
S7F

Domaine d'étude
Expérimentation

**Livret de valorisation
Échelle 1 CobBaugé
2022 & 2023**



École
nationale
supérieure
d'architecture
de Normandie

UE2 - Fabrique

Recherche et explorations

2022 & 2023 - Semestre 07

Équipe enseignante :

François Streiff, maître de conférences associé - ENSA Normandie – Référent de la Fabriques Échelle 1 de 2021 à 2023

Richard Thomas, maître de conférences - ENSA Normandie - Fabrique 2022

Cyril Pressacco, maître de conférences - ENSA Normandie - Fabrique 2023

Raphaël Rattier, étudiant en thèse, Laboratoire ATE - ENSA Normandie – Fabrique 2021

Sommaire

Direction de la publication

Raphaël Labrunye,
directeur de l'ENSA Normandie

Coordination de la publication

François Streff, enseignant
Le service communication

Réalisation graphique

Estelle Preterre

© École nationale supérieure
d'architecture de Normandie 2024

Avant-propos	7
Fabrique Échelle 1	9
Contexte	11
Essais	13
Réflexions autour d'un corpus	19
Ricola Kreuter zentrum - Herzog et De Meuron	
Tour capsule - Kisho Kurokawa	
Maison 6x6 - Jean Prouvé	
Tertiaire - Koutev architecture	
Réflexions autour d'un processus de préfabrication	29
Expérimentation Échelle 1	31
Phase 1	
Phase 2	
Conclusion	39

Avant-propos



Au sein de l'ENSA Normandie, le domaine d'étude Expérimentation rassemble étudiants et enseignants autour d'une méthode de conception et de recherche – l'expérimentation – et d'une problématique – l'éco-construction.

Les fabriques sont l'occasion d'apprentissage par le faire, à l'échelle du fragment d'architecture, à l'échelle 1/5ème ou à taille réelle. Elles permettent de confronter dans un même temps, l'espace la conception et la réalisation.

Fabrique échelle 1



Fig.2 - Conception et fabrication d'un micro-logement à partir des ressources des espaces naturels du PNR des Marais du Cotentin et du Bessin

Pavillon TEPCV et Fabriques suivantes

En 2016, dans le cadre d'un partenariat entre l'École nationale supérieure d'Architecture de Normandie et le Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin, un enseignement de type designbuild a été mis en place, mettant les étudiants en position de prescripteurs et de constructeurs de leurs propres productions.

À partir des ressources d'un territoire, comment imaginer un nouvel habitat, de nouveaux modes de construction contribuant à réduire l'impact de la construction dans le réchauffement climatique ?

Premier sujet de la Fabrique échelle 1, ce thème a donné lieu, sur deux ans, à la conception d'un micro-logement conçu à partir des ressources disponibles sur les espaces naturels du Parc.

Le projet retenu et conçu, a ensuite été construit par les étudiants dans le cadre d'un workshop d'été organisé par le Parc (Fig.2).

À partir de cette première expérience, d'autres Fabriques « Échelle 1 » ont été proposées. En 2019 et 2020, sur le thème du roseau (Fig.3), puis en 2021, sur l'association de procédés de construction en terre crue à des structures plus conventionnelles dans la perspective de la construction d'une halle d'expérimentation impliquant de grandes portées (Fig.4).

Cette Fabrique, portée notamment par Raphaël Rattier, étudiant en thèse sur la construction en bauge et François Streiff enseignant à l'ENSA Normandie et architecte au PNR impliqués tous deux dans le projet européen CobBauge, a permis d'introduire dans les réflexions des étudiants la notion de préfabrication.

Exploitée en 2022 dans le cadre du projet CobBauge où le PNR était impliqué, une fabrique Échelle 1 a donc été consacrée à la réflexion sur la problématique de préfabrication de blocs CobBauge.



Fig.3 - Fabrique 2020 - Expérimentations constructives autour du roseau



Fig.4 - Fabrique 2021 - Association de procédés de construction en terre crue à des structures plus conventionnelles



Fig.5 - Terre excavée dans le Parc de l'ENSAN au cours d'un chantier de rénovation d'un de ses bâtiments

Contexte

Projet CobBauge

L'énergie consommée par le secteur du bâtiment représente actuellement 40% de l'énergie totale utilisée dans l'Union Européenne, dont 60% est utilisée pour chauffer les bâtiments.

Dans le contexte de crise climatique actuel, l'UE prévoit que d'ici 2050, 25% des constructions neuves soient neutres ou positives sur le bilan énergétique de leurs consommations. La France vise quant à elle la neutralité carbone pour 2050.

Si la réduction des consommations d'usage des bâtiments est aujourd'hui intégrée dans l'évolution des réglementations thermiques, elle doit s'accompagner d'une réflexion sur l'énergie grise, celle qui est nécessaire à la production du bâti.

C'est dans ce contexte que l'Université de Plymouth, Builders Caen (ex-ESITC) et le Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin ont esquissé, en 2017, les contours du projet CobBauge, avec comme objectif d'adapter une culture constructive commune à l'Ouest de la France et au sud du Royaume Unis.

La bauge, ou cob, sont les noms communément utilisés pour désigner cette technique de construction en terre crue, en revisitant les matériaux et procédés pour les rendre plus économiques et conformes aux normes de construction.

Le projet CobBauge réunissant 6 partenaires français et britanniques a été sélectionné dans le cadre du programme de coopération transfrontalière INTERREG VA France (Manche) Angleterre, cofinancé par le FEDER.

Le projet avait donc pour objectif premier de créer un matériau de construction porteur et isolant à partir de terre crue et fibres végétales locales, à faible impact environnemental et permettant de réduire le volume de déchets mis en décharge par l'utilisation des terres excavées sur site pour la réalisation des édifices (Fig.5).

L'autre enjeu principal de ce projet est de développer le marché de la bauge en tentant de rendre la technique plus abordable sur le plan économique, et en élargissant le réseau d'acteurs du secteur de la construction en mesure de demander, prescrire et réaliser des bâtiments en bauge.

L'ENSA Normandie a indirectement intégré ce projet par l'accueil d'un étudiant en thèse au sein de son laboratoire ATE, financé pour moitié par le PNR des Marais du Cotentin et du Bessin.

Cette collaboration a permis de nourrir les réflexions sur le système constructif imaginé, sur les outils de formation, mis en pratique notamment au sein des enseignements de l'ENSA Normandie.

C'est dans ce contexte que l'enseignement Fabrique Échelle 1 du cycle Master1 a été mobilisé entre septembre 2022 et novembre 2023.

Essais

Préfabrication en bauge

Le recours à la bauge traditionnelle, tout comme la bauge coffrée utilisée plus couramment aujourd'hui, est confronté à la problématique du séchage assez long d'un matériau mis en œuvre à l'état plastique.

Cette contrainte allonge les délais de chantier ce qui tend à rebuter les prescripteurs et leurs clients. C'est pourquoi depuis plusieurs années, des artisans tout comme des étudiants dans le cadre de travaux pédagogiques ont mené des expérimentations autour de la préfabrication envisagée comme un moyen de réduire ces délais.

Les premières expérimentations ont été imaginées dans le bassin rennais dans les années 90 avec les blocs de bauge stabilisée proposés par Jean Guillorel, un entrepreneur local (Fig.6).

La stabilisation au ciment était envisagée comme un moyen de répondre à la problématique du durcissement par séchage en proposant une alternative de durcissement par cristallisation du ciment ajouté.

Afin de limiter le recours au ciment, impactant fortement le bilan carbone de ces blocs, deux voies ont été explorées par la suite.

La première consistait à réduire la teneur en eau du mélange pour coffrer dans des moules pleins et décoffrer le plus rapidement possible. C'est la démarche envisagée lors de la fabrication des éléments d'un mur trombe imaginé pour le pavillon TEPCV conçu dans le cadre de la première Fabrique Échelle 1 (Fig.7&8), ou encore d'un travail réalisé par les étudiants du Master AECC de l'ENSAG en 2017. (Fig.9&10)



Fig.6 - Façade composée des blocs préfabriqués mis au point par Jean Guillorel



Fig.7 - Mise en place des blocs de bauge préfabriqués lors de la construction du pavillon TEPCV de la première Fabrique Échelle 1



Fig.8 - Fabrication des blocs de bauge du mur trombe du pavillon TEPCV



Fig.9 - Panneaux préfabriqués réalisés par les étudiants du Master AECC de l'ENSAG en 2017



Fig.10 - Assemblage de blocs préfabriqués en bauge réalisés par les étudiants du DSA de CRATerre de l'ENSAG en 2017



Fig.11 - Coffrage constitué d'un grillage mis au point dans le cadre du projet CobBauge



Fig.12 - Résultat de l'expérimentation du mur CobBauge des élèves du Lycée technique Laplace de Caen en 2020



Fig.13 - Mise en œuvre de l'expérimentation du mur CobBauge par les élèves du Lycée technique Laplace de Caen en 2020

Essais

Préfabrication en bauge (suite)

La seconde voie consistait à explorer la qualité des coffrages utilisés en Basse-Normandie où le recours à une peau de coffrage constituée d'un grillage permet à une bauge plus plastique de sécher suffisamment au travers du maillage, et offre une surface de contact faible avec le mélange pour permettre un décoffrage rapide avant une phase de séchage naturel (Fig.11).

C'est, en marge du projet CobBauge, qu'une première expérience de préfabrication à partir des banches grillagées mises au point au cours du projet a été menée avec des élèves du Lycée technique Laplace de Caen en 2020 (Fig.12&13).

Cette dernière expérimentation a suscité de nombreuses réflexions parmi les partenaires du projet CobBauge s'interrogeant sur les différentes options et problématiques de réalisation des blocs, de mise en œuvre et d'assemblage, de gestion des connexions entre les blocs.

Ces recherches n'étant pas au cœur du projet européen, la collaboration entre le PNR des Marais du Cotentin et du Bessin, et l'ENSA Normandie s'est révélée propice à poursuivre et développer ces premiers essais en inscrivant ce sujet comme thème de la Fabrique Échelle 1.



Fig.14 - Première pratique du procédé constructif CobBauge par la Fabrique Échelle 1 à l'ENSA Normandie en 2022



Fig.15- Réflexions sur la préfabrication du procédé CobBauge par le groupe d'étudiants de la Fabrique Échelle 1 à l'ENSA Normandie en 2022

Réflexions autour d'un corpus

Théorie et pratique

Le travail de la Fabrique Échelle 1 a démarré par une première découverte théorique et pratique du procédé constructif issu des travaux de recherche menés dans le cadre du projet CobBauge.

Les étudiants se sont confrontés au principe de mise en œuvre simultanée de la bauge et de la terre allégée par couches successives dans un coffrage grillagé. (Fig.14)

Ce processus a été élaboré dans une logique de construction sur site, avec une progression de l'édification des murs par banchées successives interrompues par un séchage de trois semaines.

Les étudiants ont produit un échantillon de mur à partir de terre excavée d'un chantier de construction en cours dans le parc de l'école. Cette mise en pratique était complétée d'une présentation plus théorique des recherches menées sur les performances du procédé CobBauge.

Par la suite, afin de familiariser les étudiants avec les questionnements soulevés par la notion de préfabrication, de concept de construction d'éléments « hors site » dans un environnement « usine », de les transporter et ensuite de les assembler sur le chantier, 4 projets ont été soumis à leurs analyses (Fig.15).

Il s'agissait du projet du centre de stockage des herbes de Ricola à Laufen (Suisse) conçu par Herzog et De Meuron, de la Nakagin capsule tower de Kisho Kurokawa, de la Maison démontable 6x6 de Jean Prouvé et du bâtiment de bureaux préfabriqués en béton de chanvre conçu par Koutev Architecture à Noyal-sur-Vilaine.



Fig.16 - Usine de préfabrication de Laufen mise au point par Lehm Ton Erde

Ricola Kreuter zentrum Herzog et De Meuron

Pisé préfabriqué

Au cœur d'un paysage naturel, le Ricola Kräuterzentrum est une réalisation emblématique de l'agence d'architecture Herzog & De Meuron, incarnant l'harmonie entre tradition et innovation.

Ce centre, reposant sur une technique de construction singulière, le pisé préfabriqué, incarne une alliance remarquable entre respect de l'environnement et modernité.

Le processus de fabrication débute à proximité des gisements de matières premières, dans une usine où la terre est méticuleusement préparée pour créer des linéaires de pisé découpés en blocs avec précision.

Chaque élément est séché dans des conditions contrôlées pour assurer une qualité optimale. Une fois prêts, ces blocs sont transportés sur le site de construction, pour être assemblés afin de fermer la structure imposante du Kräuterzentrum.

Le levage des blocs s'effectue grâce à une grue de chantier parfaitement adaptée au poids de ces éléments. Une gestion rigoureuse des réserves pour le levage est mise en place, garantissant un déroulement fluide de l'opération. Les blocs sont assemblés avec un mortier de terre. Les joints sont ensuite rebouchés avec finesse, restituant l'expression massive du pisé.

La structure porteuse du bâtiment est en béton armé, tandis que la façade en pisé de 45cm d'épaisseur est auto-porteuse. Pour ce chantier, Martin Rauch a adapté ses méthodes aux délais et au budget, mettant en œuvre une planification minutieuse.

Une halle située à 5km du site permet de préfabriquer des éléments en pisé en hiver pour les assembler sur site en été, facilitant ainsi le processus de construction.

Les terres utilisées proviennent en partie du site même et d'une carrière située à moins de 10km, assurant une approche durable et locale de la construction.

Le pisé, non stabilisé, est traité selon une approche d'«érosion contrôlée», où les phénomènes naturels sont utilisés pour façonner la façade au fil du temps.

Des « lignes d'érosion », composées de chaux, pouzzolanes et sables, sont intégrées tous les 60cm, formant ainsi des« gouttes d'eau » qui permettent de ralentir les eaux de ruissellement et de prévenir toute érosion excessive.



Fig.17 & 18 - Chantier du Ricola Kreuter zentrum - Herzog et De Meuron
20

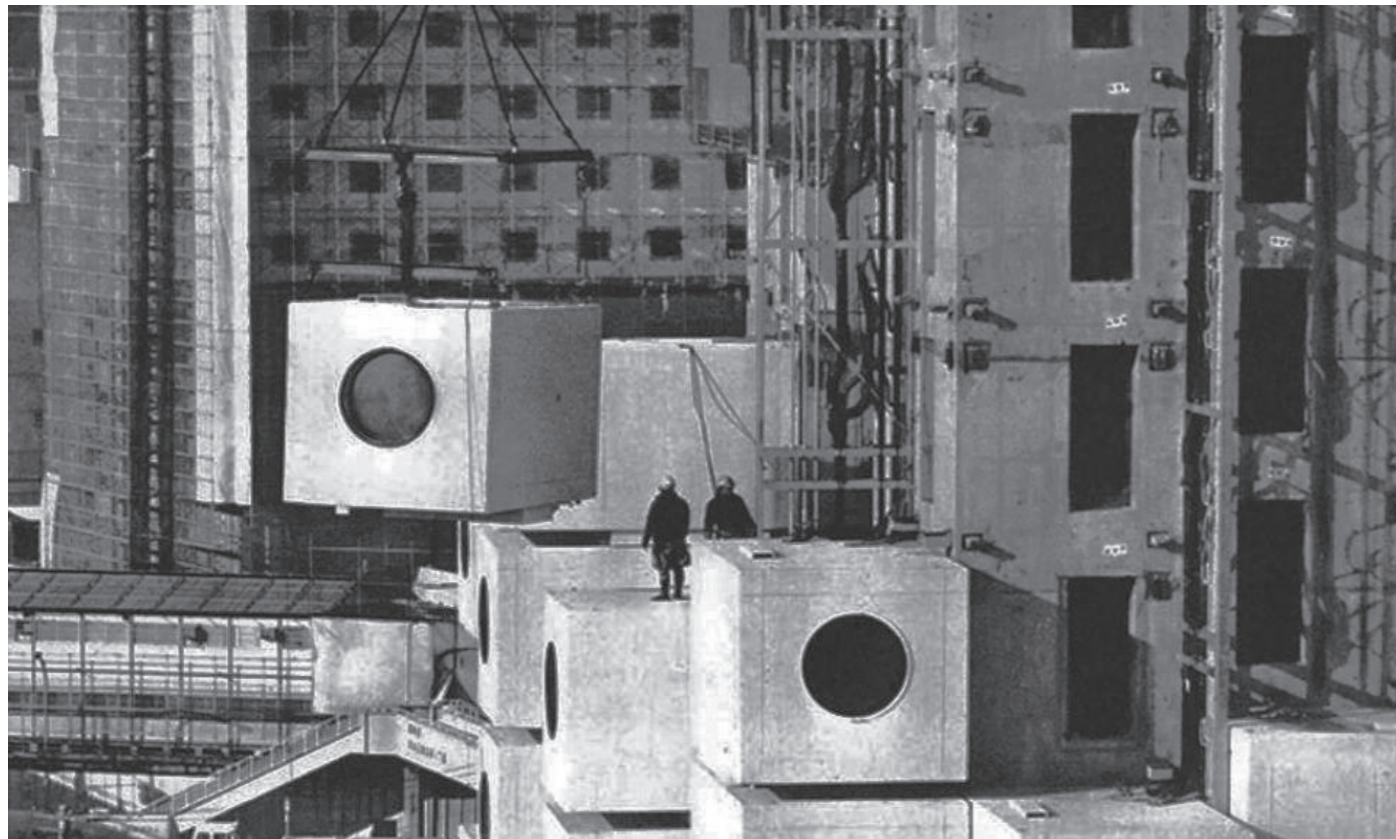


Fig.19 - Chantier de la Tour capsule - Kisho Kurokawa

Tour capsule Kisho Kurokawa

Préfabrication d'éléments 3D

Dans cette tour modulaire construite en 1972, la structure robuste fusionne l'acier et le béton armé, soutenant chaque étage avec des éléments de plancher préfabriqués, créant ainsi une symbiose entre solidité et rapidité d'assemblage.

Elle est constituée de deux tours en béton armé de 13 étages sur lesquelles venaient se fixer des modules préfabriqués appelés capsules, qui mesuraient 2,3 m x 3,8 m x 2,1 m et constituaient de petits espaces de vie ou de travail.

Ils pouvaient être combinés entre eux pour créer des espaces plus importants susceptibles d'accueillir une famille.

Les capsules habitables, entièrement fabriquées en usine, allient légèreté et résistance grâce à leur structure métallique et à leurs panneaux en acier. Astucieusement dissimulées, les colonnes montantes de service se fondent dans les capsules, tandis que des escaliers tournants relient les différents paliers décalés, offrant une fluidité dans la circulation.

L'efficacité logistique se reflète dans le processus de déplacement, d'installation et de fixation, des capsules, pensés en amont de leurs fabrications. Levées par grue et fixées avec précision à la structure principale, toutes les capsules sont solidement attachées en un temps record de 30 jours. Leur provenance, des usines de conteneurs d'expédition, témoigne de leur origine industrielle, tandis que leur revêtement en acier nervuré, protégé par une couche de peinture et de kenitex, garantit leur durabilité sur le long terme.

Du trajet entre l'usine et le chantier à l'assemblage minutieux, chaque étape est orchestrée avec précision, soulignant l'importance du timing et de l'organisation des cycles production/assemblage dans la gestion du chantier.



Fig.20 - Tour capsule - Kisho Kurokawa

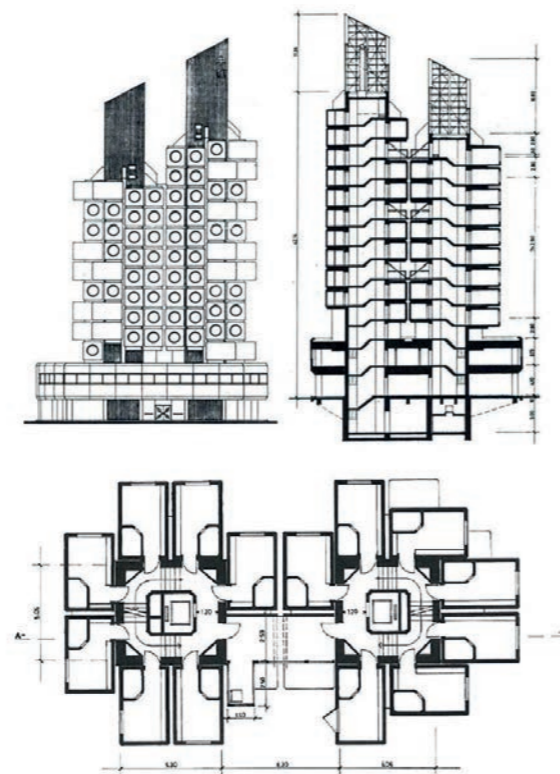
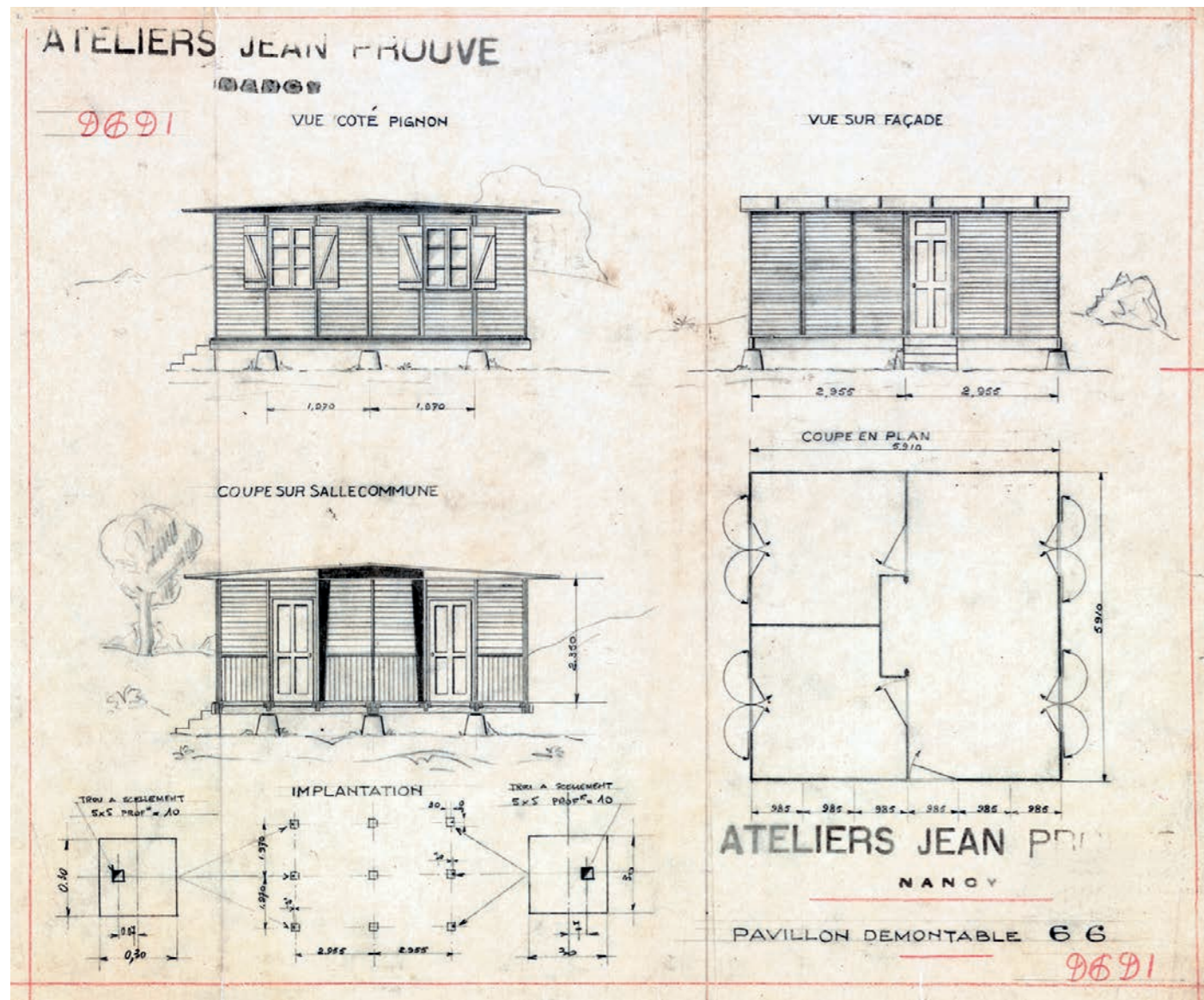


Fig.21 - Plan, coupe et élévation de la Tour capsule - Kisho Kurokawa

Maison 6x6

Jean Prouvé



Préfabrication métallique

La Maison 6x6, œuvre emblématique de l'architecte Jean Prouvé, est fondée sur une approche novatrice de préfabrication métallique. Cette création architecturale soulève des questions essentielles quant à la distinction entre les éléments de structure et les panneaux d'enveloppe et de toiture.

Chaque détail de la Maison 6x6 est minutieusement pensé pour minimiser l'utilisation des matériaux, dans une quête perpétuelle de légèreté et d'efficacité. La fabrication en usine offre un environnement contrôlé où chaque composant est réalisé avec précision, permettant ainsi d'atteindre un niveau de qualité et une cohérence.

L'assemblage à la main sur site, caractéristique essentielle de cette démarche, confère à la Maison 6x6 une touche d'authenticité et de singularité.

Chaque élément est manipulé avec soin, témoignant du savoir-faire artisanal tout en garantissant une intégrité structurelle.

La Maison se distingue également par sa nature démontable et déplaçable, offrant une flexibilité inégalée dans son utilisation et sa disposition.

Cette caractéristique, combinée à la recyclabilité et au potentiel de réemploi des éléments, inscrit cette création dans une démarche résolument durable et responsable.

Tertiaire

Koutev architecture



Fig.23 - Mise en place d'un panneau préfabriqué sur le chantier des bureaux à Noyal-sur-Vilaine



Fig.24 - Schéma de composition des panneaux préfabriqués des bureaux à Noyal-sur-Vilaine par Koutev Architecture

Préfabrication de panneaux mixtes bois/béton de chanvre

La construction du bâtiment est le résultat d'une approche alliant durabilité et efficacité. L'objectif était de créer une structure performante tout en respectant l'environnement, en utilisant des matériaux locaux et durables, notamment le chanvre.

La conception bioclimatique du bâtiment a guidé les choix de matériaux. La structure est mixte en bois et béton, combinant le bois lamellé collé et le bois massif, ainsi qu'une dalle en béton de ciment.

L'enveloppe du bâtiment est formée de blocs préfabriqués avec la composition suivante : enduit extérieur sable-chaux, structure en bois contre-ventée par des panneaux en fibre de bois, remplissage en béton de chanvre, enduit chaux-chanvre en finition, offrant une isolation efficace et naturelle.

Les 31 panneaux préfabriqués en béton de chanvre et aux dimensions de la hauteur d'un étage, représentant une surface de façade de 450 mètres carrés, ont été fabriqués en seulement quatre semaines, dont trois dédiées au séchage, à plat en usine.

Cette fabrication en atelier a permis d'optimiser les conditions de travail, de réduire les délais sur le chantier, de mieux gérer les aléas météorologiques, d'avoir un séchage en entrepôt à l'ambiance contrôlée (utilisation de ventilateurs et de déshumificateurs), de réduire le temps de chantier in situ et donc d'optimiser les coûts (4 semaines de fabrication et 1 semaine de mise en œuvre).

Pour les amener sur site, des questions de transport et d'assemblage sur place se sont posées. Les panneaux devaient répondre à des critères de poids, de résistance, de forme pour pouvoir les transporter et les manipuler facilement sans les abîmer.

Une fois sur site, les blocs en structure bois et remplissage en béton de chanvre ont été assemblés, avec une attention particulière portée à la liaison entre les blocs pour assurer la continuité thermique et l'étanchéité à l'air. Les finitions intérieures et extérieures ont été réalisées sur place, offrant ainsi un environnement intérieur confortable et esthétique.

Réflexions autour d'un processus de préfabrication

Bloc CobBauge

À partir des connaissances acquises sur le procédé CobBauge et des analyses des projets préfabriqués, chaque groupe d'étudiants a étudié un principe de préfabrication d'un bloc CobBauge explorant l'une des thématiques clés ressorties de l'étude du corpus.

La question de la manutention des blocs.

Quelles sont les capacités de levage d'engin de chantier et en quoi cela peut être un facteur limitant ou tout au moins contraignant la dimension des blocs ? Suivant la taille du chantier, on peut envisager d'avoir des engins de levage limités à quelques tonnes, ou avoir recours à une grue de chantier installée sur site.

La question du levage.

Par où prendre le bloc pour éviter qu'il ne se casse lors du levage ? Sanglage depuis la base ou système de portage inclus dans le bloc ? Comment le faire basculer ?

La question des assemblages.

Comment assurer un lien mécanique entre chaque bloc, comment assurer la continuité de l'isolation sans rupture ou infiltration d'air. Des scénarios à partir de blocs empilés pour constituer l'élévation d'un étage ont exploré les notions de recouvrement de joint, de géométrie du bloc pour permettre l'encastrement et le blocage des éléments les uns avec l'autre ? Des scénarios à partir de bloc tout hauteur ont exploré la question de la liaison en tête de bloc et des modalités de joints verticaux entre les blocs.

La question du séchage des blocs coulés à plat.

Comment faire en sorte que la sous-face du bloc puisse sécher en même temps que le dessus du bloc ?

La question de la mise en œuvre des mélanges.

Comment éviter un effet mille-feuilles lié à la mise en œuvre à plat alors que le bloc sera ensuite posé verticalement ?

Comment concevoir le coffrage permettant de répondre à l'ensemble de ces contraintes ?

La présentation collégiale et les discussions sur les atouts et inconvénients des différentes pistes explorées par chaque groupe ont abouti à une proposition de synthèse travaillée collectivement.

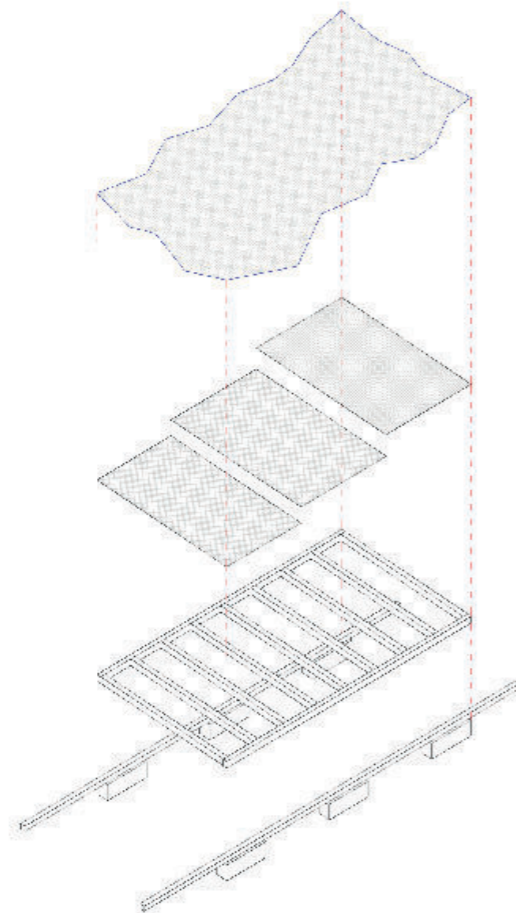
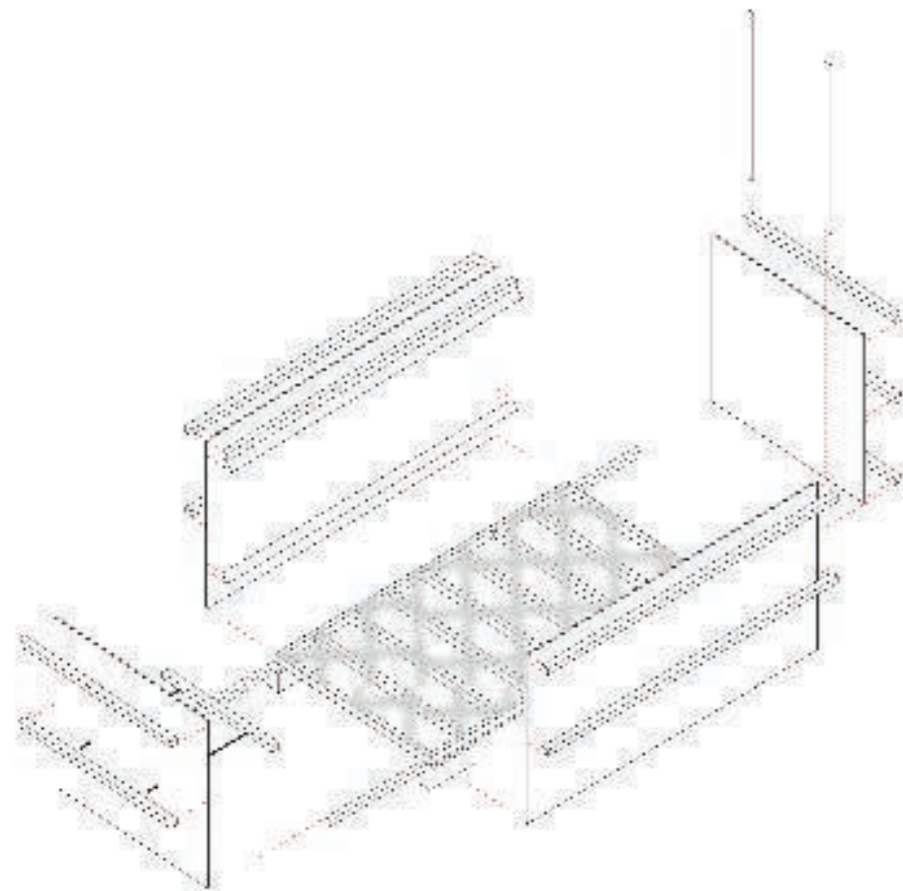
L'option retenue prévoyait la réalisation de blocs d'une hauteur d'étage (initialement 2.5m, réduits à 2.3 lors de la réalisation), coulés à plat pour la facilité présumée de mise en œuvre des mélanges de terre.

La bauge a été choisie comme première couche, puis la terre allégée sera ajoutée en second pour qu'elle puisse être lissée sur le dessus. Cela évite que la terre allégée soit trop compressée ce qui réduirait les capacités isolantes.

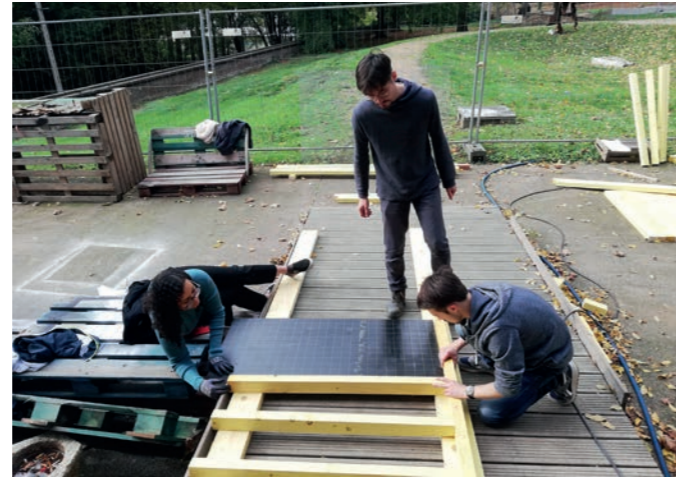
Au coffrage est ajouté : une pièce de bois chanfreinée pour faire basculer le bloc, les réserves pour faire passer les tiges filetées du dispositif de levage, des planches en bois sur le bas du coffrage pour que les sangles de levage puissent passer dessous, des pièces de bois sur les joues des coffrages pour créer les réserves permettant la liaison des blocs qui seront remplies par la suite avec de la bauge.

Les détails des blocs ont été retravaillés et formalisés pour enfin définir les plans des coffrages nécessaires à leur réalisation.(Fig. 25)

Les plans de débits et les quantitatifs des matériaux nécessaires ont été établis par les étudiants pour permettre les commandes nécessaires à la réalisation de deux blocs.



Expérimentation Échelle 1



Phase 1

Une première phase s'est déroulée en 4 séances sur l'année 2022 pour la réalisation des blocs. Une seconde phase a été réalisée en 2023 pour leur assemblage une fois secs.

Le coffrage de fond a été imaginé sous la forme d'une structure bois semblable à une structure de plancher réalisée en chevrons de section 50x70mm. Cette structure a été recouverte d'un grillage de maille 20x20mm en métal galvanisé, lui-même recouvert d'un géotextile pour éviter que le mélange de bauge ne ressorte de trop des mailles, ce qui aurait rendu le décoffrage compliqué une fois la terre sèche.

Les joues latérales des coffrages ont été réalisées en contreplaqué filmé, renforcées par des chevrons vissés en extérieur pour contenir la poussée de la terre et éviter les déformations des blocs.

Les réserves, pour les joints entre les blocs au niveau de la bauge et au niveau de la terre allégée, ont été fixées sur la partie intérieure des coffrages.

L'ensemble des éléments a été assemblé par vissage et posé sur des parpaings posés au sol pour surélever les panneaux et permettre la circulation d'air sous le coffrage et permettre ainsi le séchage des blocs par le dessous. (Fig.26) Le mélange de bauge a été réalisé aux pieds sur des bâches par les étudiants, à partir d'une terre extraite sur le site, et de paille de blé contrairement à ce que le projet CobBauge avait développé (paille de lin améliorant la résistance mécanique).

La terre allégée a été réalisée à partir de chènevotte, et d'une terre argileuse fournie par un artisan de la région rouennaise. La barbotine de terre a été préparée avec un malaxeur électroportatif, et mélangée à la fibre dans une bétonnière.

Le mélange de bauge a été empilé dans le fond du coffrage, amalgamé par piétinement dans le coffrage lui-même pour assurer une forte homogénéité du mélange. (Fig.27)

Une fois la surface réglée pour assurer une couche d'épaisseur constante, la surface a été travaillée, texturée pour assurer une bonne connexion de la terre allégée, une interpénétration des mélanges assurant un bon « collage » de la bauge et de la terre allégée. (Fig.28)

Le mélange allégé a ensuite été compacté sur le dessus, réglé pour assurer une surface bien plane. (Fig.29)

Une fois les deux blocs réalisés, (Fig.30) ils ont été protégés par une couverture en pare-pluie permettant la circulation de l'air pour le séchage.

Après un mois de séchage, les joues des coffrages en contreplaqué filmé ont été démontés pour permettre un séchage plus uniforme des blocs. (Fig.31)

Ils ont été achevés fin novembre 2022 et étaient censés être mis en œuvre en avril 2023. Ils ne le seront finalement qu'en novembre 2023 au cours d'une nouvelle Fabrique Échelle 1 ayant travaillé sur la conception d'un petit pavillon les mobilisant.

Fig.26 - Étapes de constructions du coffrage dont la mise en place des réserves sur les joues, du dispositif de levage et des grilles par le groupe de fabrique Échelle 1 en 2022



Fig.27 - Étapes du processus de malaxage et de mise en œuvre de la bauge et de la terre allégée par le groupe de fabrique Échelle 1 en 2022



Fig.28 - Texture permettant l'accroche entre les deux parties CobBauge

Fig.29 - Lissage de la terre allégée en partie supérieure



Fig.30 - Séchage des deux blocs CobBauge dans leur coffrage



Fig.31 - Décoffrage intermédiaire et vue sur les réserves pour les sangles de levage

Expérimentation Échelle 1



Phase 2

Pour cette seconde étape, un nouveau groupe d'étudiant a travaillé sur la combinaison du mur en blocs préfabriqués CobBauge avec des murs en paille porteuse et des menuiseries recyclant une partie des menuiseries de la toute première Fabrique Echelle 1 de l'ENSA Normandie (issues de la déconstruction du pavillon TEPCV).

Un soubassement en béton de chaux a été coulé sur le site dans des coffrages à béton. Après une semaine de séchage, les banches ont été enlevées, et la surface du béton de chaux broyée pour faire ressortir le gravillon de silex à la façon d'un béton bouchardé. Après une semaine supplémentaire de séchage, les blocs CobBauge ont été mis en place.

Les blocs ont été sanglés avec le coffrage de fonds. Une poutre métallique avait été mise en place sur la partie haute du bloc et serrée contre la partie bauge grâce aux sangles à cliquet. Une élingue a ensuite été fixée sur chaque extrémité de la poutrelle métallique, et accrochée sur les fourches du chariot élévateur loué pour la circonstance.(Fig.32)

Le premier bloc a d'abord été redressé puis acheminé au-dessus du soubassement en béton de chaux préalablement recouvert d'une couche de mortier de terre d'environ 15mm d'épaisseur. Le bloc a été positionné sur ce mortier, calé avec des coins en bois une fois la verticalité réglée. Par sécurité, des chevrons ont été vissés comme jambe de force sur le coffrage de fond resté en place et sur le bloc pour éviter tout basculement et bloqués à leurs pieds.

Le second bloc a été relevé de la même manière et mis en place à côté du premier.

La mise en place a été plus délicate, en particulier pour le réglage des aplombs. Après plusieurs essais, le bloc a pu être mis en place. Au cours d'une séance suivante, les coffrages de fonds ont été enlevés. La réserve créée au niveau de la bauge dans les joues des deux blocs a été comblée par un mélange visqueux de terre argileuse, de sable et de gravier.

La réserve créée dans la terre allégée a été comblée en façade par un mélange de chènevotte et de barbotine de terre similaire à ce qui avait été mise en œuvre pour la confection des blocs, compacté avec une massette en se servant d'une taloche comme coffrage filant. (Fig.33)

Cette seconde Fabrique s'est achevée par la mise en place d'une couverture provisoire protégeant la tête des deux blocs préfabriqués.



Fig.33 - Assemblage des deux blocs formant un mur CobBauge par le groupe de Fabrique Échelle 1 en 2023

Fig.34 - Coté latéral du mur levé montrant la composition CobBauge



Fig.35 - Premier bloc CobBauge levé et façade texturée de la bauge
38

Conclusion

Expérimentation

Cette expérimentation a montré la possibilité de mettre en place les mélanges CobBauge à l'horizontale sans que cela n'entraîne de séparation des couches lors du déplacement et du calage des blocs.

Le fonds de coffrage grillagé a montré qu'il permettait le séchage de l'ensemble du bloc de façon assez homogène. Toutefois, les blocs laissés en plein air, dans un environnement assez boisé et ombragé ne constituent pas un environnement propice à un séchage optimisé. Des recherches supplémentaires seraient à mener sur cet aspect.

Des ruptures dans les coffrages de fonds ont été observées lors du redressement des blocs. (Fig.38) Elles ont mis en évidence la fragilité de l'arête du coffrage et mis en lumière la manière dont les assemblages du coffrage devront être pensés à l'avenir.

Le géotextile a fait ses preuves quant à la facilité à enlever le coffrage une fois les blocs mis en place. Il a, à la surprise de tous, créé une texture permettant d'envisager de laisser la surface obtenue comme finition moyennant un traitement soigné du joint. (Fig.35, 36 & 37)

Les difficultés rencontrées lors de la mise en place du second bloc n'ont pas permis d'avoir un alignement parfait des deux blocs. C'est principalement le système de levage mis en place qui en est responsable.

La poutre métallique sanglée avec le bloc s'est déplacée lors du relevage du bloc déséquilibrant ce dernier. Par ailleurs, les élingues reliant la poutre à la fourche du chariot élévateur ne permettaient pas de faire pivoter aisément le bloc lors de sa mise en place.

Ces deux Fabriques ont permis de tester avec un certain succès ce nouveau principe de préfabrication, mettant en avant son potentiel en termes de gain de temps sur la phase chantier, mais aussi les différents points d'amélioration à retravailler sur la phase séchage et sur la problématique levage et mise en place des blocs.

Les partenaires de CobBauge devront s'approprier ces résultats prometteurs et retravailler les points problématiques.

Les étudiants mobilisés ont pu au-delà de l'apprentissage des matériaux, de leur mise en œuvre, se confronter à la mise au point des détails techniques en confrontant leurs dessins à la réalité de la mise en œuvre, en confrontant la mise au point des détails aux enjeux structurels et thermiques, une meilleure connexion entre la main qui fait et le cerveau qui pense.



Fig.36 - Texture plus ou moins lisse en façade du mur CobBauge



Fig.37 - Façade texturée du mur CobBauge



Fig.38- Arrête abîmée sur la terre allégée du mur CobBauge lors du levage

Crédits

Figures

Couverture : Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2023

1. Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2023
2. Photographie du Parc Naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin
3. Photographie François Streiff
4. Photographie François Streiff
5. Photographie François Streiff
6. Photographie François Streiff
7. Photographie du Parc Naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin
8. Photographie François Streiff
9. Photographie François Streiff
10. Photographie François Streiff
11. Photographie François Streiff
12. Photographie François Streiff
13. Photographie François Streiff
14. Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2022
15. Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2022
16. Photographie François Streiff
17. Photographie François Streiff
18. Photographie François Streiff
19. Photographie déposée le 25/01/2017, à 16:42:08, par Maria de la Paz, disponible sur : https://en.wikiarquitectura.com/nakagin-capsule-construction_3-2/
20. Street View, 1975, Photographe inconnu, disponible sur : <https://archeyes.com/nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/>
21. Plan, coupe et élévation de la Tour capsule - Kisho Kurokawa, disponible sur : <https://archeyes.com/nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/>
22. Planche de la maison 6X6 de l'Atelier Jean Prouvé, disponible sur le Site internet de Jean Prouvé, géré par SCE Jean Prouvé : <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-5>
23. Photographie sur chantier, « L'entreprise de charpente bois a mis en œuvre les panneaux après trois semaines de séchage. », ©crédit CAN-ia, disponible sur : <https://www.batirama.com/article/15380-le-beton-de-chanvre-passe-a-la-prefa.html>
24. « Décomposition du complexe de façade préfabriqué. », ©CAN-ia disponible sur : <https://www.batirama.com/article/15380-le-beton-de-chanvre-passe-a-la-prefa.html>
25. Dessins Groupe de Fabrique Échelle 1 de 2022
26. Photographies Gr de Fabrique Échelle 1 de 2022
27. Photographies Gr de Fabrique Échelle 1 de 2022
28. Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2022
29. Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2022
30. Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2022
31. Photographies Gr de Fabrique Échelle 1 de 2022
32. Photographies Gr de Fabrique Échelle 1 de 2023
33. Photographies Gr de Fabrique Échelle 1 de 2023
34. Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2023
35. Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2023
36. Photographies Gr de Fabrique Échelle 1 de 2023
37. Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2023
38. Photographie Gr de Fabrique Échelle 1 de 2023

Ce projet a pu être réalisé grâce à la mobilisation de fonds et de moyens techniques fournis par le Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin dans le cadre du projet Européen CobBauge financé par le projet transfrontalier INTERREG VA France (Manche) Angleterre cofinancé par le FEDER.



Encadrants :

François Streiff, Maître de conférences associé - ENSA Normandie – Référent de la Fabriques Échelle 1 de 2021 à 2023

Richard Thomas, Maître de conférences - ENSA Normandie - Fabrique 2022

Cyril Pressacco, Maître de conférences - ENSA Normandie - Fabrique 2023

Raphaël Rattier, Etudiant en thèse, Laboratoire ATE-ENSA Normandie – Fabrique 2021

Avec la participation de Laurent Mouly, Paul Mazza-lovo et Robert Harding

Étudiant(e)s : Fabrique 2022

BAUTISTA GALINDO Naomi
CROUM Vincent
DENIS Imesha
HAMADACHE Cylia
LE Thi Thao Trang
LEFRANÇOIS Théo
LOUISOR Pascal
MILET Xavier
PETRI Clément
PRETERRE Estelle
RAILLARD Julien
VEILLEUR Amandine

Fabrique 2023 :

CALLENS Soline
FARES LE NEVEZ Adèle
GARRIDO Marie
GLODT Fiona
GROLLEAU Maelle
LAHURE PORNOT Manon
LEFEBVRE Claire
ROCHE Pauline
ROUÉ Ana
ZERROUQA Lubna

Ce livret d'étude rassemble les recherches et expérimentations sur la préfabrication du procédé CobBauge, effectués par les étudiants et étudiantes avec l'aide de leurs enseignants lors des Fabriques Échelle 1 à l'ENSA Normandie.