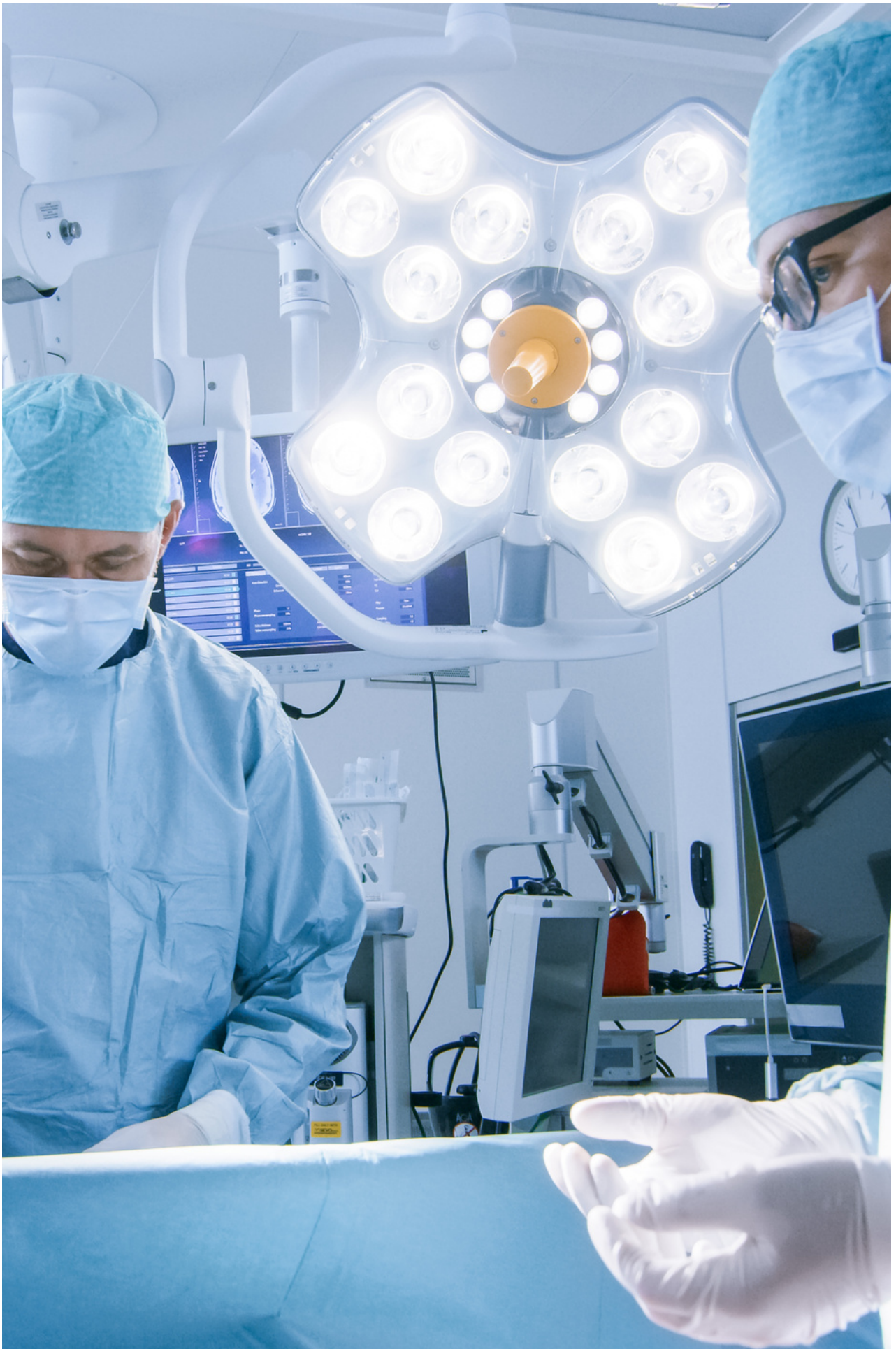




Construction hospitalière hors site : Solution(s) ou utopie ? _

Auteur: **Pascal Martinet**
Directeur activité santé
Egis



Sommaire_

Introduction	4
1 - Contexte	7
2 - De multiples modes de préfabrication	11
2.1 - La construction traditionnelle	
2.2 - La préfabrication de la structure et des façades	
2.3 - La logique "casier à bouteille" : des modules glissés dans une structure brute	
2.4 - La construction hors-site complète par module 3D	
3 - Exemple et perspectives	18
4 - Synthèse	20

Introduction

Les opérations d'extension – reconstruction-réhabilitation lourde sur le site même des établissements en activité se multipliant, la question de l'impact des chantiers sur la sécurité et le bon fonctionnement des hôpitaux est rapidement devenu un enjeu de faisabilité. Précurseur et avec une expérience réussie dès 2007, le Centre Hospitalier d'Argenteuil, Victor Dupouy s'est engagé dans une opération de ce type pour la reconstruction de son bâtiment regroupant les activités de court séjour et le plateau technique.



© Images Brunet Saunier & Associés

Le bâtiment Madeleine Brès, qui constitue la première de 3 tranches d'extension du Centre Hospitalier Victor-Dupouy d'Argenteuil, est la première réalisation du plus grand chantier hospitalier modulaire en France. Ce procédé constructif a été choisi par l'établissement afin de diminuer les délais de construction et minimiser les nuisances pour la continuité du service, du fait que le projet implique des opérations de déconstruction – reconstruction.

Dans le cadre d'un concours « conception-réalisation », le groupement constitué des GTM/CBC Bâtiment et de CADOLTO, du cabinet d'architecture Brunet Saunier et d'Egis a réalisé en 25 mois et livré en 2013 la première tranche de l'opération d'environ 20 000m² et pour 152 lits pour les activités de chirurgie (consultation, UCA, bloc opératoire et endoscopies, hospitalisation), de cancérologie (consultations, hôpital de jour, hospitalisation, unité de recherche clinique et radiothérapie) et les soins critiques.



© Images Brunet Saunier & Associés



Structure Métallique du modulaire (Source Cadolto)

Le bâtiment en R+3 sur sous-sol comprend 330 modules pour une surface de plancher « modulaire » de 14 000 m² sur les 20 000 m² de la tranche concernée. Les 3 étages de modules structurellement autoportants et réalisés en structure métallique sont installés sur un socle en béton traditionnel. Le taux de préfabrication pouvait atteindre 90 % selon les locaux (par exemple, les chambres d'hospitalisation). L'acheminement sur site et le montage des 3 étages ont été réalisés en trois mois.



Cette première expérience significative et réussie, ainsi que les enjeux liés aux impacts environnementaux de la construction des bâtiments, nous ont conduits à concevoir autrement pour construire autrement.



Aussi, cette question de la modularité, de la préfabrication et de la construction hors site est toujours au cœur de nos préoccupations et nous partageons ci-après une partie de notre analyse et de nos réflexions.

Installation des modules (Source Cadolto/GTM/BSA/Egis)



1. Contexte _

La conception et la construction d'un édifice hospitalier s'avèrent être un défi d'ampleur, nécessitant une approche pragmatique et éclairée face à une conjonction d'enjeux techniques, opérationnels et économiques plus importants que pour la majorité des autres ouvrages de bâtiments.

Les exigences techniques pour ce type d'équipement sont élevées, englobant la qualité de l'air, la sécurité des installations et la continuité de fonctionnement, l'hygiène, l'acoustique, la capacité à recevoir des équipements lourds, ... le tout dans un environnement réglementaire et normatif très contraignant y compris s'agissant de la prévention des risques contre l'incendie.

Les attentes sur le volet opérationnel sont autant importantes et portent notamment sur la facilité d'exploitation - maintenance, la consommation énergétique, l'évolutivité, la capacité de reconfiguration des espaces et la réalisation de travaux sur des sites souvent contraints, urbains, denses et en activité.

Enfin, les investissements correspondants pour ces opérations immobilières sont considérables, dans un contexte économique compliqué, et la maîtrise des coûts constitue de fait un enjeu majeur et déterminant dans notre capacité à moderniser nos établissements, à améliorer la prise en charge de la population et la qualité de vie au travail pour les professionnels de santé.

Dans ce contexte, la préfabrication émerge comme une stratégie alternative pour relever ces défis complexes. Cette approche ne se contente pas de déplacer le chantier "hors site" et donc d'en minimiser les nuisances (bruits, poussières, aspergillose, ...), elle vise également à une optimisation des coûts par le biais de l'industrialisation et de la standardisation mais aussi à une maîtrise accrue de la qualité (et donc de la pérennité) et des délais par des réalisations en usine ou en atelier d'ouvrages ou parties d'ouvrages.

Les sujets de maintenance avec des pièces et accessibilités « type » peuvent être anticipés et intégrés aux éléments préfabriqués.



© Images Brunet Saunier & Associés

Elle doit contribuer enfin à réduire l'impact environnemental de nos opérations en permettant par exemple une meilleure utilisation de matériaux décarbonés, en réduisant les déchets de chantier et la consommation d'eau ou en favorisant la réutilisation, le réemploi.

Cependant, cette stratégie du recours à la préfabrication n'est pas dépourvue de faiblesses et de risques.

Elle aurait pour premier corollaire une certaine uniformisation de la construction hospitalière réinterrogeant d'une part la place des concepteurs, notamment des architectes, dans le processus de l'acte de construire et d'autre part le peu de liberté qui serait accordée aux spécificités, exigences et attentes particulières et locales avec toutes les frustrations et contestations qui pourraient en découler.

La préfabrication est également tributaire de la capacité de la filière industrielle et de ses opérateurs économiques à l'organiser et l'assumer à grande échelle ainsi que des modes de dévolution qui sont à notre disposition pour mener à bien la procédure d'achat et la maîtriser.

D'autres sujets tels que la proximité des sites de fabrication avec des implications sur le transport et l'empreinte carbone, la maîtrise de la qualité, du coût et du délai des études de conception, d'exécution et d'atelier des éléments préfabriqués, nécessitent une évaluation approfondie pour garantir le succès et la durabilité de cette approche alternative et novatrice dans le domaine de la construction hospitalière.

Une analyse exhaustive de ces facteurs devient impérative pour éclairer les décisions et orienter le secteur vers une évolution à la fois efficace et éthique (analyse de type SWOT proposée ci-après).



- **Efficacité et rapidité** : La préfabrication permet de construire des éléments hors site, de les anticiper, ce qui accélère le processus de construction. Une partie de la conception est également réalisée sur la base de « modèles » reproduits, gain sur les délais de conception – meilleure maîtrise des plannings de réalisation.
- **Qualité contrôlée** : Les composants préfabriqués sont fabriqués dans des conditions contrôlées, garantissant une meilleure qualité. Réduction des risques d'erreur sur le chantier.
- **Réduction des risques chantier** : moins de nuisances, moins d'impacts sur les activités hospitalières, moins de déchets sur le chantier.
- **Réglementation** : meilleure maîtrise du risque réglementaire et normatif par utilisation d'éléments conformes et validés.



- **Investissements initiaux** : La mise en place d'installations de préfabrication peut nécessiter des investissements initiaux élevés. Les études de développement, de conception, d'exécution et d'atelier doivent être menées en préalable.
- **Limitations de conception** : Certains designs complexes, spécificités programmatiques et locales peuvent ne pas être adaptés à la préfabrication.
- **Transport et logistique** : Le transport des éléments préfabriqués jusqu'au site peut poser des défis et avoir un impact carbone significatif
- **Organisation de l'achat** : capacité à organiser un achat à niveau national sur des éléments génériques et à moyen/long termes.



- **Réglementations** : Les réglementations et normes peuvent limiter le développement et l'utilisation de certains éléments et matériaux préfabriqués; l'innovation industrielle est plus rapide que l'évolution réglementaire.
- **Compétition/ Obsolescence** : D'autres méthodes de construction peuvent innover, concurrencer la préfabrication et rendre rapidement le « modèle » obsolète.
- **Risques de qualité** : Si la fabrication en usine n'est pas bien contrôlée, cela peut entraîner des problèmes de qualité sur le chantier.
- **Organisation de l'achat** : confrontation entre les règles de la commande publique et les opérateurs industriels ; capacité de ces opérateurs à satisfaire la demande.
- **Uniformisation/Modèle** : tous les participants à l'acte de construire (État, utilisateurs, élus, architectes, entreprises de construction, ...) doivent renoncer à une partie de leurs prérogatives/marchés.



- **Demande croissante** : L'augmentation de la construction hospitalière offre des opportunités pour la préfabrication.
- **Innovation technologique** : L'utilisation de nouvelles technologies peut améliorer les processus de préfabrication.
- **Écoconstruction** : La préfabrication peut réduire l'empreinte carbone du secteur de la construction, limiter les déchets de chantier, réduire la consommation d'eau et favoriser le réemploi, la réutilisation.
- **Uniformisation/Standardisation/Rationalisation** : contribue à une meilleure maîtrise des coûts et de l'exploitation-maintenance ; conception à l'échelle nationale, reproduite dans chaque établissement.
- **Organisation de l'achat** : possibilité de procéder par voie de centrales d'achat et bons de commande voire location de certains éléments; souplesse, rapidité et maîtrise des prix et des risques d'appel d'offres



2. De multiples modes de préfabrication —

Ce paragraphe propose une analyse comparative des différents modes constructifs, de la construction traditionnelle à la construction hors-site complète.

Une grille comparative vient synthétiser les forces et faiblesses des différents modes en évaluant les principaux critères distinctifs des solutions analysées :

- Maîtrise de l'impact environnemental : 0% = mauvaise maîtrise / 100% = meilleure maîtrise
- Maîtrise des coûts : 0% = mauvaise maîtrise / 100% = meilleure maîtrise
- Évolutivité : 0% = peu favorable à l'évolutivité / 100% très favorable à l'évolutivité
- Nuisances chantier : 0% = importantes nuisances / 100% = nuisances maîtrisées
- Délai chantier : 0% = impossible à optimiser / 100% = grande possibilité d'optimiser

2.1 - La construction traditionnelle —

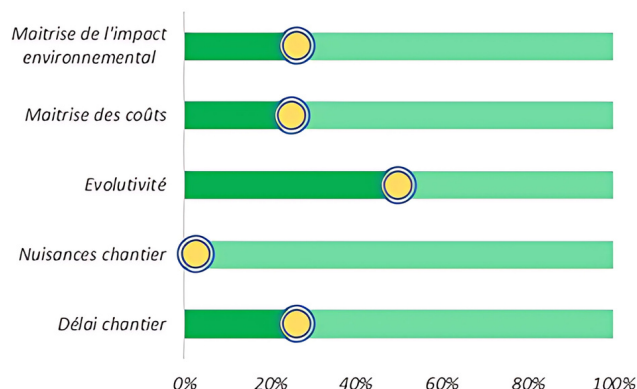
La construction traditionnelle dans le cadre d'une opération hospitalière est une approche séquentielle et sur site, impliquant la création directe d'éléments structurels et architecturaux sans préfabrication en usine. La conception personnalisée s'adapte aux besoins spécifiques de l'établissement de santé, avec une collaboration entre architectes, ingénieurs et professionnels de la santé qui peut être continuée dans la cadre d'une dévolution de type "MOP".

Le processus suit une séquence chronologique, débutant par la préparation du site, la construction des

fondations, des murs, des planchers, et se terminant par l'installation des équipements et des finitions intérieures. Une main-d'œuvre locale qualifiée est employée, érigeant les parties de l'hôpital directement sur le site.

L'approche séquentielle permet des ajustements en cours de construction pour répondre à des besoins spécifiques émergents, mais sans maîtrise des coûts et des délais (avenant entreprises). La supervision des travaux sur site est cruciale pour contrôler et intégrer les infrastructures, les équipements et systèmes techniques et l'ensemble des finitions.

Bien que la construction traditionnelle puisse entraîner des délais et des coûts plus élevés ainsi que des problèmes de qualité finale, elle demeure la méthode privilégiée pour les projets hospitaliers, par habitude d'une part et par une absence de standardisation nationale qui contraindrait la personnalisation des projets.



2.2 La préfabrication de la structure et des façades —



© Olivier Davost, Egis

Une approche intermédiaire peut être envisagée avec la technique de construction préfabriquée basée sur des éléments unitaires modulaires, à la fois pour la structure et la façade, avec des aménagements intérieurs réalisés sur site.

En ce qui concerne la structure, une trame standard de 7,20 m serait utilisée, avec des poteaux, poutres, prédalles et prémurs préfabriqués. Ces éléments unitaires seraient fabriqués en usine, assurant une qualité et une précision optimales.

La trame standard offrirait une flexibilité suffisante pour diverses configurations architecturales et fonctionnelles, tout en simplifiant la planification, la logistique et minimisant les impacts chantier.

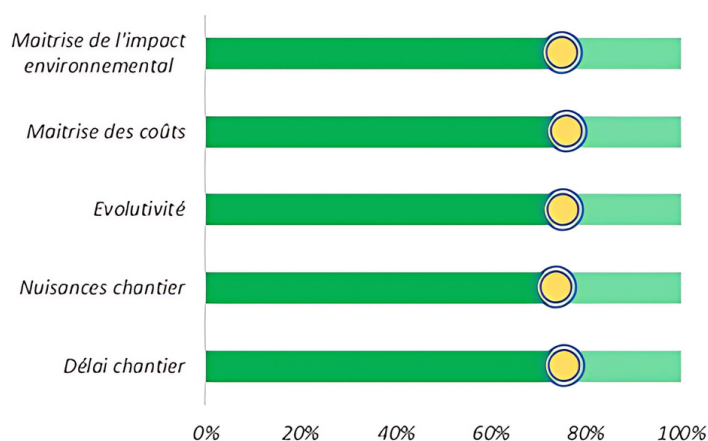
Pour la façade, une ossature bois préassemblée serait adoptée, offrant à la fois esthétique et durabilité. Ces modules préfabriqués, conçus pour s'adapter à la trame de 7,20 m, simplifieraient le processus d'assemblage sur site et accéléreraient la phase de construction.

L'utilisation de matériaux durables, tels que le bois, contribuerait à une empreinte environnementale réduite. Il est également possible de prévoir dans les éléments de façade la gestion des apports solaires et du confort lumineux en intégrant les occultations en usine pour une meilleure garantie de l'étanchéité à l'air de la façade.



© Olivier Davost, Egis

La particularité de cette approche est que les aménagements intérieurs seraient réalisés sur site, permettant une personnalisation en fonction des besoins spécifiques de chaque projet. Cela inclurait l'installation de cloisons, la mise en place des systèmes électriques, de CVC et de plomberie, ainsi que tout autre élément d'agencement intérieur nécessaire.



Les avantages de cette technique incluent une construction plus rapide et efficace grâce à la préfabrication des éléments structurels et de façade, que l'on pourrait étendre à d'autres éléments comme les gaines techniques.

Cette approche propose une hybridation intelligente entre la préfabrication pour des éléments très répétitifs, tout en préservant la flexibilité et la personnalisation pour les aménagements intérieurs.

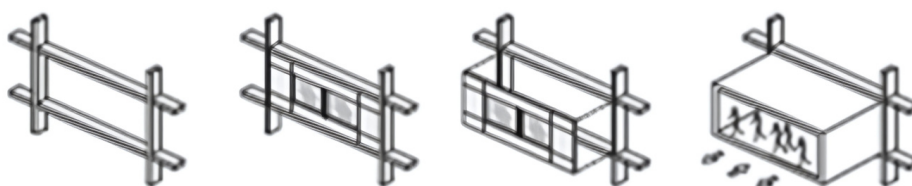
L'impact environnemental, et notamment l'empreinte carbone, peut être très favorable si les usines fabrication sont proches et permettent d'éviter de longs transports.

Le transport est néanmoins facilité par des dimensions d'éléments préfabriqués adaptées aux contraintes du transport et à la rationalisation des chargements.

2.3 La logique « casier à bouteille » : des modules glissés dans une structure brute —

La solution mixte du "casier à bouteille" propose une approche modulaire de construction où des modules préfabriqués s'intègrent dans une structure brute existante, formant une composition architecturale unique. Analogues aux bouteilles dans un casier, ces unités préfabriquées sont conçues de manière modulaire pour diverses fonctions, tels des chambres d'hébergement, des boxes d'examen/consultation, des chambres/espaces de jour, des bureaux, voire des salles d'opération polyvalentes ou des modules de laboratoire.

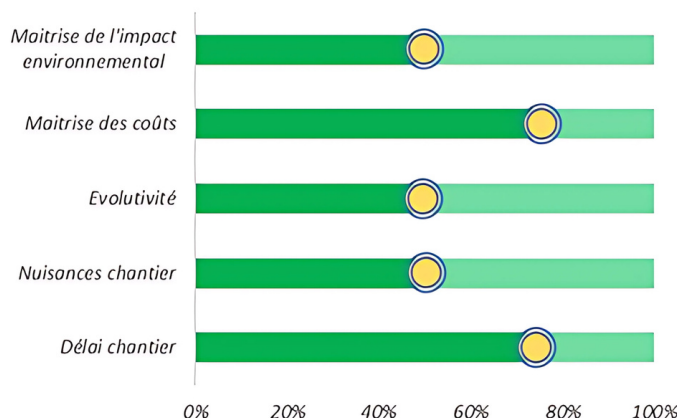
Préfabriqués en usine, ces modules se glissent et s'emboîtent dans la structure brute, offrant une flexibilité architecturale et une construction durable.



Installation des modules (Source Cadolto/GTM/BSA/Egis)

Cette méthode permet une grande flexibilité architecturale avec des modules interchangeables dans une trame structurelle fixe (généralement 7,20m x 7,20m), favorisant des changements d'affectation des réorganisations et des réaménagements aisés en fonction de l'évolution des besoins.

La durabilité est encouragée par l'intégration dans des structures existantes prédéfinies, minimisant la démolition et réduisant l'impact environnemental. L'assemblage rapide des modules en usine accélère le processus de construction, limitant les perturbations sur le site et permettant une mise en service rapide des espaces.



Malgré ces atouts, cette approche mixte a l'inconvénient de la réalisation de la structure en chantier traditionnel avec outre les nuisances y afférentes des incertitudes sur des spécificités dimensionnelles (exemple des charges d'exploitation), sur les trémies et réservations pour l'innervation technique.

La logistique de transports (modules de grandes dimensions, distances à parcourir), de levage, d'ordonnancement de pose, d'installation (avec des tolérances différentes entre la structure et les modules) et d'assemblage des modules constituent également des risques potentiels qui impactent le chantier, son empreinte carbone et le coût de construction.

2.4 La construction hors-site complète par module 3D —

La construction hors-site complète par module 3D est une méthode étendue de construction préfabriquée qui implique la préfabrication d'éléments de bâtiment en dehors du site de construction principal. Dans ce contexte, la notion de module 3D fait référence à la création d'éléments de construction tridimensionnels et complets, qui sont fabriqués en usine selon des spécifications précises avant d'être transportés et assemblés sur le site.



Installation des modules (Source Cadolto/GTM/BSA/Egis)

La construction hors-site complète par module 3D est une méthode étendue de construction préfabriquée qui implique la préfabrication d'éléments de bâtiment en dehors du site de construction principal. Dans ce contexte, la notion de module 3D fait référence à la création d'éléments de construction tridimensionnels et complets, qui sont fabriqués en usine selon des spécifications précises avant d'être transportés et assemblés sur le site.

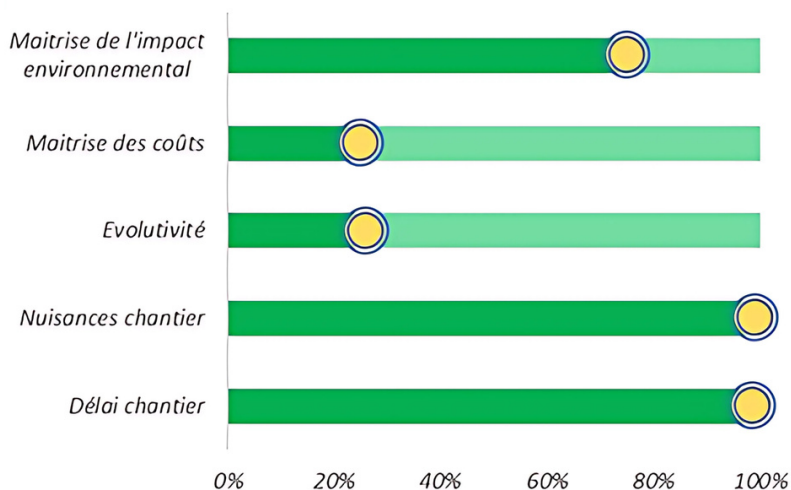
Cette méthode présente plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, elle permet de réduire les délais de construction, car la fabrication en usine peut être réalisée simultanément avec les travaux préparatoires sur le site.

De plus, elle offre un meilleur contrôle de la qualité, car les conditions contrôlées de l'usine réduisent les risques liés aux intempéries et aux imprévus sur site. Cette méthode de construction peut également réduire les coûts “matériaux”, car elle permet une optimisation de la gestion des matériaux et une réduction des déchets de chantier.

En utilisant des modules 3D complets, cette approche vise à simplifier davantage le processus d'assemblage sur site. Les avantages de cette méthodologie incluent une meilleure précision dans la construction, une coordination plus efficace entre les différents éléments du bâtiment, et la possibilité d'atteindre une uniformité et une qualité élevées dans l'ensemble du projet.*

Cependant, malgré ses avantages, la construction hors-site complète par module 3D peut également présenter des défis, tels que la nécessité d'une planification minutieuse pour le transport des modules, la coordination logistique et la prise en compte des contraintes dimensionnelles lors du levage et de l'assemblage sur site, avec pour conséquence de ces contraintes un impact économique qui peut être significatif. Elle interdit également dès les études validées, toute forme de modifications ultérieures.

Globalement, cette approche, qui se généralise sur ces ouvrages/équipements simples et répétitifs, continue d'évoluer pour répondre aux demandes croissantes de construction rapide, durable et efficace. Elle reste à analyser en fonction de la distance à parcourir depuis l'usine de fabrication et à la dimension des modules tributaires des contraintes de circulation ; la mise en place d'une usine éphémère d'assemblage à proximité du chantier peut se poser.



3. Exemples & perspectives _

GPNI 2020 : Egis remporte le prix "Construction et Aménagement" pour le lycée Bréquigny à Rennes



©Egis

Egis a été récompensé par le Grand Prix National de l'Ingénierie pour la réhabilitation du lycée Bréquigny à Rennes, le plus grand lycée de Bretagne.

Ce projet, réalisé en site occupé, allie confort, santé, performance énergétique et sobriété carbone. La rénovation a intégré des matériaux biosourcés et une préfabrication « hors site », réduisant l'impact environnemental et facilitant l'exécution des travaux. Grâce à une conception collaborative et une méthodologie innovante, ce modèle de rénovation bas carbone est reproductible, garantissant efficacité, durabilité et économies d'énergie.

Rénovation thermique d'une façade en site occupé : cas de l'hôpital Saint-Philibert de Lomme

Depuis juin 2020, Elioth by Egis travaille en tant que bureau d'étude façade à la rénovation thermique des façades de l'hôpital Saint-Philibert à Lomme (59) avec les architectes de GO Architectes et Egis (TCE et OPC).

Cette solution permet aussi de répondre à la problématique du site occupé. En effet, tout l'exosquelette peut être installé sans intervenir dans les chambres de l'hôpital et en minimisant les nuisances sonores.

La pose des façades se fait ensuite selon un phasage très précis, établi en réflexion entre Egis (OPC), l'équipe de maîtrise d'œuvre et le GHICL :

1. Bardage et menuiserie : pose des premières peaux de bardage et le dormant des nouveaux châssis
2. Désamiantage : dépose des menuiseries existantes
3. Menuiserie : pose des ouvrants et mise hors d'eau des chambres
4. Finition : habillage des ébrasements de fenêtre
5. Électricité : raccordement des volets roulants.

La rénovation des façades permet également de mettre en conformité selon les dernières normes la sécurité incendie des façades (ERP type U). Ainsi, les allèges des ouvrants sont doublées d'une maçonnerie en béton cellulaire EI 60 afin d'augmenter la hauteur du C+D.

Et tous les ébrasements de baies sont doublés de panneaux à base de silicate de calcium autoclavé pour éviter la transmission latérale et inter-étages des flammes. Ces panneaux sont posés en partie par le menuisier et en partie par le lot finitions intérieures.



© Elioth by Egis

4. Synthèse

Cette première étude synthétique des possibilités de recourir de la préfabrication dans le contexte de la construction hospitalière permet de dégager plusieurs conclusions. Tout d'abord, il est évident que certains standards de la construction hospitalière (trame, surface, normalisation, ...) et enjeux majeurs (évolutivité, empreinte environnementale, exploitation-maintenance, maîtrise économique, ...) sont compatibles et tirent parti des avantages de la préfabrication.

La rapidité d'exécution grâce à la fabrication en usine des éléments préfabriqués offre un potentiel considérable pour réduire les délais de construction sur site, une autre préoccupation majeure dans le secteur hospitalier. De plus, la qualité accrue et la précision des éléments fabriqués en usine contribuent à des structures plus fiables, conformes aux normes et pérennes. Enfin, le recours à la préfabrication peut générer une standardisation (tout ou partiel) avec un mode d'achat à l'échelle nationale qui favorise la rationalisation et la maîtrise de l'investissement particulièrement dans le cadre des plans tels que nous les connaissons (2007, 2012, Ségur). Elle permet également de prévoir et standardiser des solutions d'exploitation – maintenance pour une maîtrise du coût global.

Pour autant, ces dispositions favorables ne sont pas sans poser quelques difficultés de mise en œuvre. La standardisation/rationalisation inhérente à la préfabrication paraît moins pertinente à l'échelle d'un projet unique et serait difficile à imposer à des opérateurs économiques dans le cadre d'un mode de dévolution traditionnel (concours MOP ou MGP). Les études et la fabrication des éléments qui seraient utilisées constituent un investissement préalable qui imposent une échelle de production importante pour que la solution soit économiquement intéressante. Certes, de très gros projets avec des contraintes de réalisation en site occupé pourraient justifier ce recours imposé à la préfabrication mais ils restent rares y compris lors des plans nationaux d'investissement.

Ensuite, se pose la question de l'acceptabilité par les établissements/GHT, élus, voire par la population concernée d'une standardisation basée sur des modèles (même partiels) venant contraindre leurs programmes de construction et de rénovation immobilières, leurs spécificités réelles ou supposées ainsi que la composition architecturale générale. Standardiser remet en débat le sujet de la centralisation et de l'autonomie.

Une approche progressive apparaît donc essentielle. L'intégration sélective de la préfabrication pour les éléments structurels standardisés, tels que les poteaux, les poutres et les prédalles, puis par la suite pour les façades et les gaines techniques peut offrir des avantages substantiels tout en laissant place à une personnalisation de la fonctionnalité hospitalière et de la volumétrie des bâtiments. Il est possible d'ailleurs d'imaginer qu'un même projet puisse combiner l'ensemble des modes de construction (de traditionnel à module complet) d'autant que le bâtiment hospitalier réunit des typologies d'ouvrage différents (plateau technique, tertiaire, hébergement, consultations, laboratoire, ...).

Il est enfin évident que la recherche continue sur les technologies préfabriquées, les outils de conception (conception paramétrique multicritères et generative design) et l'innovation dans les procédés (impression 3D), en préoccupation permanente de la performance environnementale et économique, vont contribuer à fédérer et organiser les opérateurs économiques et créer ainsi les solutions et le marché correspondant pour que la construction hospitalière puisse tirer le meilleur parti de ces avantages indéniables.

Biographie _



Pascal Martinet

*Directeur activité santé
Egis*

Pascal est un ingénieur spécialisé dans la gestion et la coordination des activités de santé. Fort d'une carrière de plus de 30 ans, il a occupé des postes clés dans plusieurs institutions, contribuant à des projets hospitaliers d'envergure.

Son expertise et son engagement font de lui un acteur majeur du développement des infrastructures hospitalières en France et à l'international.



IMAGINER. CONCEVOIR. CONCRÉTISER.

un futur durable

Egis est un acteur international majeur de l'architecture, du conseil, de l'ingénierie de la construction et des services d'exploitation et de mobilité. Nous concevons et exploitons des infrastructures et bâtiments intelligents qui répondent aux défis liés à l'urgence climatique et permettent un aménagement du territoire plus équilibré, durable et résilient.

Nos 20 500 employés opèrent dans plus de 100 pays, mettant à profit leur expertise pour développer et fournir des innovations et des solutions de pointe à nos clients. Par la diversité de nos domaines d'intervention, nous sommes un acteur clé de l'organisation collective de la société et du cadre de vie des citoyens dans le monde entier.

www.egis-group.com