respecter les délais classiques d'une opération, mais présente deux risques majeurs :

- **La perte de l'approche hors site** : de nombreux projets déposés de cette manière sont finalement réalisés de manière traditionnelle, car le dépôt d'un permis de construire sans techniques constructives spécifiques amène à des solutions génériques.
- **Le dépôt d'un dossier de permis de construire modificatif et/ou balai** : si les réponses hors site sont cohérentes, il est probable que le projet va évoluer avec les principes techniques retenus, nécessitant un permis modificatif.

Le rôle central des services instructeurs

Quelle que soit l'approche retenue, l'instruction du permis de construire peut avoir une influence capitale sur le projet et sa réalisation. Deux paramètres sont à prendre en compte :

- **Les délais d'instruction** peuvent très rapidement atteindre 5 à 6 mois en prenant en compte les demandes de pièces complémentaires, les commissions de sécurité, d'accessibilité et les Architectes des Bâtiments de France.
- L'interprétation de l'intégration de l'architecture dans son environnement urbain, qui peut influencer la composition des bâtiments (hauteur, hauteur d'étage, nature de toiture) comme leur matérialité.

Il faut donc prendre contact le plus tôt possible avec les services d'instruction du permis de construire afin de bien comprendre les enjeux et les spécificités de chaque projet.

La démarche de prise de contact doit proposer :

- Une rencontre avec l'équipe de maîtrise d'œuvre dès la phase esquisse pour comprendre les attentes des services d'urbanisme sur le site du projet.
- Une présentation du projet de construction en fin de phase APS (Avant-Projet Sommaire), en présence des Architectes des Bâtiments de France le cas échéant.
- Une présentation du projet définitif (stade APD) aux services instructeurs avant le dépôt du PC

Dans certains cas, il est possible de demander une instruction accélérée du dossier de permis de construire par les services compétents. Cette démarche permet une accélération du processus, qui peut devenir critique dans le cas où le dépôt de permis de construire se fait après la consultation des entreprises.

Quel que soit le mode constructif, le travail de conception d'un projet de construction doit se faire en impliquant les services responsables de la préservation de la qualité de l'environnement urbain et architectural.

2. Les intervenants en conception

L'approche hors site peut rapidement être perçue, à l'instar du BIM, comme un changement important et un effort supplémentaire à fournir qui ne porte pas forcément ses fruits. Il faut donc embarquer l'ensemble des équipes de conception dans la transition vers cette approche constructive.

Le rôle prépondérant de la maîtrise d'ouvrage

La transition vers l'approche hors site représente un changement important dans l'approche architecturale et constructive du projet, et requiert donc un effort particulier. Son application doit être motivée.

C'est pourquoi l'étude du projet selon les principes de l'approche hors site ne peut pas être une option pour les équipes de conception. L'approche hors site doit être un élément central du cahier des charges de la maîtrise d'ouvrage (MOA), qui doit exiger un niveau de performance hors site minimum qui corresponde à ses ambitions, pris en compte dès la phase esquisse.

Pour cela, la MOA ou l'assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO) peut s'appuyer sur le référentiel de la construction hors site publié et mis à jour par la Filière Hors Site France⁵.

Une équipe de conception opérationnelle

La prise en compte de l'approche hors site dans le projet repose beaucoup sur le design et l'intégration architecturale des composants réalisés en atelier, mais cette transformation bouscule en réalité l'ensemble de l'équipe de conception.

L'architecte doit passer d'une conception architecturale plastique, où la méthode constructive s'adapte à la forme du bâtiment, à une conception technique, qui prend en compte dès le travail de la volumétrie les contraintes techniques constructives. Ce point est expliqué au paragraphe Le DfMA.

⁵ Document consultable sur le site <https://www.filiere-hors-site.fr/fr/resources>

Le bureau d'études structure doit savoir rationaliser la conception structurelle du projet pour recourir à des approches techniques variées et dont les contraintes de fabrication sont moins flexibles que dans le bâtiment traditionnel. Il a la responsabilité d'orienter l'équipe de conception vers des modes constructifs rationalisés et réalisables selon les contraintes de la préfabrication hors site, et ceci quel que soit le matériau : béton préfabriqué, bois, planchers mixtes, etc. La qualité de l'approche hors site repose donc en grande partie sur ses compétences multi-matériaux et sa connaissance des systèmes structurels.

L'économiste est le bureau d'études qui doit apporter le plus de changement à son approche de la conception. Il doit rechercher des bases de prix qui ne sont pas standards et les confronter en permanence à la réalité. De plus, son estimation doit prendre en compte les gains en coût global opérationnel, donc estimer l'impact des gains de temps sur les frais d'encadrement et de gestion de chantier. Une justification des coûts (source et date de la donnée) et une prise en compte des réductions de frais doivent être remises à chaque estimation du projet.

Les autres membres de l'équipe de conception sont également impactés par l'approche hors site, mais de manière moindre. La construction hors site suppose de bousculer les habitudes des équipes, de questionner les ratios et recettes génériques qui, si elles sont valables dans le contexte de projets traditionnels, sont souvent dépassées dans le cadre de la construction hors site.

Le bureau d'études environnemental devra réaliser ses premières études environnementales en prenant en compte les matériaux utilisés et les spécificités de l'approche, l'acousticien devra trouver des alternatives au simple effet de masse pour assurer le confort acoustique.

Le point crucial de la technique courante

L'équipe de maîtrise d'œuvre doit être capable de juger elle-même de la conformité des modes constructifs envisagés aux règles et normes constructives en vigueur.

Elle doit être capable d'identifier les parties de bâtiment soumises aux DTU (Documents Techniques Unifiés) et règles professionnelles d'un côté (assurables par défaut) et se renseigner sur les ATEx (Appréciations Techniques d'Expérimentation) et autres avis techniques et leur validité (technique et cadre d'application) d'un autre côté. La maîtrise d'œuvre remettra à la maîtrise d'ouvrage, à la fin de chaque phase, un état des lieux des techniques de construction envisagées et leur couverture par la réglementation.

La maîtrise d'ouvrage fera vérifier cette conformité par le bureau de contrôle à chaque phase du projet.

Lorsque l'équipe de conception souhaite faire appel à une technique constructive qui n'est pas couverte par ces documents, elle doit alors le signifier à la maîtrise d'ouvrage et évaluer l'impact de cette décision sur le projet.

Dans le cas où une évaluation technique est nécessaire, il est recommandé de missionner le bureau de contrôle pour le suivi de cette dernière.

Industriels et entreprises

Il est recommandé d'imposer aux équipes de conception de vérifier régulièrement leurs hypothèses constructives avec le monde de la construction hors site afin de consolider les approches. En effet, il est essentiel d'optimiser la conception pour la fabrication dès la première esquisse.

La consultation des entreprises dès la phase APD permet d'assurer, dès la définition des grands principes structurels, environnementaux et architecturaux du bâtiment, que la conception peut être réalisée dans les délais et dans les coûts.

De plus, la consultation en phase APD permet d'ajuster la conception aux spécificités des industriels avant que les grands principes soient figés définitivement lors du dépôt du dossier de permis de construire. La période d'instruction du permis de construire servira à intégrer l'ensemble des détails des principes constructifs retenus dans le projet en collaboration entre les industriels et les équipes de conception.

Cette phase aboutit à la remise d'un PRO (Projet) qui servira de base à l'élaboration des documents d'exécution.

Dans le cas de divergences entre les équipes de conception et les fabricants, la maîtrise d'ouvrage arbitrera tout d'abord en s'appuyant sur les pièces du dossier de consultation et sur les offres des entreprises lauréates, puis se prononcera sur les éventuelles demandes complémentaires qui n'auraient pas été intégrées à l'offre.

3. Le DfMA

Le DfMA (*Design for Manufacture and Assembly*) est une discipline inventée par le monde industriel qui vise à intégrer dès la conception les contraintes de la fabrication comme de la mise en œuvre des composants d'un produit. Elle s'applique à la fabrication de voitures comme de téléphones.

La grande différence avec le monde du bâtiment est que, alors qu'une voiture est assemblée de toutes pièces, un bâtiment est une œuvre hybride qui résulte de l'adaptation d'éléments fabriqués hors site et d'autres fabriqués sur le chantier. Cela ajoute un niveau de complexité à la démarche.

Le DfMA peut être décomposé en deux domaines :

DfM : la conception pour la fabrication

Ce premier volet de l'approche vise à comprendre comment les composants du bâtiment sont fabriqués, et selon quels standards, afin de faciliter leur production. En effet, le coût de fabrication d'un composant hors site résulte de deux paramètres :

- Un coût d'approvisionnement, lié à sa composition.
- Un coût de production, lié à la mobilisation de l'outil de production (dont le coût d'exploitation horaire est constant).

Il s'agit donc de réduire les coûts en facilitant la production et en optimisant la mobilisation de l'outil.

Chaque approche constructive, chaque produit, est associé à des standards de fabrication différents, spécifiques aux modes de transport et aux outils de fabrication. Bien qu'il soit possible pour une équipe de maîtrise d'œuvre de connaître les

grandes contraintes des modes constructifs, il est impossible de connaître l'ensemble des spécificités de chacun.

C'est pourquoi les équipes de conception doivent se rapprocher des fabricants dès qu'elles définissent les caractéristiques des composants fabriqués hors site du projet. Cette étape est nécessaire pour assurer la cohérence de la conception avec la réalité industrielle.

DfA : la conception pour l'assemblage

L'assemblage est en réalité la partie la plus complexe et la plus contraignante pour la conception du bâtiment. En effet, l'assemblage comprend l'acheminement des composants sur le site, leur levage ainsi que leur mise en œuvre.

La logistique

Transporter des parties de bâtiment sur un territoire n'est pas une mince affaire et influence grandement les choix constructifs. Les grands paramètres sont les suivants :

- **La taille du composant** : plus les composants augmentent en dimensions, plus ils deviennent délicats à transporter et contraignants à acheminer. Il est donc essentiel de s'assurer que le composant peut être transporté depuis le site de fabrication jusqu'au site de mise en œuvre.
- **Les points sensibles de cheminement** : la localisation du projet et sa nature peuvent créer des points sensibles non négociables pour le transport des éléments, qui peuvent en réduire la taille ou le poids maximal. Il peut s'agir de tunnels, de ponts, de largeur de routes ou encore de porches et cheminements verticaux.

La logistique des composants hors site se déroule en deux étapes :

● **Du site de fabrication au chantier** : il faut prendre en compte le parcours dans son ensemble et dans sa temporalité, éviter les événements particuliers (festival, manifestations, etc.) et se renseigner sur les calendriers d'accessibilité des différents types de transports.

● **Du chantier au site de mise en œuvre** : la manutention des composants hors site nécessite souvent une aire de stockage temporaire, ainsi que des outils de levage adaptés, dont la taille sera dimensionnée en fonction des éléments hors site.

L'assemblage : le support

En construction neuve comme en rénovation, les composants hors site sont mis en œuvre sur un support avant d'être assemblés entre eux. Il est essentiel de s'assurer de la compatibilité et de la qualité du support pour la mise en œuvre des composants.

Dans le cas de la construction neuve, les supports doivent être réceptionnés par le lot comprenant les composants hors site ; dans le cas de la rénovation, cela passe par une étude exhaustive de l'existant et un diagnostic approfondi des qualités du support sur l'ensemble du bâtiment.

L'assemblage : entre sous-ensembles

L'assemblage de sous-ensembles reste souvent un sujet délicat, car il nécessite de bien comprendre la répartition des tâches et le déroulement du montage des éléments entre eux. Un exemple flagrant est la continuité de l'étanchéité de la façade, qui doit être assurée selon des méthodes et procédés spécifiques et qui guident l'ordre et la manière dont les murs à ossature bois sont installés sur le chantier, ce qui influence leur composition.

Il est donc essentiel que l'ensemble de ces contraintes soit intégré par les équipes de conception dès que la technique constructive est abordée.

LA FABRICATION

La fabrication est une étape clé de l'approche hors site du projet. Bien que se déroulant hors du chantier, elle marque la première étape de la construction du bâtiment. Le fait qu'elle soit détachée du chantier en modifie complètement le déroulement.

1. Les études

Lorsque la fabrication des composants hors site commence, il n'y a plus de place pour les approximations et les marges d'erreur. Un composant doit être parfaitement et surtout définitivement dimensionné et caractérisé lors de la fabrication ; il sera mis en œuvre tel quel.

La conséquence la plus importante est la validation des composants, mais également des supports de mise en œuvre et de l'ensemble des éléments en interface avec ces derniers. En effet, le composant hors site n'existe pas isolé mais dans un assemblage cohérent qui est un ouvrage.

Il est donc essentiel de piloter et de coordonner les études d'exécution (EXE) afin d'assurer que l'ensemble des plans d'exécution des lots en interface avec les composants hors

site soient réalisés dès la signature des marchés, sans délais supplémentaires. Cette réorganisation des études est d'autant plus nécessaire que la fabrication hors site, indépendante des contraintes du chantier, démarre souvent avant ce dernier.

Cette approche amène à figer l'ensemble de la conception technique du bâtiment bien plus tôt que dans un chantier traditionnel, où les visas suivent l'avancement de la fabrication du bâtiment. C'est ce que l'on appelle le « *design freeze* ».

2. Les approvisionnements

Le fabricant hors site, comme toute entreprise, doit tout d'abord se fournir en matériaux et composants pour la réalisation de ses pièces. Les deux crises récentes du COVID et de la guerre en Ukraine ont remis en question nos flux d'approvisionnement et imposent désormais des délais importants en fonction des matériaux et de leur nature ; à l'instar des menuiseries aluminium qui nécessitent désormais une planification amont importante (délais d'approvisionnement passés de deux semaines à huit et plus).

La planification et l'anticipation des approvisionnements deviennent critiques et la conception doit être figée le plus tôt possible. Cette décision est formalisée par une priorisation et une validation des visas afférents dès le démarrage des études d'exécution.

Une fois les éléments figés, les ordres de service (OS) d'approvisionnement permettent d'anticiper la fabrication et peuvent être délivrés selon les besoins et le chemin critique du chantier.

Les approvisionnements sont souvent accompagnés d'une demande d'avance sur travaux, qui peut représenter de 20 à 30 % du prix de fabrication du composant. Bien que les approvisionnements puissent être anticipés, ils représentent un risque tant que la conception n'est pas définitivement figée. Une analyse claire du risque doit être réalisée avant de s'engager sur des approvisionnements. Ils doivent être validés par l'équipe de maîtrise d'œuvre (MOE).

3. Production en atelier

La fabrication en atelier ne doit pas échapper aux contrôles, non seulement par le bureau de contrôle mais également par les concepteurs et la maîtrise d'ouvrage (pour les premiers de série).

Le plan d'assurance qualité (PAQ)

Le plan d'assurance qualité, développé précédemment, doit comprendre :

- Les étapes et protocoles de contrôle :

- Des approvisionnements ;
- De la production ;
- Du produit ;
- Du produit mis en œuvre.

- Les actions correctives en cas de défaut.

- La traçabilité des contrôles et leur archivage.

Il faut s'assurer que le bureau de contrôle ait bien validé le PAQ, et qu'il contrôle avec l'équipe de maîtrise d'œuvre sa bonne application. L'archive du plan d'assurance qualité doit être remise à la maîtrise d'ouvrage avec les documents du Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE).

La notion de série

La notion de série est essentielle puisqu'elle permet de déterminer le « risque sériel », qui est le risque d'un défaut de fabrication commun à l'ensemble d'une série.

Une série désigne l'ensemble des éléments fabriqués au cours d'un cycle de production. Dans le bâtiment, une série correspond en général à l'ensemble des éléments de même nature produits par le même industriel pour un projet donné.

Dans le cas d'un produit « catalogue » (certaines salles de bains, par exemple), une série peut concerner un nombre d'exemplaires du même produit construit avec exactement les mêmes caractéristiques sans ajustement ou réglage des machines.

Le risque est dit sériel quand un défaut de fabrication concerne une série entière ; il s'agit alors généralement d'un défaut de conception qui se répercute sur l'ensemble des éléments. L'impact réel du risque sériel reste à démontrer.

Le premier de série

C'est pourquoi le « premier de série » est extrêmement important.

- Pour le fabricant : Il permet de valider le processus de production, d'analyser les points singuliers qui n'auraient pas été étudiés et d'optimiser la fabrication.

- Pour le bureau de contrôle : il est essentiel, car il permet de mieux comprendre l'intégralité du sous-ensemble et de valider l'ensemble des dispositions techniques de visu. La validation du premier de série doit être systématiquement incluse dans la mission du bureau de contrôle.

- Pour l'équipe de maîtrise d'œuvre et de maîtrise d'ouvrage : il permet, à l'image d'un témoin de façade ou de logement, de valider l'ensemble des choix architecturaux et techniques de la série. La visite d'un premier de série permet de projeter la mise en œuvre de l'élément dans la construction ; il doit donc inclure le maximum de points singuliers possibles afin d'offrir une vision la plus complète du composant dans l'ouvrage final.

La visite du premier de série doit s'accompagner d'une présentation physique ou simulée de l'interface des composants avec leur environnement :

- Points de fixation et de solidarisation avec l'ouvrage ;
- Interfaces avec d'autres composants ou des lots traditionnels ;
- Etc.

Il est de la responsabilité de la MOE de demander la réalisation d'un premier de série qui soit représentatif de la série, de ses points de singularité et de sa mise en œuvre.

Enfin, cette visite est l'opportunité pour la maîtrise d'ouvrage non seulement de mieux comprendre la qualité des composants qui seront mis en œuvre sur le site mais également de demander des optimisations de l'usage de ces derniers.

Dans le cas de composants à haute technicité, tels que les salles de bains préfabriquées ou les pods techniques, il est intéressant de faire intervenir les équipes de gérance du bailleur. Cette visite permet d'optimiser les dispositions des différents éléments et leur ergonomie, de prendre en compte les opérations de maintenance et d'offrir une meilleure durabilité des composants dans le temps.

Cette visite peut être suivie d'une contre-visite pour vérifier que les dispositions prises sont bien conformes aux remarques du bureau de contrôle, de l'équipe de MOE et de la maîtrise d'ouvrage (MOA).

La question du transfert de propriété

Lorsque le fabricant demande des avances sur production importantes, ou un paiement au fur et à mesure de la production, la situation peut devenir délicate contractuellement.

D'un côté, la MOA veut s'assurer que les composants pour lesquels elle a réglé le solde lui appartiennent, peu importe

le devenir de la société du fabricant ; d'un autre côté, si les composants produits lui appartiennent alors ses produits sont hébergés chez l'industriel, ce qui pose des questions assurantielles.

Certaines MOA mettent en place, par constat d'huissier, un transfert de propriété progressif des composants hors site pour se protéger.

Cette approche est très fortement déconseillée. Dans le cadre de la construction hors site, la MOA est couverte par une assurance dommages-œuvre qui s'applique aux ouvrages. La MOA ne contractualise qu'avec des constructeurs qui peuvent leur apporter une garantie décennale.

Les constructeurs ont à leur charge le financement de la fabrication des composants hors site et servent d'intermédiaires avec la MOA. Un échéancier de paiement spécifique peut être négocié avec le constructeur afin d'éviter des coûts de portage trop importants, mais la MOA ne paie jamais directement les fabricants et ne prend jamais la propriété de composants hors site. Elle réceptionne un ouvrage fini. Le constructeur doit alors apporter les garanties nécessaires à la réalisation des ouvrages.

De cette manière, chacun reste couvert dans le régime assurantiel actuel.

4. Le transport

Le transport se déroule avant la mise en œuvre des composants et est donc sous la responsabilité du constructeur. Ce point est essentiel, car encore une fois la chaîne de responsabilité doit être respectée.

Il est recommandé que le transport soit à la charge du fabricant, car il travaille avec des transporteurs agréés, qui ont l'habitude de prendre en charge leurs composants et de sécuriser leur acheminement jusqu'au chantier. Bien que le transport ne soit pas de la responsabilité de la MOA, il est important de s'assurer qu'un plan de transport comprenant l'itinéraire, les contraintes (ponts, tunnels, voiries limitées) et les autorisations administratives le cas échéant soit appliqué lors de la coordination du chantier.

5. La manutention et la mise en œuvre

Lorsque le composant hors site arrive sur le chantier, il est crucial de le mettre en œuvre le plus vite possible afin d'éviter qu'il soit endommagé par des conditions de stockage inadaptées ou des aléas climatiques. Il ne sera donc pas prévu de stockage sur site mais des livraisons en « juste à temps ».

Le levage, la manutention et la mise en œuvre des composants doivent être réalisés selon les prescriptions du fabricant, par des professionnels en capacité de les mettre en œuvre. Ces recommandations doivent comprendre les conditions de levage et de manutention des composants (points d'accrochage, attaches, mode d'accrochage, accélération maximale, poids des composants, centre de gravité *a minima*).

Il est recommandé que la mise en œuvre des composants soit réalisée par le fabricant. Dans le cas contraire, il devra remettre au constructeur l'ensemble des recommandations

et des fournitures nécessaires pour la mise en œuvre des composants : guide de mise en œuvre, attaches et fixations, etc.

La mise en œuvre des composants doit se conclure par un contrôle qualité sur site qui viendra compléter le plan d'assurance qualité et parachever le suivi des composants hors site depuis les approvisionnements jusqu'à leur emplacement définitif.

6. La réception des ouvrages

Les composants mis en œuvre sur site dans leur configuration définitive sont qualifiés d'ouvrages.

La réception des ouvrages ne se fait que lors de la livraison du bâtiment dans son ensemble. En effet, le constructeur reste responsable de ses composants hors site au même titre que des travaux classiques.

Cependant, il peut être intéressant pour un constructeur de faire réaliser un procès-verbal (PV) de réception temporaire de ses composants qui n'engagera pas la maîtrise d'œuvre, à l'appui de photos et de toute documentation jugée nécessaire afin de protéger ses ouvrages d'une éventuelle détérioration durant les travaux.

Ce PV peut servir de situation pour régler l'avancement des constructeurs.



Figure 35 - Le levage et la pose de modules sanitaires nécessitent une prise en compte de l'accessibilité du site de mise en œuvre (modules sanitaires du groupe GA smart Building mis en œuvre sur la construction de leur siège social). ©Philippe Rol - Studio Montazami et Tezuka Architects



Figure 36 - Levage d'un module 3D pour une résidence sociale modulaire 3D déplaçable à Nantes réalisée par Avelis (Moon Architectures). © Cedric Colin

L'ASSEMBLAGE ET LE CHANTIER

L'approche hors site transforme complètement le chantier. D'un lieu de fabrication sur site, il devient un lieu mixte de fabrication et d'assemblage, combinant la réalisation d'ouvrages supports, l'assemblage de composants hors site et la réalisation d'ouvrages de finition.



Figure 37 - Le chantier de la Tour Silva à Bordeaux en fin de réalisation. Une coordination poussée a été nécessaire pour orchestrer gros œuvre, structure bois, murs à ossature bois pour ce projet exemplaire (Artbuild Architectes). © Lynda Benkaci

1. Une nouvelle organisation du chantier

Avec l'approche hors site, le chantier se transforme. Il passe d'un déroulé linéaire, où les entreprises se déploient et se replient en permanence, ajustant leurs interventions en fonction des lots précédents, à un déroulé parallèle, où les composants sont fabriqués en avance, et leur assemblage doit se faire en temps et en heure pour ne pas remettre en question l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.

La clé réside donc dans deux compétences qui requièrent l'intégration d'éléments complémentaires à la mission de coordination :

- **La coordination des entreprises et des fournisseurs :** la coordination des entreprises dans l'assemblage d'éléments fabriqués hors site requiert une vision d'ensemble du chantier et de l'avancement des différents corps d'état, y compris des reprises nécessaires au respect des tolérances d'exécution.

- **La coordination technique :** les composants hors site ne peuvent être ajustés sur place et sont mis en œuvre dans la limite des marges spécifiées par le constructeur, selon ses préconisations. C'est pourquoi la coordination technique est essentielle au bon déroulement du chantier de construction hors site.

Les éléments supplémentaires à la mission de coordination

Les éléments suivants doivent être inclus dans la mission de coordination du chantier :

- **Suivi de la planification des interventions des entreprises et des livraisons de composants fabriqués hors site, répercussion des retards éventuels sur l'ensemble des intervenants.**
- **Organisation des flux de livraison et de levage (stock temporaire, outils spécifiques) et de leur immobilisation pour les différents composants.**
- **Coordination de la vérification des supports et des marges de tolérance, donnant lieu à procès-verbal (PV) de réception des supports.**
- **Coordination des lots en interface avec les composants hors site.**

Enfin, un chantier de construction hors site se déroulant bien plus rapidement qu'un chantier dit traditionnel, il est essentiel de prévoir l'intervention des concessionnaires réseaux très en amont afin de procéder au raccordement dès la fin des travaux :

- **Anticipation des interventions des concessionnaires dans le cadre d'une mission hors site.**

Cette coordination ne peut être réalisée que par une maîtrise d'œuvre (MOE) compétente, un coordinateur compétent ou une entreprise générale. Il est essentiel de s'assurer de la capacité de l'équipe de coordination à accomplir l'ensemble de sa mission.



Figure 38 - Levage d'éléments de planchers mixtes «atom wood» chez GA smart building pour leur siège social à Toulouse. © Philippe Rol - Studio Montazami et Tezuka Architects

Les risques liés à la coordination

Une mauvaise coordination peut être fortement dommageable à la construction ou à la rénovation hors site.

Sur un chantier traditionnel, les approvisionnements se font majoritairement sous la forme de matériaux de construction, et le déroulement linéaire du chantier évite les problèmes logistiques trop importants. En rénovation, les matériaux de construction peuvent être acheminés en petite quantité et ne nécessitent pas de machinerie lourde.

L'approche hors site pose alors un véritable défi logistique. La succession rapide de tâches en flux tendus et la taille des composants imposent une gestion poussée des flux d'approvisionnement. Lorsque le retard du chantier n'est, par exemple, pas répercuté sur les flux d'approvisionnement, le chantier se retrouve rapidement submergé de composants qui doivent être entreposés avant leur mise en œuvre. Cette situation se fait le plus souvent au détriment de la qualité de la construction, par un stockage des composants dans des endroits non prévus à cet effet, exposés aux intempéries ou sur des supports non plans. En rénovation, les composants ne peuvent le plus souvent simplement pas être entreposés sur le site de mise en œuvre.

Les problèmes de planning deviennent donc des problèmes de stockage, puis de qualité de la construction. C'est pourquoi il est interdit de stocker les composants hors site sur le chantier ; seules des zones de stockage provisoire pour manutention doivent exister.

2. La gestion du chantier de construction hors site

Le chantier de construction hors site est le lieu de rencontre de deux approches complémentaires mais qui n'ont pas l'habitude de travailler ensemble. Or, il est crucial de bien identifier les problématiques liées à la fabrication des composants du bâtiment de celles liées à leur mise en œuvre.

Prenons l'exemple des menuiseries dans le bâtiment. Du fait de leur poids important dans la sinistralité du bâtiment, de nombreux acteurs arrivent à la conclusion hâtive que les menuiseries sont de mauvaise qualité. Or, une analyse détaillée des chiffres révèle que la majorité des sinistres n'est pas liée à la menuiserie mais à sa mise en œuvre, au traitement de son interface avec la paroi hôte. Le même constat existe pour les salles de bains préfabriquées, dont les sinistres sont en réalité majoritairement liés à leur mise en œuvre sur un support non adapté (nature, planéité). L'impact de la mise en œuvre des produits du bâtiment dans la sinistralité est relativement documenté par un certain nombre d'organismes dont l'AQC (ex : Fiche pathologie : Menuiseries extérieures), la SMABTP (rapport d'activités) ou encore le CSTB (ex : La pathologie du bâtiment : Sols, structures, enveloppe) et tend vers un ordre de grandeur de 75 % de désordres dus à une mauvaise mise en œuvre.

Le support de mise en œuvre est donc critique pour la qualité de la construction, tout comme l'intégration des composants dans un processus de construction du bâtiment mixte hors site et traditionnel.

Travailler avec les lots « sur site »

Les entreprises de construction qui interviennent sur site doivent prendre en considération l'intégration des composants hors site lors du chantier. Les entreprises en interface avec les composants (dont une partie des ouvrages touche les composants hors site) sont particulièrement impactées par l'intégration de ces derniers.

Ces interfaces peuvent être de deux types :

- **Réalisation du support des composants hors site** : l'entreprise intervient avant la réalisation des lots hors site et livre des ouvrages qui seront en interface avec les composants hors site (support de pose, par exemple).
- **Intervention complémentaire aux composants hors site** : l'entreprise intervient après la pose de composants hors site, qui deviennent support de l'intervention.

Il est rare, mais pas impossible, qu'une entreprise doive intervenir en préparation de support comme en complément. Le bon déroulement du chantier dépend du respect des règles de l'art et de la bonne délimitation des limites de prestations contractuelles et sur site.

Réalisation de supports

L'entreprise peut avoir à sa charge la réalisation de lots sur lesquels les composants hors site viennent se fixer. La qualité des supports est essentielle à la garantie de performance des composants hors site, et peut avoir un impact immédiat en termes de sinistralité (salles de bains posées sur un support en pente, par exemple).

L'entreprise doit alors fournir un support qui respecte les règles de l'art, notamment en termes de planéité et de dimensions. Pour assurer cela, l'entreprise qui met en œuvre les composants hors site devra réceptionner les supports (PV de réception à l'appui), ce qui permettra de clarifier les responsabilités en cas de sinistre ou de litige.

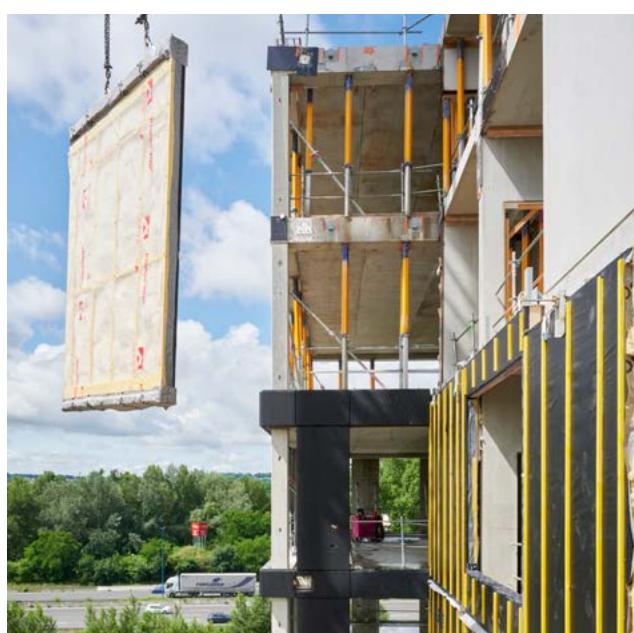


Figure 39 - Les murs à ossature bois peuvent servir de support à la pose du bardage sur site (Murs GA smart building mis en œuvre pour la réalisation de leur siège social). © Philippe Rol - Studio Montazami et Tezuka Architects

Réalisation de prestations complémentaires

De la même manière, lorsque l'entreprise intervient après la mise en œuvre des composants hors site mais que son lot possède des interfaces avec ces derniers, il est essentiel de matérialiser les limites de prestations et de responsabiliser les acteurs.

Elle doit alors, avant le démarrage de son lot, réceptionner les composants hors site en interface avec son lot (PV de réception à l'appui) afin de garantir que les supports respectent les règles de l'art et les tolérances de son lot. La réception de l'ensemble des supports est une étape nécessaire à l'établissement de la situation de conformité de mise en œuvre des éléments hors site.

Travailler avec les lots « hors site »

De la même manière, même dans le cas de la construction modulaire, il est rare que les composants hors site soient mis en œuvre seuls, sans support ni lots complémentaires. Les entreprises de construction en charge de la mise en œuvre des composants hors site doivent donc travailler en interface avec ces lots.

Réception des supports

Les composants hors site se mettent en œuvre sur un support qui doit respecter les règles de l'art et les tolérances contractuelles. Ils doivent pouvoir être mis en œuvre sur un chantier tant que ces tolérances sont respectées.

C'est pourquoi le fabricant doit remettre à l'entreprise de construction l'ensemble des informations et des pièces nécessaires à la mise en œuvre de ses composants.

Le constructeur en charge du lot hors site doit prononcer la conformité des supports aux préconisations du fabricant et donc réceptionner ces derniers. La validation de la situation du lot support ne peut se faire avant la réception du support (PV à l'appui).

Interface avec les lots complémentaires

Lorsque le composant hors site a des interfaces avec des lots complémentaires (cas des parois à ossature bois, par exemple), il est essentiel de la même manière de fournir à ces lots la preuve de la conformité du support avec les règles de l'art pour passer la main au lot suivant.

Un PV de réception des supports doit être établi par le lot complémentaire dont les ouvrages viendront compléter les prestations hors site. Ce PV inclura l'état ainsi que, le cas échéant, l'ensemble des remarques et des réserves liées au support, et pourra inclure des photos et mesures à l'appui.

Le constructeur de lots hors site doit aux lots complémentaires la remise d'un support conforme aux études d'exécution, à la réglementation et aux pièces contractuelles.

Le rôle du bureau de contrôle

Le bureau de contrôle a un rôle prépondérant sur le chantier hors site. Il s'est assuré au préalable que les parties traditionnelles du bâtiment comme les composants hors site ont été conçus selon les règles de l'art, et il doit maintenant s'assurer que les ouvrages sont réalisés conformément à la conception validée.

Il devra apporter une attention particulière à la gestion des interfaces, vérifier avec la MOE et les entreprises que ces dernières sont bien conformes à la réglementation et aux exigences de sécurité applicables à la construction.

Il devra assurer des contrôles sur site, notamment lors de la fixation des composants hors site, et lors de la réception des lots hors site en vue de l'intervention des lots complémentaires.

Il sera idéalement missionné pour une mission complémentaire de suivi de la fabrication en atelier au bureau de contrôle.



EN SYNTHÈSE

L'approche hors site impacte considérablement l'organisation et la gestion des chantiers en introduisant de nouvelles méthodes d'assemblage et de coordination. La réussite d'un projet hors site repose sur une planification rigoureuse, une coordination étroite entre tous les intervenants - qu'ils soient sur site ou hors site - et une gestion précise des flux logistiques. Les enjeux logistiques, tels que la livraison en flux tendus et l'absence de stockage prolongé sur site, exigent une anticipation minutieuse pour éviter les retards et les surcoûts.

La qualité des supports et des interfaces entre les différents lots est cruciale pour garantir la performance globale de l'ouvrage et minimiser les risques de sinistralité. Les entreprises doivent respecter les tolérances d'exécution et les règles de l'art, en assurant une réception formelle des supports et des composants. Le rôle du bureau de contrôle est prépondérant, veillant à la conformité des travaux aux normes en vigueur et assurant un suivi attentif des interfaces critiques.

En adoptant une approche collaborative et en intégrant les spécificités de la construction hors site dès les phases de conception et de planification, les acteurs du projet peuvent optimiser les délais, les coûts et la qualité de la construction, tout en tirant pleinement parti des avantages offerts par cette méthode innovante. La transformation du chantier en un lieu d'assemblage efficace symbolise l'évolution du secteur vers une industrialisation maîtrisée, où la précision et l'efficacité sont au service de la performance et de la durabilité des ouvrages. •

Conclusion

L'approche hors site n'est pas une approche nouvelle et disruptive, mais la formalisation d'une évolution naturelle de la construction qui s'est engagée il y a bien longtemps. Depuis le béton préfabriqué et ses premières applications au début du 20^e siècle, la généralisation des fermettes « industrielles » en toiture ou encore la démocratisation des murs et façades à ossature bois, l'industrie du bâtiment s'est tournée vers des modes de fabrication déportés en atelier bien avant que le terme « hors site » soit importé en France.

L'approche hors site contemporaine ne vise finalement qu'à massifier et accélérer cette transition, à créer un cadre uniifié et compréhensif d'application de cette approche, à développer des outils décisionnels et à planifier le recours aux composants préfabriqués hors site dans le bâtiment.

Cette transition est accélérée par les enjeux environnementaux et de productivité de la construction, et propose une réponse possible à la décarbonation et à la crise du logement ; ces deux aspects restant à prouver et entièrement dépendant des objectifs de la maîtrise d'ouvrage.

L'intégration d'une part de plus en plus importante de composants préfabriqués hors site implique un changement profond de notre approche projet comme chantier, remet en question notre vision du bâtiment mono-matériau, monolithique, où l'approche architecturale empiriste est concrétisée par des méthodes constructives génériques.

Le changement est structurel et nécessite des adaptations contractuelles, organisationnelles, conceptuelles et pratiques de notre mode de construire.

Mais ce changement ne marque pas pour autant une rupture avec la manière de construire, mais plutôt une évolution, une transformation de la formidable machine à construire Française vers un modèle qui sédentarise davantage la fabrication du bâtiment.

Il est crucial de faire de cette transition un outil de décarbonation, de revalorisation des métiers du bâtiment, de réponse à la crise actuelle et de création de valeur ajoutée pour l'ensemble des acteurs de la construction.

Il est stratégique de favoriser la création d'ateliers de proximité pour une fabrication au plus proche du besoin et au service des territoires et des emplois, favorables à l'insertion professionnelle et à un équilibre travail-famille souvent déstabilisé par la distance du chantier.

Il est urgent de développer une approche hors site de qualité, au service de l'architecture et de la ville, qui respecte l'environnement autant que la société et l'économie de nos territoires.

La transformation ne se fera pas du jour au lendemain, l'économie du projet hors site requiert encore de la finesse, la démocratisation des bonnes pratiques et la popularisation des nouvelles méthodes constructives. La maîtrise d'ouvrage publique est un moteur fantastique de cette transformation, c'est souvent elle qui permet de faire bouger les lignes et de mener par l'exemple.

C'est en portant ces valeurs qu'a été rédigé ce cahier Repères de la construction et rénovation hors site, avec pour objectif de donner au lecteur les outils de compréhension, d'analyse et de conduite opérationnelle nécessaires au bon déroulement des opérations hors site.

La transition vers des opérations qui comportent une part de plus en plus importante de composantes hors site peut se faire de manière progressive, dans le respect des compétences et des qualités de chacun, et pour la réalisation d'ouvrages dont chacun des acteurs de la chaîne de valeur peut être fier.

En espérant que ce guide vous permettra d'aborder les opérations hors site de manière sereine, qu'il vous permettra de vous focaliser sur ce qui est vraiment important dans une opération de construction ou de rénovation, à savoir l'impact environnemental, social et économique de la construction, l'amélioration durable du cadre de vie des habitants. •

05

Annexes

LE
T
PART
PA

EXEMPLES D'OUTILS OPÉRATIONNELS D'ACCOMPAGNEMENT AU PROJET

Lors de la mise en œuvre d'une approche hors site, quel que soit le projet, il est essentiel de s'appuyer sur des outils opérationnels qui assurent que l'ensemble des équipes chez le maître d'ouvrage, s'appuie sur des outils opérationnels synthétiques qui assurent que les grandes spécificités de l'approche hors site soient prises en compte dans le projet.

Vous trouverez ci-après un certain nombre d'exemples de grilles d'accompagnement méthodologique qui s'appliquent à toutes les typologies de projet. Ces grilles restent indicatives, car la construction hors site est en mouvement permanent, en pleine structuration, et les informations peuvent rapidement être désuètes, ou tout simplement erronées dans certaines situations (contexte de commande particulier par exemple).

- Page 68 - Exemple de compétences d'équipes dont il faut s'assurer (Fig. 40).
- Page 69 - Exemple de nouvelles compétences à solliciter dans le cadre d'opérations hors site (Fig. 41).
- Page 70 - Exemple de grille d'orientation des choix de modes constructifs hors site en fonction des typologies de projet (Fig. 42).
- Page 72 - Exemple de grille comparative de performance des modes constructifs selon les ambitions RE 2020 (Fig. 43).
- Page 74 - Liste indicative de recommandations opérationnelles spécifiques aux opérations hors site selon la phase du projet (Fig. 44).

1 - Grille indicative de compétences d'équipe existante impactées par l'approche hors site

ÉQUIPE	COMPÉTENCE	QUI	SITUATION	DESCRIPTION
Maîtrise d'œuvre	DfMA	Architecte, bureaux d'études	De l'esquisse à la consultation d'entreprises	L'équipe de conception doit être capable d'anticiper la prise en compte de modes constructifs spécialisés de type hors site
	Techniques de construction	Bureau d'études structure, économiste	De l'esquisse à la consultation d'entreprises	Les bureaux d'étude doivent être compétents dans l'orientation constructive et économique du projet, donc avoir une expertise récente et suffisante
	Pilotage et planification de projet hors site	Pilote compétent : architecte ou spécialiste	De l'esquisse à la livraison	Une personne sera en charge d'assurer que les étapes de gel de la conception sont respectées et que les études d'EXE sont réalisées à temps pour intégrer le planning industriel
	Pilotage de chantier hors site	Pilote compétent : MOE EXE ou entreprise générale	Phase chantier	L'entité en charge du pilotage du chantier devra notamment contrôler : <ul style="list-style-type: none"> - Le bon transfert des supports (réception, PV à l'appui) - L'anticipation des concessionnaires - Le traitement des interfaces entre les lots - L'anticipation et la communication immédiate des retards pour répercussion - La vérification de la qualité de la livraison et de la bonne protection des composantes assemblées sur le site
	Structuration de l'allotissement et des pièces de consultation	Économiste	DCE	L'économiste doit être capable de remettre des pièces de consultation découpées selon un allotissement hors site. Il doit prendre en compte les limites de prestations et les interfaces entre les lots
	Programme	Assistant à Maîtrise d'ouvrage	Hors projet	Assurer une transcription des prescriptions programme de moyens en prescription de résultat : définir un niveau d'ergonomie, de confort, de qualité, de finition, de fonctionnalités. Le programme doit décrire un usage et non pas une réponse technique
Maîtrise d'ouvrage	Jugement de la pertinence des offres	Assistant à Maîtrise d'ouvrage	DCE	Adapter la grille d'évaluation des offres pour intégrer le respect de la conception architecturale, la conformité des techniques et le niveau de performance des réponses techniques
	Montage juridique	Maître d'ouvrage	DCE	Anticipation des clauses de revoyure et/ou de conditions suspensives liées à l'obtention de permis de construire
	Vérification de la compétence qualité des fabricants	Bureau de contrôle	DCE	Vérification des plans d'assurance Qualité des fabricants et de leur capacité à en assurer la compléction et le suivi

Figure 40 - Exemple de compétences d'équipes dont il faut s'assurer.

2 - Grille indicative de nouvelles compétences à intégrer lors d'une approche hors site

ÉQUIPE	COMPÉTENCE	QUI	SITUATION	DESCRIPTION
Maîtrise d'œuvre	Coordination et gestion parallèle	Pilote de chantier	Construction, rénovation	Assure que le déroulement spécifique au hors site se passe sans obstacles
	Compétence BIM	BIM manager, intégré ou indépendant	Construction, rénovation	Coordonne les conceptions et participe à la synthèse technique et temporelle du projet
	Étude structurelle de l'existant	Bureau d'études structure	Rénovation	Etudie la capacité structurelle dans le détail de l'existant à accepter des solutions hors site
	Planification optimisée	LEAN manager ou pilote de chantier	Projets complexes	Fluidifie le déroulement du projet et optimise la gestion des tâches
	Gestion des flux d'approvisionnement	Logisticien ou pilote de chantier	Rénovations en site complexe	Assure une gestion en continu des flux d'approvisionnement et des stockages
Maîtrise d'ouvrage	Capitalisation des REX sur plusieurs opérations	Maîtrise d'ouvrage déléguée (MOD)	Projets multiples	Représente la MOA sur plusieurs opérations et remet son rapport de REX global
	Expertise et soutien en conduite d'opération	Assistant technique à Maîtrise d'ouvrage (ATMO)	Premiers projets hors site	Apporte les connaissances techniques spécialisées dans la construction hors site
	Validation technique en atelier	Bureau de contrôle	Construction, rénovation	Complète sa mission de base avec une validation de la fabrication de composantes en usine
	Relevé millimétrique	Géomètre-expert	Rénovation	Assure un diagnostic cohérent de l'existant et garantit les dimensions pour la fabrication hors site

Figure 41 - Exemple de nouvelles compétences à solliciter dans le cadre d'opérations hors site.

3 - Grille indicative d'orientation des modes constructifs hors site en fonction des typologies de projet

		Général	Neuf		
			Logement familial	Logement monocellulaire	
				Déplaçable / urgent	Définitif
3D structurel	+	Rapidité Intégration facilitée de matériaux biosourcés Démontabilité / recyclabilité du bâtiment Gains importants en nuisances sur site Impact fondations minimal	Réponse rapide qui permet d'atteindre des ambitions biosourcées fortes	Seule réponse déplaçable Seule réponse capable de diviser le temps de chantier par 2 Seule solution réversible (impact site)	Seule réponse capable de diviser le temps de chantier par 2 Produit parfaitement mature pour ce segment de marché
	-	Approche disruptive Peu de flexibilité architecturale Peu conforme aux cahiers des charges traditionnels Hauteur de planchers Pas d'attiques Quantité importante de matière	Réponse peu adaptée à la densité urbaine et aux fonciers complexes en volumétrie comme en matérialité. Problème d'acceptabilité du produit par les acquéreurs.	Image du modulaire négative, ne répond pas à tous les fonciers (contrainte volumétrique)	Acceptabilité des finitions de la construction (matériaux/sensations), ne répond pas à tous les fonciers (contrainte volumétrique)
2D	+	Rapidité Finitions traditionnelles Intégration facilitée de bétons bas carbone, matériaux biosourcés Flexibilité architecturale Démontabilité partielle du bâtiment Flexibilité de la part de hors site dans le projet Approches multiples et variées de la composante En rénovation Réduit les échafaudages et risques de sécurité	Réponse architecturée qui satisfait à tous les environnements urbains. Sa flexibilité permet une intégration simple dans les chantiers courants et une transition graduelle vers la construction hors site	Une durée de chantier réduite (-30%)	Une solution optimisée en temps de fabrication et qui répond à tous les fonciers
	-	Second œuvre réalisé de manière traditionnelle	Réponse partielle dont l'impact est limité, doit être complétée par des éléments 1D et des Pods	Éléments pas déplaçables	Nécessite la mise en œuvre d'approches complémentaires pour obtenir un vrai avantage comparatif (1D + Pods)
1D	+	Rapidité Qualité Economie de matière	Techniques majoritairement courantes et déjà intégrées dans les chantiers qui a peu d'impact sur son déroulement	Intérêt en fondations pour la réalisation de fondations filantes rapidement, en complément d'une approche 3D ou 2D	
	-	Gains faibles en temps Gains faibles en nuisance sur site	Très faibles gains en temps et en impact sur le site	Pas d'inconvénients particuliers	
Pods / 3D non structurel	+	Gains en temps Concentration de l'industrialisation sur les composantes à haute technicité Gains en qualité de fabrication	Possibilité de concentrer l'approche hors site sur les éléments à forte valeur ajoutée et de standardiser "l'invisible", avec des gains de temps et de qualité importants	Très intéressant, rapidité, qualité et capacité à déplacer et réutiliser des éléments d'équipements à forte valeur ajoutée / carbone	Très intéressant, éléments en grand nombre, gains en rapidité, qualité, réparabilité dans le temps
	-	Contrainte sur l'organisation des réseaux et techniques Contrainte sur la composition des sols	Des produits plus ou moins acceptables selon les marchés et les catégories de produits.	Attention à l'approche, les éléments non meublants ne peuvent pas être réutilisés	Attention à l'approche constructive et au vieillissement des solutions (ex : résine ou approche traditionnelle pour les salles de bains)

Figure 42 - Exemple de grille d'orientation des choix de modes constructifs hors site en fonction des typologies de projet.

Rénovation			Extension	
Maisons individuelles	Logements collectifs		Verticale	Horizontale
	Façade rideau	Façade porteuse		
Non applicable	Non applicable	Non applicable	Une solution légère et très rapide et avec un impact minimal sur l'existant	Une solution très rapide qui permet de gérer les opérations avec du phasing compliqué, notamment en offrant des logements rapidement pendant les travaux de rénovation
Non applicable	Non applicable	Non applicable	Il est très compliqué de faire correspondre l'existant avec le modulaire 3D (escaliers, réseaux, structure...) et la solution devient rapidement coûteuse.	Acceptabilité des finitions de la construction (matériaux / sensations), ne répond pas à tous les fonciers (contrainte volumétrique)
Solution très rapide qui permet de reconstituer l'enveloppe thermique des maisons	Solution idéale, permet un remplacement quasi instantané des anciennes façades par des nouvelles	Solution intéressante en fonction de la nature des façades existantes. Permet une réduction considérable des échafaudages et autres risques de sécurité	Solution la plus appropriée : elle permet d'accélérer et de faciliter la phase qui apporte le plus de nuisances (gros-œuvre, clos-couvert) tout en offrant une flexibilité et adaptabilité optimales au support	Solution rapide qui réduit grandement les nuisances des lots les plus impactants (gros-œuvre et clos-couvert), permet de gérer des fonciers complexes et répond à tous les projets
Besoin d'une répétitivité importante, difficulté à trouver un parc adapté	pour l'instant reste un peu plus cher que le traditionnel	Reste substantiellement plus cher qu'une approche traditionnelle.	La logistique et un point dur de l'approche 2D, avec le recours à des outils de levage et des flux d'approvisionnement à prendre en compte	Pas de points négatifs particuliers
Sans objet	Sans objet	Sans objet	Permet de reprendre rapidement et efficacement les charges pour l'adaptation du bâti à l'existant (poutres)	Intérêt en fondations pour la réalisation de fondations filantes rapidement, en complément d'une approche 3D ou 2D
Sans objet	Sans objet	Sans objet	Levage et accès au site	Sans objet
Intéressant quand il faut changer les équipements de génie climatique (Skid technique)	Intéressant quand il faut changer les équipements de génie climatique (Skid technique), à l'échelle du logement ou de groupes de logements		Intéressant pour réduire le temps de chantier et limiter les réserves	
Le skid doit généralement être positionné à l'extérieur de l'existant ou à un emplacement accessible pour l'installation. Audit nécessaire			Volume peu important d'éléments techniques, ce qui rend les composants chers et les entreprises plus difficiles à trouver sur site comme en fabrication	

4 - Grille indicative d'orientation - Grille comparative indicative entre RE 2020 et biosourcés

		RE 2020		
MODE CONSTRUCTIF	APPROCHES POSSIBLES	SEUIL 2025	SEUIL 2028	SEUIL 2031
Modulaire 3D	Modulaire bois	oui	oui	oui, avec un isolant biosourcé
	Modulaire acier + remplissage bois	oui	oui, avec attention particulière sur les FDES	atteignable mais très ambitieux pour l'instant
	Modulaire 3D + traditionnel	oui	oui, en modulaire bois, une attention particulière aux matériaux devra être apportée en modulaire à ossature acier	oui, avec un isolant biosourcé et une attention particulière à l'impact des parties traditionnelles
Hybride	Gros œuvre béton dalles et voiles sur place + maçonnerie + façades ou murs à ossature bois	oui	oui, avec des bétons bas carbone et une attention particulière à la provenance des matériaux	très difficilement atteignable
	Gros œuvre béton préfa (dalles + voiles + poteaux) + maçonnerie + Façades à ossature bois	oui	oui, la préfabrication permet le recours aux bétons bas carbone	oui, en minimisant la quantité de béton utilisée (optimisation) et en travaillant sur l'ensemble des autres matériaux (biosourcés)
	Ossature bois et murs à ossature bois	oui	oui, attention à la thermique d'été	oui, attention à la thermique d'été, utilisation importante de systèmes de régulation climatique passifs

Figure 43 - Exemple de grille comparative de performance des modes constructifs selon les ambitions RE 2020.

Biosourcé			NF HABITAT ACOUSTIQUE BASSES FRÉQUENCES
NIVEAU 1	NIVEAU 2	NIVEAU 3	
oui	oui	oui, avec intégration de matériaux biosourcés	Justification à apporter sur la performance
oui	oui avec isolants biosourcés	difficilement atteignable pour l'instant	Justification à apporter sur la performance
oui	oui	oui, en modulaire 3D bois avec une intégration de matériaux biosourcés en isolation et dans la partie traditionnelle	Justification à apporter sur la performance
oui	oui, avec une isolation biosourcée et une attention particulière aux matériaux de second-œuvre	difficilement atteignable	oui
oui	oui, avec une isolation biosourcée et une attention particulière aux matériaux de second-œuvre	oui, en remplaçant une partie du gros œuvre par de l'ossature bois (refends, murs mitoyens, etc.)	oui
oui	oui	oui, avec une attention particulière aux matériaux de second œuvre	Justification à apporter sur la performance

5 - Liste indicative des recommandations opérationnelles spécifiques aux opérations hors site

PHASE	ÉTAPE	ACTION
Amont	Préparer son entreprise	Traduire les cahiers des charges solutionnistes en cahiers des charges performanciels
Montage	Acquisition du foncier	Prendre en compte la condition suspensive liée à l'obtention du PC
	Planning de l'opération	Prendre en compte l'acquisition du foncier sous délai courant (12 mois)
	Diagnostic de l'opération	Évaluer le potentiel de réponse hors site
		Évaluer le potentiel du foncier (construction)
		Évaluer le potentiel de l'existant (rénovation)
	Programme de l'opération	Vérifier la compatibilité de la construction hors site avec le programme et l'environnement
		Orienter le projet vers une solution hors site
		Déterminer un niveau d'exigence contractuel
Conception	Diagnostic de l'existant (Rénovation)	Relevé des composantes à remplacer
		Obtenir un relevé exact
		Obtenir une constitution exacte de l'existant
	Diagnostic logistique	S'assurer de la capacité d'approvisionnement du site
		S'assurer de la capacité de déchargement sur site
		S'assurer de la présence d'une zone de stockage tampon
	Études du projet	S'assurer de la prise en compte du DfMA par l'architecte
		S'assurer d'une démarche de rationalisation de la construction par le BE Structure
		S'assurer de la prise en compte de la construction hors site pour les études RE
		S'assurer de la validité des bases de prix par l'économiste
		S'assurer de la traditionnalité de l'approche (bureau de contrôle)
	Préparation du dossier de permis de construire	Assurer la cohérence du dossier avec la CRHS
		Assurer que le projet est acceptable dans le contexte urbain
		Assurer que le projet est acceptable dans le contexte politique
		Assurer que le projet est acceptable dans le contexte historique
		Assurer que le projet est acceptable dans le contexte réglementaire
		Essayer d'accélérer l'instruction du dossier de permis de construire

DESCRIPTION
Les cahiers des charges doivent donner des obligations de résultat et non pas de moyen. Il faut laisser l'industriel offrir la meilleure solution aux exigences de performance et de qualité
Le projet de construction hors site peut nécessiter des délais supplémentaires pour la fiabilisation du dossier avant le dépôt du dossier de permis de construire. Essayer de prolonger les délais de 4 à 6 mois (16 à 18 mois total)
Le dossier de permis de construire doit se déposer en ayant défini un mode constructif particulier et idéalement en ayant sélectionné ses entreprises. Il faut donc réaliser un planning optimisé et serré qui minimise les temps morts. Réaliser un chemin critique dès la signature de la promesse de vente permet de mieux visualiser l'optimisation nécessaire de la consultation
Catégoriser le projet afin d'évaluer les entreprises qui seront intéressées à répondre. Dans le cas de petits ou très petits projets, évaluer la possibilité de massification
Exécuter une très rapide faisabilité volumétrique afin d'identifier les contraintes liées au foncier : gabarit constructible, hauteur d'étage, reprise de descente de charges
Identifier le potentiel d'industrialisation de la façade en déterminant le système de façade (rideau ou porteuse) et en identifiant la répétabilité des façades. Les façades-rideau ou à forte répétabilité sont favorables.
Certains programmes sont plus ou moins compatibles avec les techniques de construction hors site. Vérifier que le type de programme (logement géré, logement familial), les règles d'urbanisme (volume constructible, retraits) et l'environnement politique sont compatibles avec la construction hors site
Utiliser les outils de diagnostic du projet pour orienter le projet vers une solution constructive spécifique : Opération modulaire 3D, hybride ou traditionnelle
Décider d'un niveau d'exigence hors site en se basant sur la grille de référence publiée par Filière Hors Site France
Faire réaliser un relevé précis des composantes à remplacer et celles qui peuvent potentiellement être conservées pour adapter le contenu des solutions hors site
Exiger un relevé millimétrique de l'ensemble de l'existant par un expert géomètre
Exiger des prélèvements et des essais répartis sur l'ensemble du bâtiment pour anticiper toute variation dans la nature de la construction.
S'assurer que l'accès du site permette de transporter des composantes hors site, déterminer les dimensions maximales le cas échéant (poids maximal, taille maximale, rayon de giration, etc.)
Simuler un plan de chantier pour assurer la présence d'une emprise de déchargement pour les véhicules et les composantes hors site
Simuler un plan de chantier et assurer une zone de stockage tampon qui aura une utilisation minimale (1j de chantier maximum)
Demander une description technique des méthodes de fabrication envisagées et un sourcing prévisionnel d'entreprises capables de répondre à ces attentes
Demander la remise d'un rapport des solutions constructives envisagées et une justification du mode constructif retenu
Contractualiser la réalisation d'une étude ACV comparative des modes constructifs envisagés en conception
Demander la source et la date de validité des prix utilisés pour le chiffrage
Contractualiser la remise d'un rapport de traditionnalité des techniques constructives envisagées à chaque rendu
Travailler en collaboration avec l'industrie pour conforter les hypothèses constructives lors de la phase permis de construire. Le permis de construire devrait être déposé idéalement après sélection des fabricants hors site
Tenir deux réunions de préparation du dossier de permis de construire avec les services instructeurs de la ville. Le premier rendez-vous permet de comprendre les attentes hors contexte des services, le deuxième de valider les dispositions architecturales avant l'instruction
Obtenir un retour des services instructeurs validé par la mairie avant le dépôt du permis de construire
Tenir une réunion de validation des intentions architecturales avec les architectes des Bâtiments de France le cas échéant et avant le dépôt du dossier
Tenir une réunion de validation du projet auprès de la commission de sécurité incendie ainsi que de la commission accessibilité
Si possible, entrer dans un processus d'instruction accélérée du permis de construire avec les services instructeurs.

5 - Liste indicative des recommandations opérationnelles spécifiques aux opérations hors site (suite)

Conception (suite)	Consultation des entreprises	Consulter les entreprises en phase amont
		Revoir les critères d'analyse des offres
		Adapter l'allotissement du projet
		Vérifier la compatibilité des mémoires techniques et des planifications
		S'assurer de la compatibilité de la mission du bureau de contrôle avec les modes constructifs envisagés
Réalisation	Méthodes	Assurer les approvisionnements
		Assurer le levage
	Pilotage du chantier	Assurer la réception des supports
		Assurer la réception des composants hors site
		Assurer la coordination des intervenants et des approvisionnements
Fabrication	Etudes d'EXE	Lancer et finaliser les études EXE au plus tôt
	Approvisionnements	Lancer les OS d'approvisionnement au plus vite
	Fabrication	Lancer l'OS fabrication au moment opportun
	Premier de série	Organiser une visite du premier de série

Figure 44 - Liste indicative de recommandations opérationnelles spécifiques aux opérations hors site selon la phase du projet.

La consultation des entreprises doit se faire le plus tôt possible dans le processus de conception afin d'intégrer les spécificités des modes constructifs.
Modifier la grille d'analyse des offres afin d'intégrer les critères suivants : respect de la conception architecturale, traditionnalité des techniques et performances d'usage.
Contractualiser la rédaction des DPGF, des CCTP et des CCAP pour prendre en compte le découpage du projet en macro-composantes. Les documents doivent faire apparaître : l'allotissement et les travaux afférents, pour les lots hors site comme sur site ; les limites de prestations pour chacun des lots, les interfaces entre chacun des lots. La réception des supports devra faire l'objet de procès verbaux.
Le pilote d'opération doit être identifié et participer à l'analyse des offres afin d'assurer la bonne planification du déroulé du chantier en construction / rénovation hors site.
Lors de la sélection des offres, il convient de demander au bureau de contrôle s'il faut activer la clause de réexamen liée au contrôle en atelier de fabrication. Cette clause permet, dans le cas de composants hors site non visitables, d'assurer au bureau de contrôle la capacité d'aller vérifier l'ensemble des éléments constituant les ouvrages en atelier.
S'assurer de la prise en compte des contraintes locales et nationales de transport des composantes hors site : types de routes, calendriers spécifiques, etc.
S'assurer que la zone de levage peut reprendre les efforts nécessaires à porter les composantes hors site prévues au projet. S'assurer que les bons outils de levage sont prévus et peuvent coexister sur le chantier
Les procès verbaux de réception des supports doivent être prononcés avant la livraison des composants hors site
Les procès verbaux de réception des supports doivent être prononcés avant l'intervention d'entreprises sur les composants.
La gestion des flux de composants est essentielle à la conduite de l'opération hors site. En amont, les fabricants doivent produire en avance, afin de livrer en juste à temps, et en aval, les constructeurs doivent mettre en œuvre les composantes aussi vite qu'elles sont livrées. Les PV de réception des supports attendent de la capacité du chantier à accueillir les composants, les PV de réception des composants permettent d'attester de leur bonne installation.
Le déroulé accéléré des opérations hors site peut rapidement rattraper les délais d'intervention des concessionnaires. Il convient donc de prévoir en amont le raccordement de l'opération aux réseaux.
Les composants hors site en peuvent être ajustés sur place et doivent être définis avant leur mise en fabrication. L'OS pour les études EXE doit être lancé dès la signature des offres. Ces études doivent être finalisées avant le lancement de la fabrication en atelier, donc très tôt dans le chantier.
Les OS d'approvisionnement doivent être lancés au plus vite afin de ne pas perdre les gains de temps relatifs à l'approche hors site. Ils peuvent être lancés dès validation des plans d'EXE, sous contrôle de la MOE qui doit valider les approvisionnements d'un point de vue architectural (conformité et PC validé).
Les plannings de construction hors site développent des chemins critiques qui amènent souvent le début de la fabrication avant le démarrage du chantier. Il convient donc de prévoir un OS spécifique.
Chaque typologie de composant doit faire l'objet d'une validation d'un premier de série. Cela peut être l'occasion d'améliorer le premier de série, de corriger les défauts et d'émettre des points de vigilance. Le bureau de contrôle doit être présent aux visites de premiers de série.

Restitution des interviews

LE REGARD DES BAILLEURS SOCIAUX ET DES ASSOCIATIONS RÉGIONALES



- Guillaume Aubrit, chargé de mission
Association Régionale Auvergne-Rhône-Alpes (AURA)
- Quentin Godderidge, chargé de mission
Association Régionale Champagne-Ardennes (ARCA)
- Guillaume Lutz, chargé de mission
Association Régionale des Organismes Hlm d'Alsace (AREAL)
- Pauline Urien, directrice
Alice Martin, chargée de mission
Association Régionale Bretagne (ARO Hlm)
- Pierre Etchegoyhen, responsable de projets
Immobilière 3F
- Benoit Narcy, directeur des opérations immobilières
Batigère Habitats Solidaires
- Paul Sachot, chargé de mission Expérimentation et Financement - Est Métropole Habitat

Synthèse

Les bailleurs sociaux perçoivent la construction hors site (CHS) comme une opportunité majeure pour répondre aux défis actuels du logement social. Ils reconnaissent son potentiel pour accélérer la rénovation énergétique massive de leur parc immobilier, améliorer la qualité de vie des résidents et réduire les charges énergétiques. La CHS est vue comme un moyen d'optimiser les délais de construction, de réduire les nuisances sur les chantiers et d'adopter des solutions plus durables et innovantes.

Cependant, ils sont conscients des obstacles à surmonter. Parmi les défis identifiés figurent les surcoûts initiaux liés aux solutions hors site, les contraintes réglementaires (notamment en matière d'incendie et d'urbanisme), la nécessité de maîtriser les nouvelles techniques et le besoin de coordination entre les différents acteurs. Les bailleurs sociaux insistent sur l'importance de l'anticipation, de la planification rigoureuse et de la collaboration avec les industriels et les entreprises de construction pour réussir la transition vers la CHS. Ils soulignent également le rôle crucial du soutien politique et financier pour faciliter l'adoption de ces nouvelles méthodes constructives.

LE REGARD DES ENTREPRISES DE CONSTRUCTION



- Jacques Bouillot, directeur développement hors site
GROUPE EIFFAGE
- Marine May, directrice du pôle Façade
LEON GROSSE
- Dominique Pelissier, fondateur de Techniwood
TECHNIWOOD
- Alexis Joly, représentant de SNERTC
SNERCT

Synthèse

Les entreprises de construction voient dans la CHS une voie pour transformer le secteur et répondre aux exigences environnementales croissantes, telles que celles de la RE 2020. Elles considèrent la CHS comme un levier pour améliorer la productivité, réduire les délais sur site, assurer une meilleure qualité d'exécution et attirer une nouvelle génération de professionnels motivés par des projets innovants.

Ces entreprises reconnaissent la nécessité d'un changement de culture, passant d'une approche traditionnelle à une méthode plus industrialisée et intégrée. Elles mettent l'accent sur l'importance de la collaboration dès les phases amont des projets, impliquant maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrage et industriels. Les défis identifiés incluent l'adaptation aux nouvelles méthodes de travail, la formation des équipes, la gestion des interfaces entre les différents lots et la nécessité de repenser les rôles traditionnels au sein des projets pour favoriser l'innovation et l'efficacité.

LE REGARD DES FOURNISSEURS DE SOLUTIONS HORS SITE



- Mickael Lecomte
RECTOR LESAGE
- Jean-Jacques Korosec et Philippe Marras
VELIS GROUP
- Vincent Birarda
ARCELOR MITTAL
- Olivier Magne
SYBOIS (GROUPE MILLET)
- Sébastien Fournier
SYNERPOD ET TECH-OFF

Synthèse

Les industriels perçoivent la CHS comme une opportunité pour proposer des solutions innovantes, modulaires et à haute performance environnementale. Ils mettent en avant la standardisation et la préfabrication comme moyens d'optimiser la production, de garantir la qualité et de réduire les coûts. La collaboration étroite avec les architectes et les maîtres d'ouvrage dès les phases de conception est jugée essentielle pour assurer la compatibilité des projets avec les solutions proposées.

Ils reconnaissent toutefois plusieurs défis majeurs :

- **Perception du modulaire** : Ils doivent lutter contre les idées reçues et les perceptions négatives associées aux constructions modulaires, souvent perçues comme de moindre qualité.
- **Contraintes réglementaires** : Les évolutions constantes des normes, notamment en matière d'incendie et de performance énergétique, nécessitent une adaptation continue.
- **Modèles économiques** : Le besoin de repenser les modalités de paiement pour réduire le besoin en fonds de roulement et assurer la rentabilité des investissements est crucial.
- **Logistique** : La gestion des flux, le stockage et la coordination des livraisons sont des aspects clés pour le succès de la CHS.

Les industriels appellent à une meilleure collaboration avec l'ensemble des acteurs du secteur pour favoriser l'adoption de la CHS et surmonter ces obstacles.

LE REGARD DU CHERCHEUR

- Géraldine Bouchet-Blancou
Chercheuse - Rénovation et surélévation hors site

Selon Géraldine Bouchet-Blancou, les bailleurs sociaux sont idéalement placés pour la rénovation et la surélévation hors site, car ils possèdent le toit et ont une connaissance approfondie de leur parc immobilier. Ces projets permettent d'améliorer la qualité de vie des résidents et de réduire les charges énergétiques, tout en répondant à la demande de logements en zones denses sans augmenter l'emprise au sol.

Cependant, la massification de cette approche est difficile en raison des contraintes urbanistiques, réglementaires et du faible nombre de bâtiments adaptés. Les défis incluent la complexité supplémentaire, les obstacles logistiques et les obligations de mise aux normes (ascenseurs, sécurité incendie, stationnement). Géraldine recommande une méthodologie rigoureuse : collecter les informations, identifier les points clés, vérifier la capacité structurelle existante et envisager les techniques adaptées. Elle insiste sur le phasage des diagnostics urbains et techniques pour réduire les risques et assurer la viabilité économique des projets.

Synthèse générale

Les entretiens avec les différents acteurs du secteur de la construction hors site (CHS) ont permis de dégager plusieurs recommandations majeures pour favoriser l'adoption et le développement de cette méthode constructive innovante. Ces recommandations peuvent être regroupées selon les thématiques suivantes :

Collaboration précoce et intégration des acteurs

- 1. Impliquer tous les acteurs dès les phases amont :** Maîtres d'ouvrage (MOA), maîtres d'œuvre (MOE), entreprises générales (EG), industriels et bureaux de contrôle doivent être impliqués dès les premières phases du projet pour assurer une bonne coordination et une compréhension mutuelle des contraintes et des objectifs.
- 2. Favoriser la co-conception :** Encourager un processus de co-conception entre les architectes, les ingénieurs et les industriels pour intégrer les spécificités de la CHS dès la conception et optimiser les interfaces entre les différents lots.
- 3. Créer des équipes spécialisées :** Constituer des équipes dédiées à la CHS, formées aux spécificités de cette méthode, pour garantir la qualité et l'efficacité des projets.

Adaptation des modes de consultation et de contractualisation

- 4. Utiliser des modes de dévolution adaptés :** Recourir à des contrats de conception-réalisation, des marchés globaux de performance (MGP) ou des accords-cadres pour faciliter l'intégration des solutions hors site et sécuriser les coûts et les délais.
- 5. Anticiper et adapter les procédures :** Modifier les processus traditionnels de consultation pour intégrer les spécificités de la CHS, notamment en prévoyant des phases d'études plus en amont et en adaptant les critères de sélection des entreprises.
- 6. Réviser les cahiers des charges :** Adapter les cahiers des charges pour permettre l'innovation et l'utilisation de solutions hors site, en évitant les prescriptions trop restrictives qui limitent les possibilités techniques.

Standardisation et massification

- 7. Favoriser la standardisation des composants :** Développer des produits catalogues et standardisés pour optimiser la production industrielle, réduire les coûts et faciliter la répétabilité des projets.
- 8. Assurer un volume de commande suffisant :** Garantir des volumes de commande stables et significatifs pour permettre aux industriels d'investir dans des outils de production performants et d'amortir les coûts.
- 9. Mutualiser les projets :** Encourager la mutualisation des besoins entre bailleurs sociaux pour massifier la demande et créer des économies d'échelle.

Surmonter les obstacles culturels et les perceptions négatives

- 10. Sensibiliser et former les acteurs :** Mettre en place des actions de formation et d'information pour acculturer les maîtres d'ouvrage, les architectes et les entreprises aux avantages et aux spécificités de la CHS.
- 11. Promouvoir les réussites :** Communiquer sur les projets réussis et les retours d'expérience positifs pour changer les perceptions négatives associées à la construction modulaire ou préfabriquée.
- 12. Impliquer les architectes :** Valoriser le rôle des architectes dans la CHS en les impliquant dans la conception des solutions et en montrant que la créativité architecturale est compatible avec la standardisation.

Considérations réglementaires et techniques

- 13. Anticiper les contraintes réglementaires :** Intégrer dès le début du projet les exigences réglementaires, notamment en matière de sécurité incendie, d'acoustique et de performance énergétique, pour éviter les retards et les surcoûts liés aux adaptations tardives.
- 14. Favoriser l'innovation réglementaire :** Travailler avec les autorités compétentes pour assouplir certaines contraintes réglementaires qui freinent l'adoption de la CHS, notamment en matière d'assurabilité et de garanties décennales pour les solutions innovantes.
- 15. Assurer la qualité et la conformité :** Obtenir des certifications et des agréments (comme la certification QB modulaire du CSTB) pour rassurer les maîtres d'ouvrage sur la qualité et la durabilité des produits hors site.

Modèles économiques et financement

- 16. Adapter les modalités de paiement :** Revoir les conditions de paiement pour réduire le besoin en fonds de roulement des industriels, par exemple en prévoyant des paiements à la fabrication plutôt qu'à l'avancement sur chantier.
- 17. Sanctuariser les financements :** Obtenir des engagements financiers stables de la part des bailleurs de fonds et des pouvoirs publics pour soutenir les investissements nécessaires à la CHS.
- 18. Valoriser le coût global :** Promouvoir une approche en coût global qui intègre les gains en temps, en qualité, en performance énergétique et en réduction des nuisances, plutôt que de se focaliser uniquement sur le coût initial de construction.

Formation et développement des compétences

- 19. Former les professionnels :** Développer des programmes de formation spécifiques pour les conducteurs de travaux, les compagnons, les architectes et les ingénieurs afin de maîtriser les techniques de la CHS.
- 20. Attirer les nouvelles générations :** Utiliser l'innovation et la modernité de la CHS pour attirer de jeunes talents dans le secteur de la construction.
- 21. Accompagner la transformation des métiers :** Prévoir des plans de formation et de reconversion pour les professionnels dont les compétences doivent évoluer avec l'adoption de la CHS.

Planification et logistique

- 22. Anticiper les délais et les approvisionnements :** Planifier en amont les phases de fabrication, de transport et de montage pour éviter les retards et optimiser le planning global du projet.
- 23. Gérer les interfaces :** Porter une attention particulière à la gestion des interfaces entre les différents lots et composants pour assurer une intégration sans faille des éléments préfabriqués.
- 24. Optimiser la logistique urbaine :** Tirer parti des avantages de la CHS pour réduire les nuisances liées au chantier, notamment en milieu urbain dense, en limitant les livraisons et les stocks sur site.

Rôle des associations et des plateformes collaboratives

- 25. Fédérer les acteurs :** Utiliser les associations régionales et professionnelles comme plateformes pour mutualiser les efforts, partager les retours d'expérience et coordonner les actions en faveur de la CHS.
- 26. Développer des outils communs :** Créer des centrales d'achat, des bases de données de solutions techniques et des guides pratiques pour faciliter l'adoption de la CHS par les maîtres d'ouvrage.
- 27. Encourager les partenariats :** Faciliter la mise en relation entre bailleurs sociaux, industriels, entreprises de construction et autres parties prenantes pour développer des projets collaboratifs.

Innovation et flexibilité

- 28. Encourager la R&D :** Investir dans la recherche et le développement pour améliorer les produits et les procédés de la CHS, notamment en matière de matériaux biosourcés et de solutions bas carbone.
- 29. Adapter les solutions aux besoins :** Développer des produits et des systèmes modulaires flexibles qui peuvent être adaptés aux spécificités de chaque projet et aux évolutions réglementaires.

- 30. Intégrer les nouvelles technologies :** Utiliser le BIM et d'autres outils numériques pour optimiser la conception, la fabrication et la gestion des projets en CHS.

Gestion des risques et qualité

- 31. Réduire les risques sérieux :** Mettre en place des processus de contrôle qualité rigoureux en usine et sur site pour prévenir les sinistres et garantir la pérennité des ouvrages.
- 32. Assurer la traçabilité :** Maintenir une traçabilité des composants et des matériaux utilisés pour faciliter la maintenance et les éventuelles interventions futures.
- 33. Engager les bureaux de contrôle :** Collaborer étroitement avec les bureaux de contrôle dès les phases initiales pour valider les choix techniques et éviter les blocages réglementaires.

Approche environnementale et sociétale

- 34. Réduire l'empreinte carbone :** Prioriser l'utilisation de matériaux bas carbone et biosourcés, et adopter des procédés de construction limitant les émissions de CO₂.
- 35. Améliorer les conditions de travail :** Utiliser la CHS pour réduire la pénibilité sur les chantiers, améliorer la sécurité et favoriser l'égalité hommes-femmes dans les métiers du bâtiment.
- 36. Favoriser l'acceptabilité sociale :** Impliquer les usagers et les riverains dans les projets pour améliorer l'acceptation des constructions hors site, notamment en milieu urbain.

Conclusion

Les intervenants recommandent une transformation globale du secteur de la construction pour intégrer pleinement la construction hors site. Cela passe par une collaboration renforcée entre les acteurs, une adaptation des méthodes de travail et des modèles économiques, ainsi qu'une valorisation des avantages environnementaux et sociétaux de cette méthode constructive. La réussite de cette transition nécessite une volonté collective, un soutien politique et financier, et une ouverture à l'innovation et au changement.

Glossaire

1 - Approche hors site

Approche de la construction qui anticipe la mise en œuvre d'éléments de construction réalisés en dehors du chantier tout au long de son cycle de vie (montage, management, conception, réalisation, mise en œuvre, réhabilitation / rénovation, déconstruction, démolition)

2 - Construction hors site

Approche hors site appliquée à la construction

3 - Rénovation hors site

Approche hors site appliquée à la rénovation

4 - Élément de construction

Élément mis en œuvre et constitutif de la construction. La construction est la somme de tous ses éléments.

5 - Fabrication hors site :

Étape de production d'éléments de construction qui seront ensuite acheminés sur site. La fabrication hors site suit un processus défini et est encadrée par un plan d'assurance qualité.

6 - Sous-ensemble

Désignation d'un élément de construction qui résulte lui-même de l'assemblage d'éléments de construction

NOTA : un sous-ensemble peut être réalisé sur site ou hors site

7 - Élément hors site

Élément de la construction qui a été fabriqué, transformé et préparé hors du site de construction en vue d'un assemblage sur site.

NOTA : un élément hors site ne doit comporter que des adaptations mineures sur site

8 - Composante hors site

Élément hors site qui n'a pas fait l'objet d'un assemblage

9 - Skid

Sous-ensemble fabriqué hors site monté sur un châssis rigide, intégrant des équipements (pompes, armoires électriques, réseaux de fluides, etc.).

10 - Sous-ensemble hors site

Élément hors site qui résulte d'un assemblage

11 - Support de mise en œuvre

Partie du bâtiment qui accueille les composantes hors site. La surface de contact entre un support et une composante est appelée interface.

12 - Niveau de complexité d'une composante :

Se réfère au nombre de corps d'états impliqués dans la fabrication de la composante hors site

13 - Assemblage

Action de mettre en œuvre deux éléments de construction de manière solidaire dans leur disposition finale l'une par rapport à l'autre.

NOTA : l'assemblage peut avoir lieu lors de la fabrication de sous-ensembles en atelier ou lors de la mise en œuvre de sous-ensembles ou de composantes sur site.

14 - Interfaces

Limite commune entre éléments ou phases de construction de nature différente

NOTA : L'interface peut être linéaire, surfacique ou volumétrique

NOTA : peut nécessiter des précautions, des méthodes ou des outillages particuliers

15 - Design freeze

Étape clé du projet à partir de laquelle la conception de projet est figée et ne peut plus être modifiée, afin de permettre aux industriels de fabriquer les composantes du bâtiment

16 - Part de construction hors site :

Critère de jugement de la performance de l'approche hors site mesurée par la part de coût de construction représentée par la construction hors site.

17 - DfMA

Design for Manufacturing and Assembling, ou conception pour la fabrication et l'assemblage en français. Désigne une approche de conception qui prend en compte la composition du bâtiment en sous-ensemble, leurs contraintes de fabrication et de mise en œuvre afin de faciliter l'ensemble du processus de fabrication du bâtiment.

18 - Foncier contraint

Unité foncière qui offre très peu de liberté constructible sur le gabarit du bâtiment, contraignant le volume bâti.

19 - Approche hybride

Approche de la construction hors site qui vise à utiliser différents modes constructifs hors site dans un même bâtiment, par exemple : Socle traditionnel, cages d'escaliers préfabriquées et modules 3D pour les chambres dans l'hôtellerie.

Table des illustrations

Figure 1 - Un exemple de transition naturelle vers la fabrication hors site : l'industrie du béton préfabriqué (image GA smart Building)	08
Figure 2 - Fabrication en atelier de modules 3D chez Avelis	09
Figure 3 - Synthèse de l'impact comparatif d'une construction modulaire et de son jumeau « traditionnel » réalisée par BIMfox et l'ACIM (Juin 2024)	09
Figure 4 - Réduction de la pénibilité par l'accessibilité des éléments : ici un mur à ossature bois bardé à l'horizontale (SAVARE)	10
Figure 5 - Exemple de fabrication de murs à ossature bois (MOB) en atelier chez SAVARE	10
Figure 6 - Un atelier de fabrication de Modules sanitaires 3D (GA smart building)	12
Figure 7 - Tableau indicatif d'intérêt des fabricants par rapport à la taille du projet	15
Figure 8 et 9 - Couverture du « Référentiel Construction Hors Site » - Granulométrie développée dans le référentiel construction hors site	16
Figure 10 - Panneaux 2D utilisés dans l'opération de rénovation thermique dite « Les Biscottes » (architecte : Equateur)	18
Figure 11 - La construction modulaire permet non seulement de gagner un temps de chantier considérable, de limiter les nuisances sur l'environnement immédiat, mais également de recourir à des systèmes de fondations plus légères et avec un impact 100% réversible sur le site, ici par exemple avec des pieux vissés (Technopieux)	18
Figure 12 - Exemple de salle de bains haut standing réalisée hors site chez HVA concept	18
Figure 13 - Exemple de déroulé d'une opération hybride (BIMfox)	20
Figure 14 - La tour Silva (Artbuild Architectes) est le plus grand immeuble d'habitation en bois de France, il est constitué de prémurs, d'escaliers préfabriqués, d'une structure porteuse bois et CLTet de murs à ossature bois entièrement finis en atelier	21
Figure 15 - Réalisation en atelier de murs à ossature bois avec remplissage en paille (Lycée Gergovie, SAVARE)	23
Figure 16 - Schéma simplifié du déroulé d'une opération « classique » type	26
Figure 17 - Procédure d'évaluation des techniques de construction selon le site de l'AQC. En vert, les techniques courantes assurables par défaut	29
Figure 18 - Schéma indicatif de répartition des rôles des intervenants de la construction hors site	29
Figure 19 - Schéma explicatif de l'impact sur la gestion du temps et de la synthèse	36
Figure 20 - Tableau indicatif des compétences spécifiques requises pour l'approche hors site	38
Figure 21 - Les ateliers de fabrication des murs Techniwood permettent grâce à un investissement industriel important la fourniture d'un produit «qualité usine». Ce mode de fabrication peut influencer le calendrier de financement classique d'une opération	39
Figure 22 - Pose des façades à ossature bois (FOB) Techniwood en interface avec le gros-œuvre béton sur la Cité Administrative de Lyon (Z architecture)	41
Figure 23 - Schéma de consultation classique avec prise en compte de l'approche hors site	44
Figure 24 - Schéma de consultation des entreprises avant le dépôt du PC	44
Figure 25 - Schéma de consultation dit « Loi MOP Inversée » (REX en cours)	45
Figure 26 - Grille comparative indicative des modes de consultation	46
Figure 27 - Schéma explicatif de l'importance de la coordination du chantier dans l'approche hors site	47
Figure 28 - Schéma indicatif de l'intégration des lots hors site dans le flux de chantier	49
Figure 31 - Finitions intérieures d'une résidence gérée à Nantes réalisée par Avelis (Moon Architectures)	53
Figure 32 - Vue d'une chambre réalisées en modulaire 3D dans la même résidence (Moon Architectures)	53
Figure 33 - Organigramme décisionnel d'orientation vers un mode constructif	54

Figure 34 - Rénovation thermique par l'extérieur en panneaux 2D préfabriqués (Les Biscottes, architecte : Equateur)	55
Figure 35 - Le levage et la pose de modules sanitaires nécessitent une prise en compte de l'accessibilité du site de mise en œuvre (modules sanitaires du groupe GA smart Building mis en œuvre sur la construction de leur siège social)	61
Figure 36 - Levage d'un module 3D pour une résidence sociale modulaire 3D déplaçable à Nantes réalisée par Avelis (Moon Architectures)	61
Figure 37 - Le chantier de la Tour Silva à Bordeaux en fin de réalisation. Une coordination poussée a été nécessaire pour orchestrer gros œuvre, structure bois, murs à ossature bois pour ce projet exemplaire (Artbuild Architectes)	62
Figure 38 - Levage d'éléments de planchers mixtes «atom wood» de chez GA smart building pour leur siège social à Toulouse	62
Figure 39 - Les murs à ossature bois peuvent servir de support à la pose du bardage sur site (Murs GA smart building mis en œuvre pour la réalisation de leur siège social)	63
Figure 40 - Exemple de compétences d'équipes dont il faut s'assurer	68
Figure 41 - Exemple de nouvelles compétences à solliciter dans le cadre d'opérations hors site	69
Figure 42 - Exemple de grille d'orientation des choix de modes constructifs hors site en fonction des typologies de projet	70
Figure 43 - Exemple de grille comparative de performance des modes constructifs selon les ambitions RE 2020	72
Figure 44 - Liste indicative de recommandations opérationnelles spécifiques aux opérations hors site selon la phase du projet	74

LA COLLECTION DES CAHIERS, TOUTE L'EXPERTISE DE L'UNION SOCIALE POUR L'HABITAT

DERNIÈRES
PARUTIONS

COLLECTION REPÈRES

N° 142 - POLITIQUES SOCIALES

Aller vers une approche globale du vieillissement des locataires Hlm (janvier 2025)

N° 143 - MAÎTRISE D'OUVRAGE, AMÉNAGEMENT ET URBANISME

Intelligence artificielle et logement social (février 2025)

N° 144 - ÉNERGIE ET ENVIRONNEMENT

Réseaux de chaleur urbains : quels potentiels pour les territoires ? (février 2025)

N° 145 - POLITIQUES SOCIALES

Le logement des jeunes : analyse des besoins et réponses apportées dans le parc social (février 2025)

N° 146 - QUALITÉ DE SERVICE

Accompagner les demandes de mutation des locataires : pratiques et recommandations (décembre 2024)

N° 147 - DROIT ET FISCALITÉ

Réaliser une opération immobilière mixte : partenariats entre organismes Hlm et opérateurs privés (avril 2025)

N° 148 - POLITIQUES SOCIALES

L'habitat inclusif en logement social (avril 2025)

N° 149 - ÉNERGIE ET ENVIRONNEMENT

Gestion des déchets de chantier et REP PMCB (avril 2025)

N° 150 - MAÎTRISE D'OUVRAGE, AMÉNAGEMENT ET URBANISME

Construire l'acceptabilité sociale des projets Hlm : enjeux et bonnes pratiques (mai 2025)

N° 151 - POLITIQUES SOCIALES

Hébergement et logement accompagné : panorama de l'offre et rôle des organismes Hlm (juin 2025)

N° 152 - ACCÉSSION SOCIALE, VENTE HLM

Bail réel solidaire et copropriété : mode d'emploi pour les organismes Hlm et les OFS (juillet 2025)

COLLECTION PANORAMAS

N° 07 - ÉDITION 2020

Un panorama de recherches en cours dans le domaine de l'habitat et du logement

N° 08 - ÉDITION 2021

Un panorama de recherches en cours dans le domaine de l'habitat et du logement

N° 09 - ÉDITION 2022

Un panorama de recherches en cours dans le domaine de l'habitat et du logement

N° 10 - ÉDITION 2023

Un panorama de recherches en cours dans le domaine de l'habitat et du logement

N° 11 - POLITIQUES SOCIALES

Réalisations candidates au concours « Hlm, partenaires des âgés » 2021

N° 12 - ÉDITION 2024

Un panorama de recherches en cours dans le domaine de l'habitat et du logement

N° 13 - RECHERCHE ET INNOVATION

Synthèse thématique du Panorama de la recherche sur l'habitat et le logement Éditions 2023 et 2024 (juin 2024)

N° 14 - POLITIQUES URBAINES ET SOCIALES

Contributions du Mouvement Hlm aux politiques locales de l'habitat (juillet 2024)

N° 15 - ÉDITION 2025

Panorama de la recherche sur l'habitat et le logement (septembre 2024)

N° 16 - RECHERCHE ET INNOVATION

70 ans de chiffrages des besoins en logements : trajectoire d'un indicateur controversé de la politique du logement en France (septembre 2024)

COLLECTION ACTES

N° 24

Quoi de neuf acteurs ? La journée d'actualité du Réseau des acteurs de l'habitat (*Journée d'étude du 20 mars 2019*)

N° 25

Quoi de neuf chercheurs ? La vente de logements sociaux à l'épreuve de la recherche (*Journée d'étude du 28 novembre 2019*)

N° 26

Quoi de neuf acteur(s) ? Les Webinaires d'actualité du Réseau des acteurs de l'habitat (*18 novembre et 8 décembre 2020*)

N° 27

Réinventer la communication institutionnelle : le rapport d'activités à l'heure des vidéos et podcasts (*Webinaires du 8 avril 2021*)

N° 28

Être voisin(s). Espaces résidentiels et liens sociaux, aujourd'hui (*Paris, 27 et 28 octobre 2021*)

N° 29

Quoi de neuf, chercheurs ? Les défis d'un foncier et d'un logement abordables (*Paris, 1^{er} décembre 2021*)

N° 30

Faire avec les habitants : des collaborations renouvelées dans l'habitat social (*Paris, 2 juin 2022*)

N° 31

Votre communication est-elle vraiment accessible à toutes et à tous ? (*Paris, 5 décembre 2022*)

N° 32

Ensemble, relevons les défis du logement dans les petites villes (*Barentin, 6 décembre 2023*)

Pour commander des Cahiers, se rendre sur l'espace « BOUTIQUE »

du site www.union-habitat.org

**L'ensemble des Cahiers est disponible en PDF sur <http://ressourceshlm.union-habitat.org>,
après identification de l'utilisateur.**

N°

153



**UNION NATIONALE
DES FÉDÉRATIONS D'ORGANISMES HLM**

14, rue Lord-Byron - 75384 Paris Cedex 08

T 01 40 75 78 00 - www.union-habitat.org