



La légèreté du bois : son grand atout

La légèreté du matériau bois permet et invite à généraliser la préfabrication : fabriquer le tout ou des parties importantes d'une construction en atelier et assembler rapidement sur site.

Cette logique est importante dans le jeu concurrentiel, elle donne au bois un avantage considérable : le chantier a lieu en atelier pour l'essentiel, ce qui permet de construire mieux et plus rapidement, en éliminant une bonne partie des risques et pathologies de la construction

La préfabrication de modules tridimensionnels à structure bois

La préfabrication, voire l'industrialisation, de la construction bois ne signifie pas à priori «le pareil au même» du produit final, mais une mise en œuvre rationalisée à partir d'une analyse du geste répétitif ou similaire et des fonctions similaires, menant à une rationalisation de la production, une meilleure exploitation des atouts productifs, et à une réduction du travail sur chantier.

La construction modulaire, la préfabrication à son degré le plus poussé, peut prendre plusieurs formes :

- éléments porteurs, ou non-porteurs, en panneaux ou assemblables en panneaux, standardisés selon une trame ou non, en diverses versions : avec fenêtre, avec porte, avec ou sans isolant, précâblés etc. ... permettant un nombre infini de configurations dans la construction de bâtisses diverses
- modules spatiaux, prêts à aménager ou complets : des cellules à composer, superposer et juxtaposer pour créer des maisons, écoles, bureaux, hôpitaux, hôtels ...

Nous nous intéressons ici aux modules spatiaux, tridimensionnels, la préparation en atelier de cellules spatiales entières, et même entièrement équipées de rangements, d'une salle de bain, d'une cuisine et de ses réseaux électriques, informatiques, de chauffage etc., munies de fenêtres, portes ... complètes.

Les limites dimensionnelles sont alors celles imposées par le transport.

L'idée de construire par modules n'est pas nouvelle

Catalogues de modules de murs, modules spatiaux ... Si dans le passé cela a été développée par des architectes et des ingénieurs (Wachsmann, Gropius, Bärtnig etc. dans les années '30, Le Corbusier, Prouvé etc. dans les années '40 ...), aujourd'hui l'idée est souvent portée par des constructeurs bois eux-mêmes. Soucieux de faire face à la poisse que portent les multiples aléas du chantier tout autant que de réduire les délais de livraison, les entreprises de la construction bois sont souvent aujourd'hui les premiers moteurs de nouveaux développements.

Déjà qu'il est aujourd'hui courant de trouver dans une entreprise de construction bois, même de petite taille, un bureau d'étude intégré, avec un ou plusieurs ingénieurs.

Surmonter les aléas de chantier

Le travail du bois a fortement évolué depuis les années '80, avec les nouvelles technologies de commande numérique. Pourtant, elles ne peuvent être appliquées sur chantier qui par définition n'est qu'un atelier à ciel ouvert, équipé ad hoc avec des outils portatifs. De surcroît, déplacer au quotidien matériaux, équipement et personnel sur une période de plusieurs semaines, voire de quelques mois demande un effort logistique dont la rentabilité est tout sauf sûre.

Dans ces conditions, une qualité conséquente est difficile à assurer. Sur chantier, combien de fois faut-il travailler avec un outil mal adapté, échafauder pour une opération en soi minime, lever avec des moyens du bord, prendre des risques mal maîtrisés ou des précautions coûteuses ?!

Pour le bois, le risque majeur sur chantier consiste principalement en l'exposition à l'humidité mal contrôlée. Les risques majeurs pour les exécutants y sont ceux de santé : courants d'air, intempéries, accidents ... le taux d'arrêts maladie et accident est très élevé. Le risque majeur pour l'entreprise est de voir sa marge bénéficiaire passer dans le rouge à cause d'une accumulation de circonstances malencontreuses imprévues.

Il est donc logique de déplacer le chantier en atelier autant que possible. La faible masse volumique du bois étant son grand atout ici. Et les technologies industrielles, même à commande numérique sont à la porté des constructeurs bois.

Déplacer le chantier en atelier

Construction assistée par ordinateur ou pas, l'atelier est le meilleur endroit pour construire. Et, tant qu'à faire, préparer des cellules tridimensionnelles.



Fabrication d'une unité modulaire SU-SI chez le constructeur Michael Kaufmann photo : J. Kaufmann Architektur

Une rapidité de réalisation inouie

La préfabrication de la construction s'est avéré l'un des meilleurs arguments pour le bois, notamment dans des situations spécifiques, telles que le besoin d'une extension d'un hôtel d'une dizaines de chambres à réaliser pendant les vacances de l'établissement : 4 semaines pour livrer le tout, complètement équipé, prêt à recevoir la clientèle (tel l'Hôtel Post à Bezau/Autriche par l'architecte J. Kaufmann). Ou les projets d'extensions d'écoles, encore une fois à réaliser pendant les vacances pour ne pas déranger l'enseignement par des travaux à ne pas finir ..., la mise en service rapide et temporaire de logements lors d'un événement de grande envergure ou comme réponse à de simples réflexes de rentabilité d'un site d'activité ou encore le souhait d'une famille de rentrer dans son chez-soi tout de suite.

Les contraintes et risques du chantier sont alors minimisés. Il n'y a que la viabilisation, les connections aux réseaux et les fondations à réaliser sur chantier, pendant qu'en atelier se fait la construction des volumes. Cela permet une rapidité de réalisation inouie ! Cette rapidité est un atout commercial de premier ordre.

Modules polyvalents et mobiles

Le fait de construire en atelier un module spatial pour le transporter en entier sur son site de destination répond évidemment aussi aux besoins d'architecture mobile : salles d'exposition, bureaux temporaires, écoles provisoires, locaux commerciaux, accueil de sportifs, logements temporaires pouvant répondre à toute exigence esthétique, d'isolation, d'équipement. Certains constructeurs rendent ainsi leurs modules disponibles à la location, selon la configuration désirée ou non, comme le suisse Erne* qui dispose de centaines de modules. Le recyclage est non-destructif : les modules ayant servi à loger 1600 jeunes lors de l'expo 2000 à Hanovre ont été recyclés (= réutilisés) à plus de 85 % dans les 3 mois qui suivaient la clôture de l'événement, et sur des dizaines d'emplois différents.

L'architecte autrichien Johannes Kaufmann*, le cabinet suisse Bauart*, le constructeur allemand Otto Baukmeier Fertighaus*, le suisse Erne Holzbau* et en France H²O Résidence* se sont consacrés ces dernières années avec succès à développer la construction bois par modules spatiaux, à la fois en unités indépendantes et en unités juxtaposables et/ou superposables.

SU-SI - unité modulaire indépendante entièrement équipée

fabrication :	5 semaines
montage :	5 heures
dimensions :	large 3 à 4,50 m long 6 à 14 m haut 3 m
fondations :	pilotis, plots béton, longrines béton ou fondations avec cave
connections :	électricité, eau, eaux usées, eaux de pluie
prix	ex. maison, 40 m ² entièrement équipés (cuisine, salle d'eau, chauffage, rangements) à partir de 50.000 € hors fondations/viabilisation
concepteur :	Johannes Kaufmann Architektur, Autriche
constructeur :	Michael Kaufmann, Reuthe, Autriche



SU-SI est posé et raccordé en quelques heures



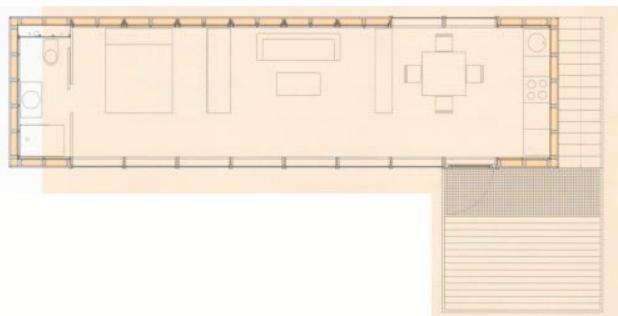
(photos : J. Kaufmann Architektur)

SU-SI en transport spécial

SU-SI est entièrement équipé en atelier



Le module SU-SI le soir du montage
photo/plan : Johannes Kaufmann Architektur



Un plan de SU-SI en version d'habitat

Un autre exemple très abouti

Le cabinet suisse Bauart Architekten a conçu Smallhouse, une unité d'habitat modulaire entièrement préfabriquée, en duplex de 63 m², dont le premier prototype a été réalisé avec des spécialistes en construction de stands d'exposition, par définition habituées à gérer fabrication et montage en temps records. Le premier Smallhouse a été monté à Zurich en 2000. Comme J. Kaufmann, Bauart ont très fortement développé une architecture de cellules multiples préfabriqués, composant ainsi hôtels, bureaux, écoles etc.



Le premier prototype de Smallhouse a été posé à Zurich en 2000 Smallhouse, image 3D : Bauart

Smallhouse est désormais fabriqué et commercialisé par le constructeur d'habitat «clé en main» allemand WeberHaus* sous le nom Haus Option. Le nouveau prototype a été monté en fin février 2003 sur le grand parc d'exposition du constructeur (à 10 km au Nord de Strasbourg) - les modules peuvent être configurés en juxtaposition pour former des ensembles plus grands - disponible sur commande.



photo : Bauart

Smallhouse – unité modulaire indépendante en duplex entièrement équipé

fabrication :	1 mois
montage :	inférieur à 1 journée
dimensions :	duplex large 4,14 m long 10,36 m haut 6,26 m
fondations :	longrines béton ou fondations avec cave
connections :	électricité, eau, eaux usées, eaux de pluie
prix :	63 m ² entièrement équipés (cuisine, salle d'eau, chauffage, rangements, escalier)
concepteur :	Bauart Architekten, Suisse
constructeur :	WeberHaus, Allemagne

Les délais dont sont capables ces constructeurs bois sont parfois plus courts que ceux d'un artisan menuisier pour une simple table ! Et cela avec une qualité de réalisation souvent excellente.

Le module spatial multiple

Un bon nombre d'architectes et de constructeurs bois travaillent actuellement au développement et à l'application de systèmes de construction modulaire bois, à partir du souci de réunir le plus grand nombre de facteurs favorables à l'optimisation des coûts, d'une rationalisation et d'une adaptation aux moyens de préfabrication modernes.

De là à passer aux juxtapositions et superpositions de modules spatiaux pour former de grands ensembles n'est qu'un petit saut. On travaille à développer la construction bois par modules spatiaux, à la fois en unités indépendantes et en unités juxtaposables et/ou superposables et sont parvenus une architecture de cellules multiples préfabriquées, composant ainsi hôtels, bureaux, écoles etc. De cellules tridimensionnelles complètes pour en composer des ensembles plus grands est très convaincant.

Ces cellules sont utilisées aussi bien pour des constructions temporaires, réutilisables, que pour des constructions durables.

A savoir, toute construction où les besoins sont identiques en multiple : maisons de repos, cliniques, hôpitaux, écoles, bureaux, logements, villages de vacances, accueil d'événements sportifs ...

Réunir les facteurs favorables

Le pari consiste à créer un type de module polyvalent et/ou à dimensions variables, permettant la plus grande variété de configurations possible - pour en assurer la plus grande liberté de conception architecturale et d'adaptation au projet – puis de rationaliser la préfabrication afin d'en baisser le coût.

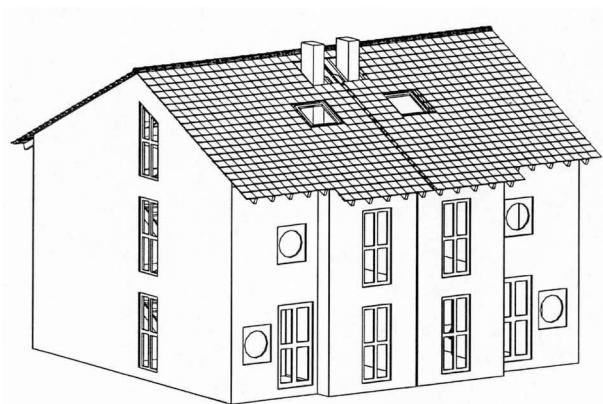
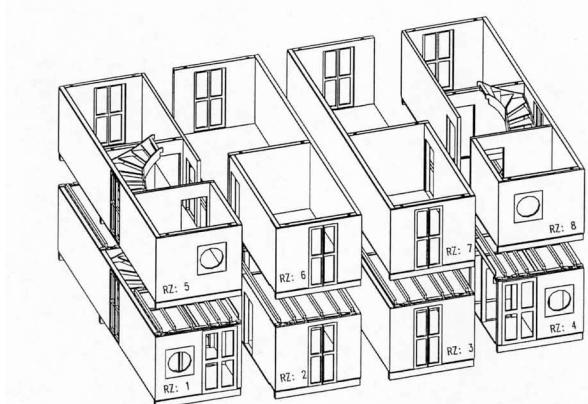
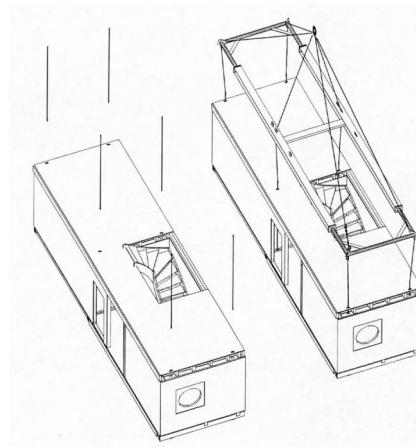
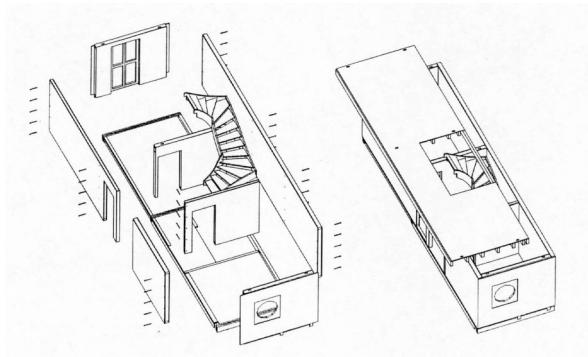
La seule contrainte : les limites dimensionnelles du transport routier, fluvial et, dans des cas très particuliers, celles de l'héliportage.

Cela ne donne pas seulement l'avantage d'une extrême rapidité de mise en place sur site, mais élimine la logistique complexe et coûteuse de faire intervenir de nombreux corps d'état sur chantier, permet un meilleur contrôle de la qualité d'exécution et de réunir toutes les prestations en une seule entreprise, sous un seul toit. Et enfin, la rentabilité est au rendez-vous. La tendance des maîtres d'ouvrage publics à attribuer les lots d'un marché par principe séparément s'avère dans ce contexte contradictoire à l'enjeu principal : améliorer la qualité des prestations tout en baissant les coûts.

De l'unité modulaire indépendante à la composition de cellules multiples

Dans le souci de rationaliser la construction de maisons individuelles ou doubles, le constructeur allemand Otto Baukmeier Fertighaus a développé, avec la faculté de l'université de Braunschweig, une méthode permettant de configurer des maisons plurifamiliales à partir de cellules préfabriquées qui se juxtaposent et se superposent, bref, se connectent les unes aux autres.

Les schémas que nous présentons ici démontrent l'étude préalable d'assemblage des éléments, tels qu'ils ont été développés par le Professeur Martin Kessel avec ce constructeur. Sans aller aussi loin que d'équiper complètement ses maisons à l'usine, le constructeur arrive ainsi à monter une grande maison double, hors d'air/hors d'eau, en une bonne journée.



Etude des séquences de montage du système modulaire développé par le Professeur Martin Kessel avec le constructeur Otto Baukmeier Fertigbau

Images : Otto Baukmeier Fertigbau



Montage d'une maison double en 8 modules en fin de la 1^{ère} journée.
photo : Otto Baukmeier Fertigbau

La constitution de grands ensembles par modules

Nous avons déjà cité en exemple l'exploit du tandem Johannes Kaufmann (architecte) et Michael Kaufmann (constructeur bois) à la réalisation de l'extension de Hôtel Post à Bezau en Autriche par un complexe de dix chambres. L'hôtelier, comptant grand nombre de clients réguliers qui réservent longtemps à l'avance, ne pouvait pas envisager un chantier s'éternisant : ni la gène pour les clients, ni la perte d'une saison. Idéalement, cette construction devait se faire durant les vacances annuelles de l'hôtel – en quatre semaines !

Ce défi fut relevé par les trois Kaufmann, les architectes Johannes et Oscar Leo, et le constructeur Michael, forts de leurs expériences en construction modulaire, SU-SI, Fred etc. Cette extension était alors conçue avec soin et dans le moindre détail pour minimiser le chantier et déplacer l'ensemble de la construction des chambres en atelier, où il était aisément préparer en entier, une par une et jusque dans l'aménagement, pour un montage rapide des modules sur site.



L'extension de l'Hôtel Post devait se faire en 4 semaines, clé en main. Ici le montage, réalisé en quelques jours. A l'issue du montage qui comprenait toutes les connexions, il n'y avait plus qu'à poser la vitrerie, les brise-soleil, les plaques de balcon et les garde-corps et à finir la couverture, les chambres étaient déjà prêtes.

(photo : Johannes Kaufmann Architektur)

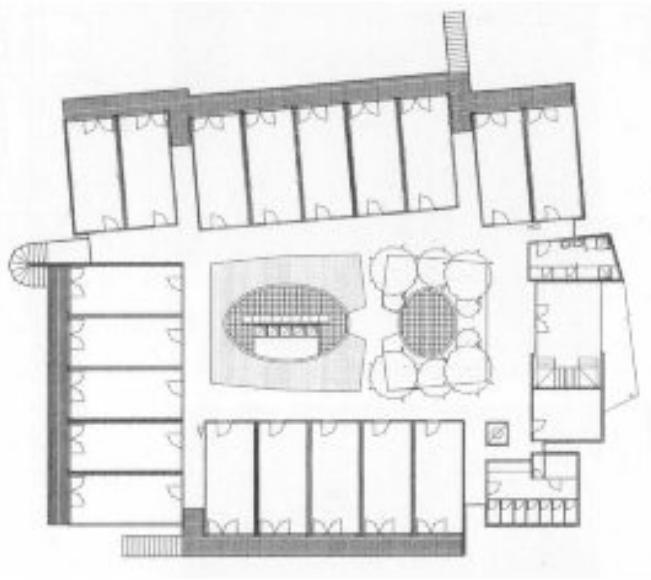


L'extension de l'Hôtel Post à sa livraison, prête à recevoir sa clientèle au bout de quatre semaines d'intervention. photo : Ignacio Martinez, D.R.

1600 places d'hébergement temporaires

L'expo 2000 à Hanovre, comme tout grand événement, a engendré toute une logistique d'hébergement. La fondation suisse de la famille Sandoz s'est adressée au cabinet d'architecture de Kurt Hofmann pour la création d'un ensemble temporaire pouvant accueillir 1600 jeunes à la fois. Kurt Hofmann a fait appel au modulaire, sachant qu'à l'issue de l'expo 2000, l'ensemble devait être démonté : l'idée de réemployer les modules dans d'autres contextes rendait cette construction viable financièrement. Pratiquement toutes ces unités ont été réutilisées ailleurs, par exemple dans la construction de l'hôtel 5 étoiles Palasitte pour l'expo 2002 en Suisse, dans des centres d'accueil d'enfants handicapés, des foyers d'étudiants, dans l'habitat.

Kurt Hofmann parle de l'expérience avec passion : le pari de faire monter des cellules complètement équipées en un village d'accueil, pour ensuite les attribuer à d'autres usages n'est pas une charge habituelle pour un cabinet d'architecte, et aujourd'hui, la majorité des modules étant «casées» ailleurs, il dit de l'opération qu'elle était concluante, passionnante, satisfaisante et ... rentable !



Vue de l'ensemble et plan de groupes de construction modulaire du village d'accueil de 1600 jeunes à l'expo 2000 d'Hanovre. Photo : Kurt Hofmann

Temporaire et réutilisable ou installé durablement : le modulaire s'avère polyvalent à plusieurs égards

Le constructeur bois suisse Erne Holzbau est l'un des grands spécialistes du modulaire 3D. Le fait que les modules soient réutilisables l'a mené à en proposer quelque 500 unités à la location, pour des installations temporaires telles que banques et bureaux provisoires, salles d'exposition et de vente, écoles etc.

Sa grande expérience dans le domaine l'en fait le partenaire par excellence d'institutions et d'entreprises avec des besoins changeants : la mobilité est une donnée fortement présente dans la logistique des grandes entreprises et le modulaire répond avec d'aplomb.

Mais si le temporaire joue un rôle important chez Erne Holzbau, les installations durables ne restent pas orphelines : l'entreprise construit de nombreux ensembles définitifs, comme le montrent ces exemples d'écoles et de bureaux construits par modules entièrement préfabriqués, voire équipés en l'atelier.



**Un module d'Erne Holzbau
en route pour son montage**
Photo : Erne Holzbau



Une surélévation rapide
Photo : Erne Holzbau



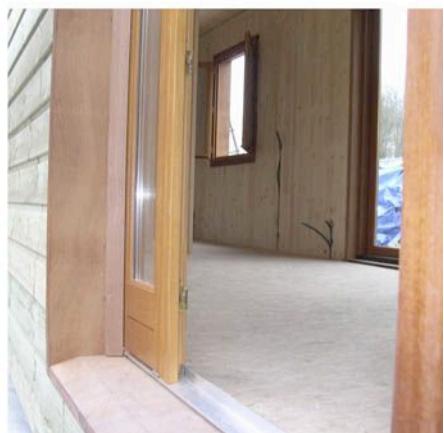
**Un immeuble de bureaux constitué de
modules Erne Holzbau**
Photo : Erne Holzbau



**Les modules peuvent être entièrement
aménagés à l'atelier**
Photo : Erne Holzbau

En France ...

En hiver 2004/5, nous avons eu l'occasion d'instruire, d'orienter et d'accompagner les travaux d'un groupe d'étudiants de l'Ecole Supérieure du Bois qui aujourd'hui fait un effort d'intégrer l'enseignement de la construction bois dans ses cursus. Le projet de groupe consistait à concevoir un module tridimensionnel destiné à servir de logement d'étudiant.



Le module conçu et construit par un groupe d'étudiants de l'ESB, en panneaux de bois massif contrecollé-croisé Leno - images DR

Les étudiants devaient résoudre non seulement les fonctionnalités de la cellule, mais aussi la rationalité de sa fabrication et la logistique du chantier, puis aboutir à la fabrication du prototype.

Sans notions de construction, les étudiants de 3e année devaient déterminer notamment le comportement thermique, statique, en particulier la stabilité au transport et au grutage, l'étanchéité et la vêture et le mode constructif le mieux adapté pour le structurel du gros œuvre. Ensuite, choisir matières et matériaux, passer commandes, veiller aux délais et organiser et effectuer le montage ... les 6 mois effectivement disponibles, parallèlement aux autres cours, constituaient un challenge de taille. Le module, qui pour l'heure comporte encore quelques erreurs, est aujourd'hui visible et visitable, à l'arrière de l'ESB à Nantes.

Les choix ont privilégié le procédé Leno, en panneaux de bois massif contrecollé-croisé, pour un montage rapide des six faces d'un parallélépipède parfaitement rigide, autostable. Leno comprend le fraisage en usine des passages de câbles ainsi que la perforation de tous les emplacements de vis de montage - ce prototype a été érigé pour sa structure, et clos-couvert, en quelques heures.

En même temps, à quelques kilomètres de là, à Carquefou, un constructeur bois développait son propre procédé de construction modulaire, qu'il propose désormais sous la marque H²O Résidences au travers un réseau de concessionnaires. Ses modules, de dimension 10 m x 2,50 m x 3,15 m chacun, sont faits pour s'assembler par deux, trois, ou quatre pour former des résidences de 50 m², 75 m² voir 100 m². Ils sont entièrement préparés, voire même aménagées en usine et destinés au résidentiel principal et secondaire. Avec une dizaine de réalisations à son actif, le constructeur prévoit de fabriquer une centaine d'ici 24 mois.



Le Module H²O Résidences s'assemble par deux, trois ou quatre en multiples de 25 m²

- photo H²O

La construction modulaire tridimensionnelle - pour en savoir plus :

INTERNET

Quelques architectes et ingénieurs de la construction modulaire bois :

- Johannes Kaufmann Architektur, Su-Si, Fred, KFN-Modulsystem : <http://www.jkarch.at>
- Bauart Architekten : <http://www.bauart.ch>
- Professeur Martin Kessel à l'université technique de Braunschweig : m-h.kessel@tu-bs.de
- Kurt Hofmann : k.hofmann@geneva-link.ch

Quelques constructeurs de modulaires tridimensionnels en bois :

- Weberhaus, constructeur allemand de maisons clé en main et du Smallhouse (désormais Haus Option) : <http://www.weberhaus.de>
- l'autrichien Michael Kaufmann Zimmerei : Su-Si, Fred, Fixhaus, KFN-Modulsystem : <http://www.kaufmannzimmerei.at/>
- l'autrichien Berlinger Holzbau : OA-SYS <http://www.oa-sys.com>
- l'allemand Otto Baukmeier Fertigbau GmbH, modulaire clé en main : <http://www.meisterstueck.de>
- Erne Holzbau, constructeur et loueur de modules, suisse : <http://www.erne.net>
- le français H2O Résidence : <http://www.h2oresidence.com>

et aussi ... :

- <http://www.blueskymod.com> <http://www.flatpakhouse.com/> <http://www.weehouses.com/>
<http://www.hivemodular.com/> <http://www.rociromero.com/> <http://www.fabprefab.com/>
-



Photo : Erne Holzbau

Extension modulaire d'une école en Suisse par Erne Holzbau

BIBLIOGRAPHIE

Habitat préfabriqué modulaire et habitat mobile :

- Living in Motion, design and architecture for flexible dwelling – vitra design museum
- Mobile, the art of portable architecture – princeton architectural press
- XS : big ideas, small buildings – thames & hudson
- Experimental Houses – nicolas pople – laurence king publishing
- Prefab - adaptable, modular, dismountable, light, mobile architecture
 - loft publications & hdi (imprint of harper & collins)
- miniHouse – loft publications & hdi (imprint of harper & collins)
- Mobile Architektur – matthias ludwig – deutsche verlagsanstalt, stuttgart
- Xtreme Houses – courtney smith & sean topham – prestel verlag
- Parasite Paradise, a manifesto for temporary architecture and flexible urbanism
 - nai publishers
- Detail, zeitschrift für architektur (tél. : 00 49 89 38 16 200)
 - n° 8/1996 – temporäre bauten / temporary structures / bâtiments
 - n° 8/1998 – mobiles bauen / mobile structures / constructions mobiles
 - n° 3/2001 – einfaches bauen / simple forms of building / construire simplement
- Construire en Bois - herzog, natterer, schweitzer, volz, winter
 - presses polytechniques et universitaires romandes (édition de 2004 !!!)
- Construction en Bois, traité de génie civil volume 13 - natterer, sandoz, rey
 - presses polytechniques et universitaires romandes (édition de 2004 !!!)
- Construire avec le Bois - dominique gauzin-müller – le moniteur

Bibliographie complémentaire > matériaux de construction compatibles avec la santé et l'environnement :

- L'isolation écologique, conception, matériaux, mise en oeuvre – jean-pierre oliva
 - terre vivante
- Ecohouse, a design guide – sue roaf – architectural press, oxford
- Ecology of building materials – bjorn berge – architectural press, oxford
- The Eco-design Handbook, a complete sourcebook for the home and office – alastair fuadluke
 - thames & hudson

Les avantages de la préfabrication

La préfabrication abrite d'éléments quasiment ou partiellement finis, et leur montage sur chantier, amènent un grand nombre d'avantages :

- grande ouverture à la rationalisation, voire l'industrialisation, des procédés
- fabrication, voire même assemblage, dans un environnement protégé :
 - à l'abri des intempéries, des vols, des regards
- travail dans un environnement propice à la précision
- meilleure maîtrise de la qualité
- meilleure maîtrise des facteurs erreur, accident et maladie
- maîtrise de l'humidité
- meilleure disponibilité d'équipement : tout est sur place
- forte réduction des déplacements et de leur logistique
- besoin réduit, très ponctuel, de transport routier = sous-traitance ou location
- meilleure planification matérielle et du temps (délais, heures travaillées, hiver)
- fabrication bois réalisée en même temps que les terrassements et fondations :
 - lorsque les fondations sont prêtes à recevoir la construction, elle est prête aussi
- montage et livraison du lot construction bois très rapide :
 - en quelques heures à quelques jours
- meilleure gestion des déchets, voire recyclage immédiat = chantier propre
- le temps de gestion d'un projet chez le constructeur bois est fortement réduit
- meilleure gestion financière
- personnel plus productif et moins éloigné du domicile
- meilleure rentabilité sur toute la ligne

Par contre, la préfabrication en atelier nécessite un atelier suffisamment grand, avec dispositif de levage, dalle plane, aire de stockage, accès semi-remorque – tout au moins.

Hartmut Hering
Conseiller Construction Bois
mai 2006

Arbocentre

Avenue de la Pomme de Pin - Ardon
BP 20619
F 45166 Olivet cedex
Tél. : +33 2 38 41 80 00
Fax : +33 2 38 41 80 05
e-mail : arbocentre@orleans.inra.fr
internet : <http://www.arbocentre.asso.fr>