



**HAL**  
open science

## Une ossature bois spécifique aux remplissages

Julien Chabanne

► **To cite this version:**

Julien Chabanne. Une ossature bois spécifique aux remplissages. Sciences de l'Homme et Société. 2006. dumas-03035915

**HAL Id: dumas-03035915**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03035915>**

Submitted on 2 Dec 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE  
BP 2636 - 60, avenue de Constantine - 38036 GRENOBLE Cedex 2**

**Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement - Architecture de Terre  
DSA-Terre 2002-2004**

**Mémoire de DSA**

# **Une ossature bois spécifique aux remplissages**

**Julien CHABANNE - Architecte, France  
Soutenance : Grenoble, le 29 septembre 2006**

**Directeur d'études**

P. Doat, architecte, conseiller scientifique au laboratoire  
CRATerre-ENSAG, professeur à l'ENSAG

Jury : **Personnalités extérieures :**

M. Dayre, géologue, Doct. ENSG

**Equipe pédagogique du DSA-Terre :**

A. Douline, T.S. génie civil, CEAA-Terre, consultant pour Misereor

O. Moles, T.S. génie civil, CEAA-Terre, chargé de recherche, CRATerre-ENSAG



## Préambule

Après la cinquième année «culture constructive» et mon stage de troisième cycle, j'ai suivi la formation DPEA-Terre proposée par Craterre. Puis j'ai préparé le TPFE en travaillant en parallèle. L'entreprise Akterre, qui produit et vend des matériaux en terre crue pour la construction m'a employée dans le cadre de ses stages de formation et pour la réalisation de diagnostics. Ce marché est assez récent car la filière "terre crue" est quasiment inexistante en France. Cette expérience nourrit mes convictions concernant l'évolution du secteur du bâtiment, qui doit muter pour former une "chaîne alimentaire", afin d'orienter notre société vers un développement plus durable.

Alors, quelle surprise lorsque j'ai retrouvé la lettre de motivation jointe à mon dossier de candidature pour entrer en «archi». Déjà présente chez moi avant le début de mes études, la préoccupation pour l'impact de nos actes sur l'environnement a donc constitué une toile de fond tout au long de mes études.

Je travaille actuellement au sein de CARACOL, une entreprise coopérative que nous avons créée avec d'autres architectes de formation. Cette structure nous permet de construire et d'expérimenter en grande nature.

# Sommaire

<b>03</b>	<b>Préambule</b>	22	Echanger/réinterpréter les savoirs-faire :
<b>04</b>	<b>Sommaire</b>	21	- Construire avec la matière
<b>06</b>	<b>Avant propos</b>		- Emergence d'une architecture vernaculaire contemporaine
<b>09</b>	<b>1 - De la matière au matériau</b>	<b>27</b>	<b>2 - Expériences autour d'une démarche constructive</b>
<b>10</b>	<b>Apprendre à déconstruire : " l'échelle globale "</b>	<b>28</b>	<b>Première construction durable : un pavillon en terre crue</b>
10	Les quatre risques environnementaux majeurs :	28	- L'Ecocentre du Périgord
10	- L'effet de serre	28	- Le pavillon terre crue
10	- L'épuisement des ressources	29	- Une conception transversale
11	- L'iniquité dans le partage des richesses	29	- Conception bio-climatique et stabilité structurelle
11	- La pollution de l'air, de l'eau et des sols	30	- Les principaux matériaux du projet
12	Des outils pour évaluer nos actes :	31	- Le système d'ossature
13	- Le concept d'empreinte écologique	32	- Le préparation du remplissage
13	- L'analyse de cycle de vie ou le calcul de l'énergie induite	32	- La mise en œuvre
14	Des matériaux de construction durables :	33	- Conclusion/Bilan
14	- Le capital naturel de la planète	<b>34</b>	<b>Expérimentation d'une ossature bois performante pour remplissage terre</b>
14	- Les différents types de ressources disponibles	34	Cadre de l'expérimentation
14	- Qualités des matériaux de construction durables	34	- L'exposition grains d'Isère
16	Le secteur du bâtiment comme un écosystème.	34	- Les partenaires
<b>17</b>	<b>Pour mieux construire :« l'échelle locale »</b>	35	- Les moyens mis à disposition
17	Reconnaissance des opportunités territoriales :	36	Objectifs de l'expérimentation :
17	- La notion de territoire	36	- Objectifs généraux
17	- Les acteurs du projet	36	- Objectifs pédagogiques pour les auteurs
17	- Le rôle de l'architecte	36	- Public ciblé
18	- Le lien au patrimoine vernaculaire et associatif	36	- Objectifs pédagogiques pour le public ciblé
		36	- Concept
		36	- Résultat attendu

37	La recherche d'opportunité territoriales en ressources naturelles de matériaux de construction
38	Avantages et inconvénients des ossatures pour remplissage :
38	- Ossature préconisée par le CNDB
39	- Ossature spécifique pour remplissage
40	Une ossature bois à trame dédoublée décalée :
40	- Avantages généraux
41	- Avantages spécifiques aux remplissages en vrac
42	Le module d'expérimentation réalisé aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau :
42	- Ossature à coffrage perdu en cannisse
43	- Ossature à coffrage montant déporté
45	- Prototype réalisé aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau
45	- La mise en œuvre de l'ossature
<b>46</b>	<b>Les remplissages en terre</b>
46	- La composition des remplissages en terre
46	- Qualités des remplissages en terre
46	- Expériences antérieures
47	- La barbotine d'argile
48	- Les plaquettes forestières
49	- Le mélange terre-plaquettes
51	- La mise en œuvre
<b>52</b>	<b>conclusion/bilan</b>
52	- La ressource en bois
52	- La ressource en terre
52	- Evolution de la mise en œuvre
53	- La préfabrication
53	- Bilan �cologique
53	- Impact sur la santé

## 55 3 - Les enjeux du projet

56	<b>Vers des bâtiments plus sobres</b>
60	<b>L'isolation comment �a marche</b>
63	<b>Une ossature des remplissages</b>

## 65 Annexes

66	<b>Annexes 1</b> : Résumé du rapport «planète vivante 2002»
68	<b>Annexes 2</b> : William E. Rees
70	<b>Annexes 3</b> : Extrait et traduction de : Module Architecture Durable Qualités, Utilisations et Exemples pour des matériaux de construction durables.
82	<b>Annexes 4</b> : Coefficient statique et thermique du pisé
82	<b>Annexes 5</b> : L'Action 12-2 : Valoriser le patrimoine en pisé - Contrat Global de Développement Isère Portes des Alpes
83	<b>Annexes 6</b> : - Apprendre à deconstruire pour mieux construire - Courrier Créabois aux scieurs Is�rois
87	<b>Annexes 6</b> : L'ATEX, pour accompagner l'innovation architecturale

## 88 Bibliographie

## 90 Illustration

## Avant propos

A l'heure où l'on se rend compte des limites de notre planète, qu'elle est quantifiée, qualifiée, estimée, mesurée, analysée, «rééquilibrée», il se produit une prise de conscience de l'importance de ne pas porter gravement atteinte aux conditions de vie de nos descendants. Notre société doit répondre à cette exigence et chercher des solutions alternatives, afin de limiter l'impact des quatre risques majeurs que sont : l'effet de serre, l'épuisement des ressources, l'iniquité dans le partage des richesses et la pollution de l'air, de l'eau et des sols. Actuellement, la durée de vie moyenne d'un bâtiment, lié à son usage initial, est de cinquante voire soixante quinze ans. Outre l'usure des matériaux, les constructions ont une durée de vie limitée par leur lien à une société et à son mode de vie. Notre volonté de concevoir une architecture qui s'ajuste aux modes de vie ne doit pas faire du secteur du bâtiment un consommateur irraisonné de ressources naturelles. Le secteur de la construction est, à la fois, un gros producteur de déchets, ainsi qu'un gros consommateur de ressources naturelles et d'énergie. A la quantité vient s'ajouter la diversité des matières premières et des procédés hasardeux utilisés par l'industrie du bâtiment pour fabriquer nos matériaux de construction. La transformation de la

matière en matériaux est souvent source de pollution, consommatrice d'énergie et quasiment toujours irréversible. Seule les ressources renouvelables sont des gisements durables, pour autant que les terres soient cultivables. Le secteur du bâtiment est aujourd'hui confronté à un enjeu de taille pour atteindre une réelle pratique de développement durable : il va falloir qu'il compte sur la nature plutôt que de la bannir afin de devenir un véritable écosystème.

Bien que ces objectifs soient plutôt globaux, nous devons trouver des solutions locales. Chaque territoire présente des opportunités qu'il faut savoir reconnaître et exploiter. Il est souvent intéressant d'utiliser de la matière plutôt que des matériaux, car elle subit moins de transformation, mais cette utilisation nécessite un savoir-faire particulier. Dans cette démarche de construction durable, tous les intervenants du projet doivent jouer leur rôle. L'architecte en tant que prescripteur doit assumer son rôle de «consommateur», ses choix ont une importance primordiale sur l'évolution du marché du bâtiment. C'est sa position à différents niveaux du projet qui lui permet d'envisager des solutions innovantes en

créant des relations avec d'autres acteurs : artisans, bureaux d'études, producteurs de matériaux. Les exemples que nous avons analysés témoignent de la richesse de ces partenariats.

La seconde partie présente les différentes expériences que nous avons mises en œuvre autour de notre démarche constructive. Notre première construction est le pavillon en terre crue de l'Econcentre du Périgord. Construit dans le cadre de chantiers-formations, nous avons conçu ce bâtiment en conséquence : il devait présenter un caractère reproductible et avoir une conception bioclimatique. Les principaux matériaux de ce projet, de la terre et du bois, provenaient de sources hyper locales. La deuxième expérience présentée est une expérimentation réalisée aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, lors de l'exposition Grains d'Isère. L'objectif de ce travail était d'approfondir notre savoir et notre savoir-faire concernant les ossatures bois pour remplissage en terre. Riche de notre première expérience, la conception de ce module et sa réalisation nous ont permis de rencontrer divers acteurs de la filière bois. La compréhension des enjeux de chacun et des contraintes économiques

liées à tous système constructif, nous a permis de mettre au point une ossature spécifique pour les remplissages en vrac. Le module fabriqué ayant provoqué une certaine curiosité, il sera présenté à nouveau lors de l'exposition sur le bois qui aura lieu en octobre 2004 aux Grands Ateliers.

La dernière partie développera le thème des constructions passive et de l'utilisation de la terre crue dans ces réalisations. L'ossature développée pendant notre travail de TPFE permet une adaptation des remplissages, ce qui est un atout pour la conception bioclimatique.





# **1 - De la matière au matériau**

## Apprendre à déconstruire : " l'échelle globale "

### Rappel sur les quatre risques environnementaux majeurs

(issu de : Architectures Durables de Pierre Lefèvre, 2000)

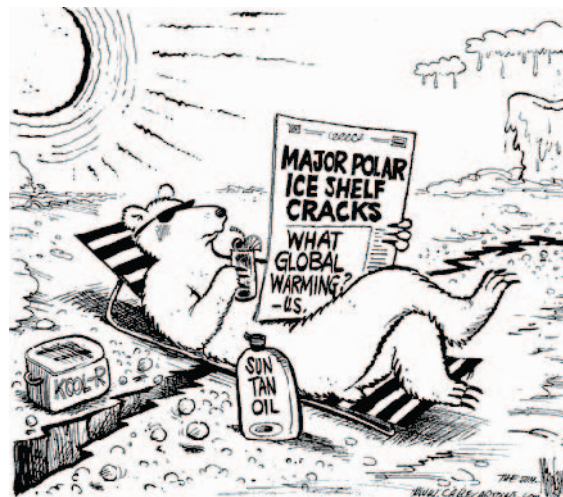
#### L'effet de serre

L'effet de serre procède de l'accumulation dans l'atmosphère du gaz carbonique et d'autres gaz carbonés qui laissent passer le rayonnement solaire mais arrêtent le rayonnement terrestre à grande longueur d'ondes infrarouges correspondant à une émission de chaleur. Les rayons solaires qui traversent l'atmosphère sont en partie absorbés par la croûte terrestre et en partie réfléchis vers l'atmosphère. Plus l'atmosphère contient de gaz dits à effet de serre, plus elle intercepte les rayons renvoyés par la terre pour les renvoyer vers la terre qui ainsi se réchauffe. [...]

Les conséquences climatiques de ce réchauffement accéléré sont déjà observables avec la fonte de la calotte glaciaire ainsi qu'avec celle des glaciers des principaux massifs montagneux. [...] La conséquence la plus redoutée des Européens serait le déplacement du Gulf Stream, à qui ils doivent leur climat tempéré. Avec l'éloignement de ce courant océanique le climat de l'Europe s'apparenterait à celui du Canada.[...]

En octobre 2001, quelques jours avant la conférence de Marrakech, le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) a rendu

public un rapport de synthèse sur le changement climatique, destiné aux décideurs politiques. Selon ce rapport le dérèglement de la machine climatique pourrait durer des millénaires.



«Une gigantesque faille dans la banquise». «Quel réchauffement global ?» demandent les Etats-Unis.

◀ 1 - Dessin de Mike Lane paru dans The Baltimore Sun.

La plus importante plate-forme glaciaire de la région arctique, vieille de plus de trois mille ans, s'est rompue. C'est ce qu'ont constaté des chercheurs américains et canadiens, pour qui il s'agit d'une conséquence du réchauffement climatique à long terme, qui a débuté il y a plus d'un siècle au pôle Nord.

#### L'épuisement des ressources

La population du globe est passée de 1,5 milliard en 1900 à 6 milliards en 1999. Les démographes prévoient une relative stabilisation à 8 milliards à partir de 2010. La société de consommation est devenue le modèle de développement prédominant sous l'influence de l'Amérique du Nord qui n'envisage pas de renoncer à son modèle de croissance illimitée. [...] Les experts prévoient qu'à partir de 2005 la production de pétrole baissera de 3% par an alors que la consommation mondiale continuera de croître d'environ 2% chaque année. On peut craindre un séisme pour l'économie mondiale à partir du moment où la demande sera supérieure à l'offre, et cela d'une façon irréversible. [...] On peut déjà observer les investissements des grands groupes pétroliers dans les énergies alternatives.

William E. Rees, professeur d'économie à l'université de Vancouver, a mis au point le concept d'«empreinte écologique de la ville». L'empreinte écologique d'une ville correspond à l'ensemble des territoires qu'il est nécessaire d'exploiter pour répondre aux besoins des citoyens qui y vivent. W.E. Rees a calculé que la consommation correspondant à 1 km<sup>2</sup> de ville à Vancouver est de 18 km<sup>2</sup> de boisement, de 10 km<sup>2</sup> de terres agricoles et de 133 km<sup>2</sup> d'océan! Au total l'empreinte écologique de Vancouver est 290 fois supérieure à sa surface politique et géographique. La surface d'approvisionnement des grandes villes européennes est de 565 à 1130 fois supérieure à leur surface administrative. [...]

Si l'humanité veut laisser aux générations futures les mêmes ressources que celles dont elle a disposé, une stratégie d'économie drastique est nécessaire.



◀ 2 - Dessin de Chappatte paru dans Le Temps Globe Cartoon

► 3 - "Vous êtes conscient qu'en conduisant ce 4 x 4 vous contribuez à financer le terrorisme ?" Sur son tee-shirt : La terre d'abord. "Pas moi, madame. Mais VOUS, en commandant cette pizza." Dessin de Larry Wright paru dans The Detroit News



## La pollution de l'air, de l'eau et des sols

W.E. Rees a calculé que l'émission en CO<sup>2</sup> des 744 plus grandes villes du monde excède déjà la capacité d'absorption de l'ensemble du parc forestier de la planète. Et pourtant ces villes ne représentent que 19% de la population mondiale. Une étude comparative, menée par le docteur Nino Künzli, de l'université de Bâle, dans trois pays européens, relevait en septembre 2000, que la pollution de l'air provoquait plus de 40000 morts par an en Suisse, France et Autriche, dont une moitié due aux gaz d'échappement des véhicules.[...]

On estime que 70% de la population mondiale vivra en ville en 2025.[...] De l'an 2000 à l'an 2015, 600 millions de nouveaux citoyens ne disposeront ni des infrastructures nécessaires à l'alimentation en eau potable et en énergie, ni des infrastructures leur permettant d'évacuer et de traiter les déchets produits.[...]

Dans l'agriculture, la masse des engrais a diminué tout en restant à la hauteur des niveaux de productivité recherchés. Dans certaines plaines surexploitées, on peut déjà considérer qu'il s'agit d'agriculture hors sol, tant la qualité biologique des sols s'est appauvrie.[...]

Les premiers médecins spécialisés dans la prévention des maladies environnementales, tels Pierre et Suzanne Déoux, lancent un avertissement : « Notre société doit maintenant réfléchir sérieusement aux bénéfices qu'elle retire d'une croissance industrielle et technologique non contrôlée, en les comparant aux coûts qu'elle peut avoir à payer pour la détérioration de la santé des générations actuelles et à venir après les changements néfastes survenus dans l'écosystème humain ».

## L'iniquité dans le partage des richesses

L'un des directeurs de la FAO déclarait en décembre 1998 : « La planète produit assez d'aliments pour satisfaire les besoins énergétiques de tous ses habitants, mais la nourriture est inégalement répartie et beaucoup de personnes n'ont pas les moyens de l'acheter... Même dans les pays où la nourriture est suffisante, tous les habitants n'y ont pas accès et l'écart entre les revenus augmente ».[...]

Selon W.E. Rees, un citoyen vivant en Amérique du Nord consomme l'équivalent de 7 à 10 ha. En Allemagne, il ne consomme plus que 4 à 5 ha. En Inde, il consomme 2 ha et au Bangladesh seulement 0,5 ha. Le bien-être dans les pays riches n'est possible que par le déficit écologique existant dans le reste du monde [...]

Un citoyen occidental consomme 20 à 60 fois plus qu'un citoyen vivant dans un pays en voie de développement. Pour réduire la consommation des ressources au niveau mondial, il faut en priorité diminuer celle des pays développés. D'ici l'an 2040, les experts estiment que les consommations d'énergie et de matériaux doivent être réduites par dix dans les pays développés si l'on veut stopper l'augmentation des pollutions et plus particulièrement les émissions de CO<sup>2</sup> qui sont à l'origine de l'effet de serre. L'humanité doit apprendre à croître sans consommer plus.

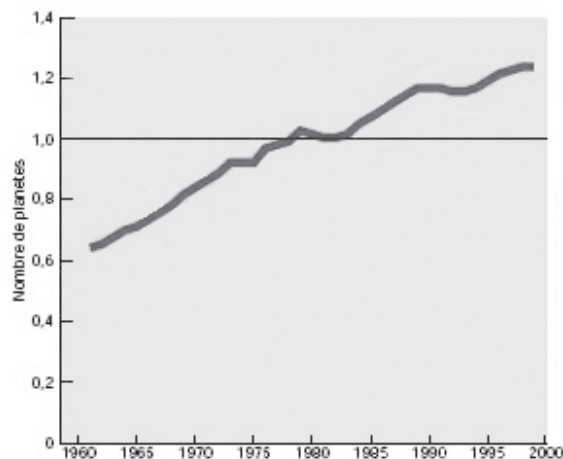
L'iniquité règne aussi dans l'exercice de la citoyenneté, de la responsabilité et de la participation à la décision. [...] L'essor de la vie associative et la responsabilisation environnementale vont, dans les décennies à venir, contribuer à faire évoluer le fonctionnement de la démocratie locale.

## Des outils pour évaluer nos actes

### Le concept d'empreinte écologique

Mis au point par William E. Rees, professeur d'économie à l'université de Vancouver, le concept d'empreinte écologique était d'abord associé à l'échelle de la ville. Il est maintenant utilisé par le WWF<sup>(1)</sup> qui propose sur son site internet un questionnaire permettant aux visiteurs de calculer leur propre empreinte écologique. Le calcul se fait grâce à un questionnaire regroupant quinze questions organisées en quatre thèmes : le logement, la nourriture, le transport et les déchets. Pour le WWF : «*L'empreinte écologique mesure la consommation de ressources naturelles renouvelables par une population humaine, que ce soit celle d'un pays, d'une région ou d'un monde tout entier. L'empreinte écologique d'une population est la surface totale de terre productive ou d'espace marin nécessaire pour produire l'ensemble des récoltes, de la viande, des produits marins, du bois et des fibres qu'elle consomme, pour subvenir à ses besoins en énergie et pour offrir l'espace nécessaire à la construction de ces infrastructures. L'empreinte écologique peut être mise en regard de la capacité biologique de production des terres et de la mer qui sont à la disposition de la population.*»<sup>(2)</sup>

Les données regroupées font ensuite l'objet de rapports publiés et diffusés sur internet par le WWF (annexe 1). Le tableau ci-contre issu du rapport « planète



▲ 4 - empreinte écologique mondiale 1960-1999.

vivante » 2002 présente l'évolution globale de l'empreinte écologique mondiale. Le secteur du bâtiment représente une partie non négligeable de la consommation énergétique actuelle.

Il semble aujourd'hui aisé de créer un programme afin d'évaluer l'empreinte écologique d'un bâtiment, sur la base d'un questionnaire rudimentaire. Ce qui permettrait de mesurer l'impact de nos constructions sur l'environnement, selon les choix constructifs en terme de structure, d'isolation, d'énergie, de gestion de l'eau et des déchets.

*L'empreinte écologique mesure l'utilisation par l'homme des ressources naturelles renouvelables. Cette mesure est exprimée en nombre de planètes, chaque planète représentant la capacité biologique productive totale de la Terre en une année. La consommation des ressources naturelles peut techniquement dépasser la capacité productive de la planète en diminuant le capital naturel de la Terre. Néanmoins cette situation ne peut être maintenue indéfiniment.*

### L'analyse de cycle de vie ou le calcul de l'énergie induite (ACV)

Le secteur du bâtiment consomme de l'énergie, de l'eau, des ressources et des terrains à différents stades :

- à la fabrication des matériaux.
- pendant le fonctionnement des bâtiments.
- au moment de la destruction.

*L'analyse de cycle de vie consiste à faire l'inventaire des quantités d'énergie dépensées pour extraire la matière première, la transporter en usine, fabriquer le matériau de construction, l'apporter sur le chantier, le mettre en oeuvre, et, trente ou cinquante ans plus tard, pour déconstruire le bâtiment, recycler ou mettre en décharge le matériau considéré.*<sup>(3)</sup>

Le résultat chiffré de l'analyse de cycle de vie d'un matériau s'appelle l'énergie induite; bien qu'indicative elle ne prend pas en considération la pollution des sols, de l'eau et l'incidence des matériaux sur notre santé.

L'ACV d'un bâtiment, du berceau à la tombe, est donc une opération complexe qui exige la connaissance des cycles de vie de chacun de ses constituants. Malheureusement ces données ne sont pas toujours disponibles, malgré la réflexion engagée par l'ADEME depuis 1995.

(1) - World Watch Foundation

(2) - Rapport « planète vivante » 2002

(3) - Architecture Durable p 13

Ce travail de collecte des données serait fastidieux pour une personne seule, mais si chacun à son niveau donne les informations concernant ses produits, ses consommations et ses pollutions, le calcul deviendrait plus simple. Peut-être verrons nous apparaître bientôt la consommation d'eau et d'énergie sur les emballages des matériaux de construction. La technologie actuelle nous permettrait même de cumuler l'énergie induite et le nombre de kilomètres parcourus par les matériaux dans un code barre ou une puce sur l'emballage, afin d'additionner les différentes consommations à l'arrivée des matériaux sur le chantier.

► 5 - tableau comparatif des énergies induites

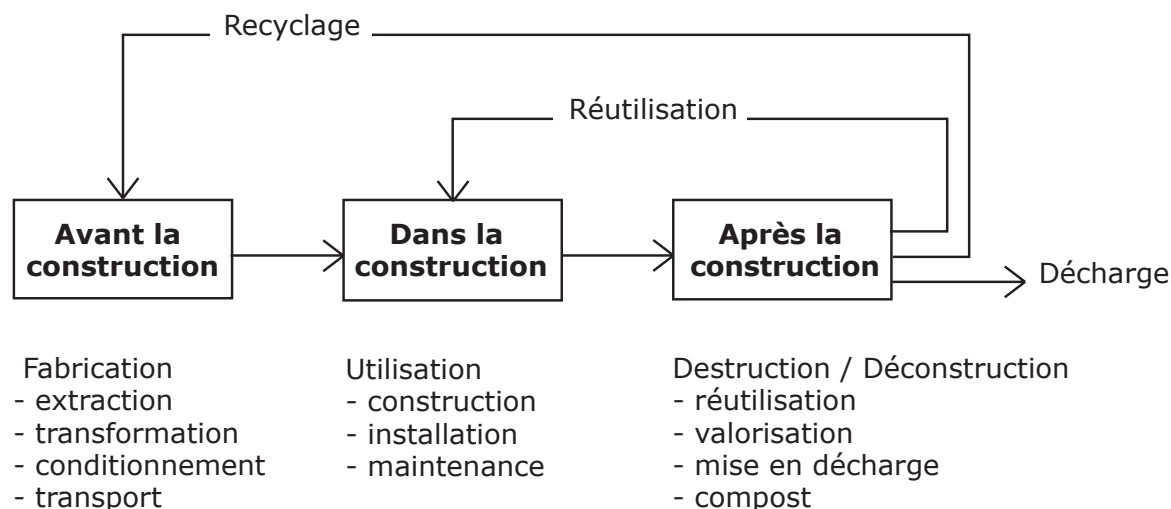
Bien que l'ACV soit un indicateur intéressant d'un point de vue théorique, il n'est pas aujourd'hui suffisamment complet dans sa version chiffrée. Par contre, il est primordial de connaître le principe de fabrication des matériaux les plus courants (voir figures 7 à 9), et certaines grilles donnent un ordre de grandeur de l'énergie induite des principaux matériaux de construction.

► 6 - Le cycle des matériaux de construction

### Quelques exemples de consommation estimative

en kWh par tonne

<b>aluminium de 1er fusion</b>	34 000 kWh/t
<b>polystyrène expansé</b>	23 000 kWh/t
<b>Plastique (moyenne)</b>	21 000 kWh/t
<b>polyuréthane</b>	18 000 kWh/t
<b>laine de verre</b>	14 000 kWh/t
<b>féailles pour béton</b>	9 000 kWh/t
<b>ciment</b>	1 700 kWh/t
<b>brique cuite et tuiles</b>	900 kWh/t
<b>bois</b>	700 kWh/t
<b>béton</b>	400 kWh/t
<b>bloc de terre stabilisée</b>	200 kWh/t



## Des matériaux de construction durables

### Le capital naturel de la planète

W. E. Rees définit la matière disponible sur notre planète comme le « capital naturel », qu'il classe en trois grandes catégories :

- **le capital naturel renouvelable**, regroupe les espèces vivantes et les écosystèmes, qui s'auto-produisent et s'auto-entretiennent en utilisant l'énergie solaire et la photosynthèse. Cette catégorie peut fournir des biens marchands comme la fibre de bois, mais peut aussi fournir des services essentiels incalculables lorsqu'il est laissé en place.

- **le capital naturel re-remplissable**, comprend les nappes phréatiques et la couche d'ozone, qui ne sont pas des êtres vivants mais qui dépendent souvent du « moteur » solaire pour se renouveler.

- **le capital naturel non-renouvelable**, rassemble les carburants fossiles et les minéraux, dont chaque utilisation implique la liquidation d'une partie du stock.

### Les différents types de ressources disponibles

Selon l'origine de la matière première qui constitue les matériaux de construction il est possible de dégager des grandes familles de matériaux. Nous avons donc défini un classement concernant les ressources actuelles en matériaux de construction :

- **matériaux non-renouvelables** : comme défini ci-dessus, leur utilisation pose le problème de l'épuisement des

ressources. L'utilisation de ces matériaux doit maintenant être limitée, et le principe d'assemblage réfléchi afin de permettre un recyclage aisé.

#### - **matériaux renouvelables** :

ils présentent l'avantage de repousser, c'est une ressource durable dont l'utilisation doit être encouragée. Ces ressources doivent nous inspirer pour inventer de nouveaux systèmes constructifs.

#### - **matériaux recyclés** :

cette catégorie regroupe tous les matériaux fabriqués à partir de matière première recyclée. La matière ainsi récupérée doit souvent subir un traitement particulier avant de redevenir un matériau. Souvent l'énergie nécessaire pour une seconde transformation est moins importante que celle nécessaire au passage de la ressource naturelle au statut de matériau de construction. Certains déchets de notre grande consommation pourraient aussi être utilisés pour fabriquer de nouveaux matériaux, ce qui peut présenter un avantage en terme de gain de place dans les déchetteries.

### Qualités des matériaux de construction durables

En déconstruisant le cycle de vie des matériaux comme une série d'actions, il est possible de quantifier le caractère durable d'un matériau par rapport à un autre. Certains matériaux, comme l'aluminium, ont besoin de beaucoup d'énergie et de produits chimiques pour passer de la matière au matériau, mais se révèlent avoir une stabilité exceptionnelle

et un recyclage aisé. D'autres, comme le bois, sont moins énergivores et même intéressants en tant que stockage de CO2, mais une fois traité pour augmenter sa durabilité il peut s'avérer dangereux pour la santé des occupants et risque de polluer l'eau une fois qu'il sera mis en décharge.

En étudiant l'implication des matériaux de construction à travers la vie des bâtiments, trois phases se dégagent. Pour chaque phase il est possible de définir des actions précises concernant les matériaux de construction, chacune de ces actions permettant de caractériser un effort particulier dans le sens du développement durable.

Il suffit qu'un matériau respecte un de ces caractères en plus qu'un matériau comparable pour qu'il soit considéré comme plus durable (voir annexes 2).

#### **Avant qu'il soit dans le bâtiment :**

- mesures de prévention de la pollution à la fabrication,
- mesures de réduction des déchets à la fabrication,
- contenu recyclé,
- réduction de l'énergie induite,
- utilisation de matériaux naturels.

#### **Dans le bâtiment :**

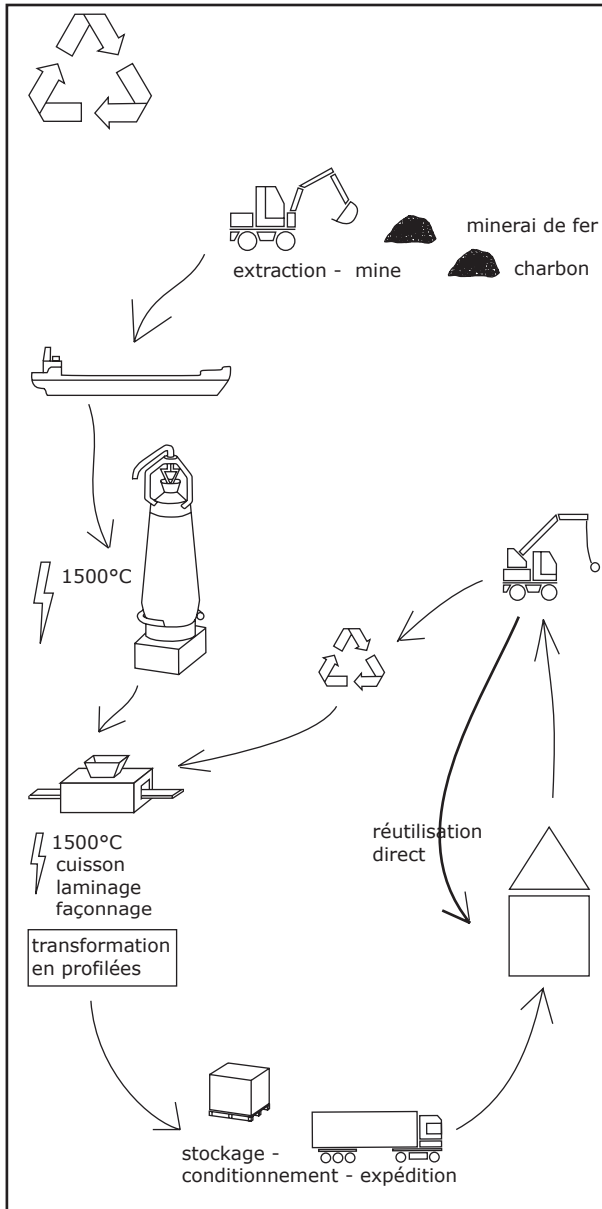
- réduction des déchets pendant la construction,
- matériaux locaux,
- efficacité énergétique,
- traitement et conservation de l'eau,
- utilisation de matériaux non-toxique ou moins toxique.

#### **Après le bâtiment :**

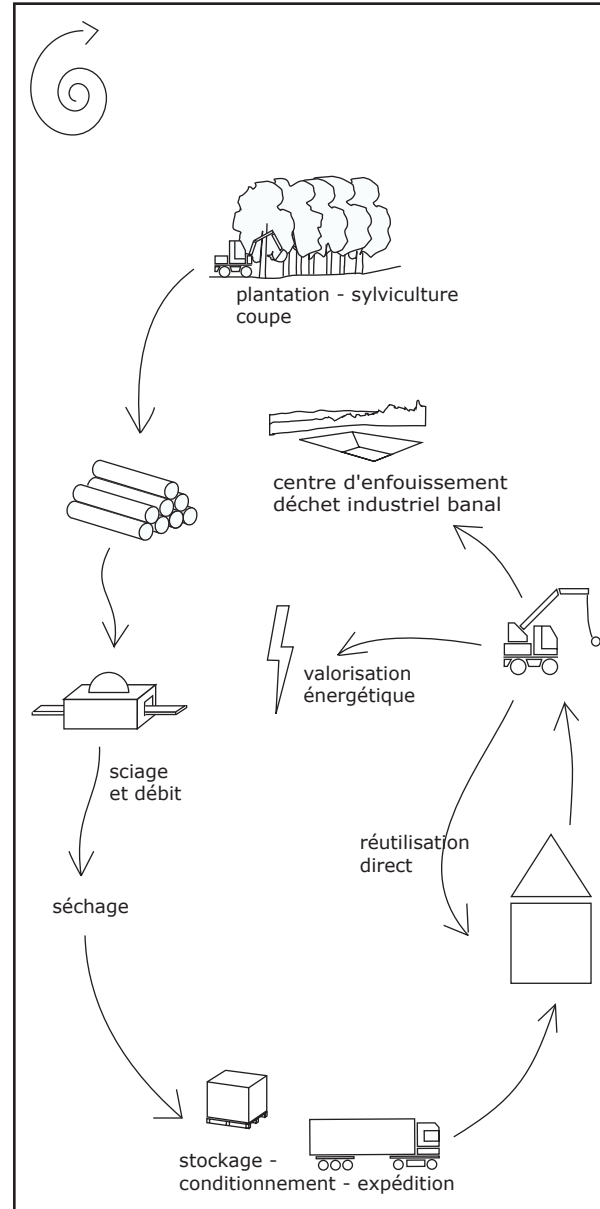
- réutilisation,
- recyclabilité,
- biodégradabilité.

# Les cycles de vie des matériaux recyclable (acier), réversible (la terre), renouvelable (le bois)

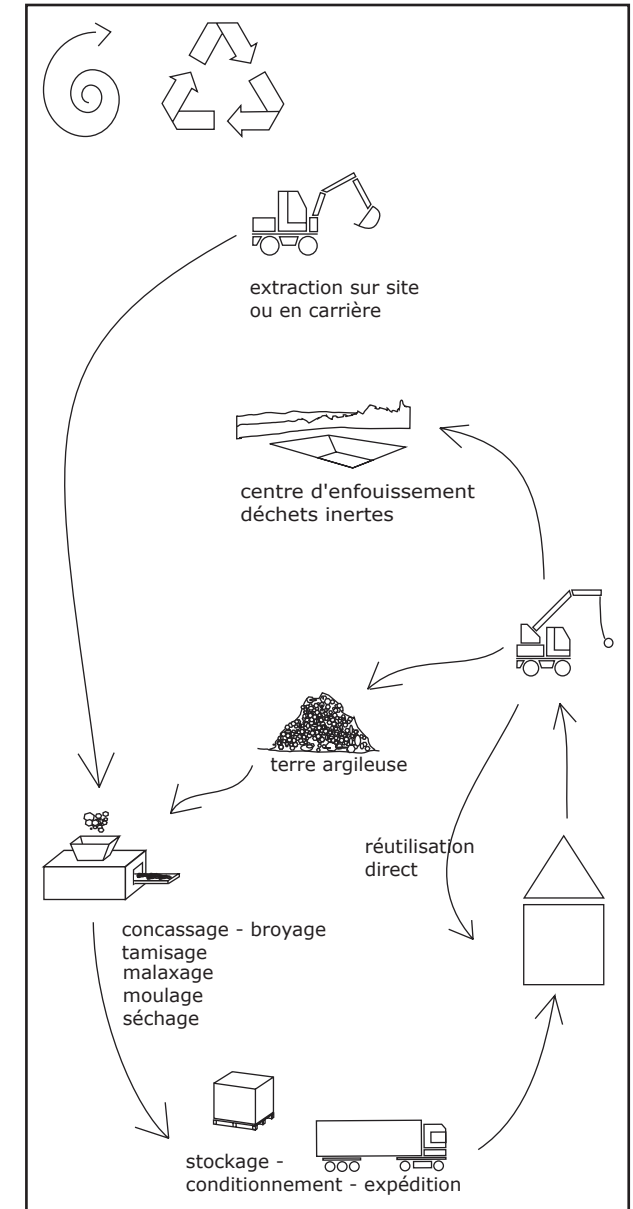
▼ 7 - Le cycle de vie de l'acier



▼ 8 - Le cycle de vie du bois



▼ 9 - Le cycle de vie de la terre crue





### Le secteur du bâtiment comme un écosystème :

Un effort doit être consenti par le secteur du bâtiment en faveur du développement durable, afin de ne pas dilapider le capital non renouvelable de notre planète. Une consommation de matériaux majoritairement issus de ces ressources en matière renouvelable ou recyclée, permettrait de ne pas dépasser la limite productive annuelle de la Terre.

**L'utilisation de la ressource en matière renouvelable** pourrait générer une véritable économie qui fonctionnerait comme un écosystème :

- Nos carrières seraient des champs ou des forêts cultivés
- La matière serait transformée en matériaux par une transformation la plus simple possible
- Nos déchets biodégradables, une fois compostés, pourrait servir d'engrais aux futures cultures.

L'augmentation du prix du pétrole à elle seule encourage le financement de recherches permettant de développer des solutions de substitution. Tout étant une histoire de rentabilité, le marché s'oriente naturellement sur les solutions les plus économiques.

En revanche, il subsiste une limite difficile à consentir pour les multinationales et les consommateurs, celle de la capacité productive annuelle de notre vaisseau spatial. L'exploitation agricole et sylvicole intensive nous a déjà montré ses limites et il ne serait plus possible de vendre plus en une année que ce qui aurait réellement poussé. L'inflation serait alors liée directement à la production végétale annuelle, et aux conditions climatiques.

**L'utilisation de la ressource en matières recyclées** pourrait, quant à elle, nous permettre de trouver des solutions alternatives aux problèmes liés à l'extraction et à la mise en décharge. La matière recyclée peut être aussi bien d'origine végétale que d'origine minérale. La source peut provenir de n'importe quel secteur tant qu'elle ne présente pas de danger pour notre santé et que la quantité est suffisante. Dans certains pays les plaques de plâtres ne sont pas fabriquées à partir de gypse naturel, mais à partir de déssulfogypse provenant du filtrage des fumées des centrales thermiques.

Ce principe permet une exploitation optimale de la matière, comme les herbivores qui digèrent leurs aliments en plusieurs temps pour en retirer un maximum d'énergie. Notre appétit de consommation est tel qu'il ne peut se passer d'une telle démarche.

## Pour mieux construire : «à l'échelle locale»

Après l'étude de l'impact du bâtiment sur l'environnement, il semble évident que la démarche doit commencer dès la phase de projection du bâtiment, quelque soit son échelle.

Il nous semble intéressant, dans un souci de développement durable, de se préoccuper de certains points en particulier :

- l'investissement de l'architecte dans la recherche d'opportunités territoriales de matériaux,
- l'utilisation de ressources réversibles ou renouvelables de matériau en priorité, puis l'utilisation de matière recyclée.

Au niveau européen, quelques exemples nous montrent comment pourrait fonctionner cette démarche.

### Reconnaissance des opportunités territoriales

**La notion de territoire :** nous définissons comme territoire l'aire géographique qui englobe le projet. Cet espace contient des spécificités, qui peuvent être de différentes natures :

- historique
- technologique - en savoir-faire (actuel ou ancien)
- économique
- géologique - en ressources naturelles (renouvelables ou non)
- culturelle
- climatique
- gastronomique
- linguistique

La forme et les limites du territoire du projet ne correspondent pas forcément à celle des découpages administratifs, mais plutôt aux infrastructures existantes, aux liens entre les différents acteurs du projet et à leur dynamisme.

**Les acteurs du projet** sont toutes les personnes physiques ou morales qui jouent un rôle dans le projet, qu'il s'agisse de la maîtrise d'oeuvre ou de la maîtrise d'ouvrage, service, main d'oeuvre, matériau, etc...

Chaque acteur a son propre territoire, qui correspond aux limites de ses interventions, en lien avec les autres acteurs et ceux de son propre secteur.

**Le rôle de l'architecte :** comme un cuisinier, l'architecte est censé offrir un rapport goût/qualité/prix convenable il est donc important de rechercher de bons ingrédients et de les préparer en respectant les temporalités qu'imposent les différentes préparations, sans oublier la présentation et le service dans les temps. Le client est libre de choisir la prestation qui lui convient.

L'architecte à travers son réseau d'acteurs doit savoir utiliser les opportunités que lui offrent les territoires où il doit intervenir. Il doit accommoder tous les maillons qui composent la chaîne qui constitue le projet dans son intégralité. Pour obtenir une construction durable il doit savoir composer avec des matériaux renouvelables ou réversibles. C'est essentiellement sur les parties les plus consommatrices en quantité de matière et donc d'énergie induite qu'il faut agir. Pour les épices exotiques il faut doser parcimonieusement, mais pourquoi s'en passer complètement.

**« Favoriser les circuits courts de tout ce qui est à un poids et favoriser les circuits longs de tout ce qui n'en a pas (les idées) » (1)**

**« ce qui vient de loin doit circuler dans la poche, en petite quantité » (2)**

(1) - Yves Perret, *forum-formation en rhône-alpes* - p: 99.

(2) - Yves Perret, *Architectures Durables* - p: 144

L'architecte Gilles Perraudin a mis en oeuvre, dans différents projets, il y a peu d'années de la pierre calcaire en blocs de 2,30 x 1,05 x 0,52 mètres. Cette pierre provient d'une carrière du Gard qui exploite un gisement pour en faire de la pierre à cheminée. La pierre est extraite par tronçonnage et le contrôle qualité permet de repérer et d'écartier avant la découpe en plus petits blocs,

ceux présentant des veines hétérogènes fragilisant la pierre ou les blocs présentant des défauts important de tronçonnage.

Les réalisations de Gilles Perraudin montre un lien fort entre la forme et le matériaux ainsi qu'une synergie entre les qualités intrinsèques du matériau par rapport à son utilisation. Dans ses projets de chais, la pierre est utilisée pour son inertie et l'absence de toxicité pour une meilleur conservation du vin, pour la facilité et la rapidité d'assemblage, pour le côté terroir de la pierre, mais aussi pour son aspect économique car un chai est ni plus ni moins qu'un bâtiment d'activité adapté à son usage<sup>(1)</sup>.

Idéalement, cette ressource en déchets de l'industrie de la pierre à cheminée, est une source intéressante de matériau de construction alternatif à un prix tout à fait raisonnable. Comme pour chaque produit subissant les lois du marché, ces pierres issues de carrières proches de Montpellier, s'exportent hors du département. La limite se situe là où l'acheteur trouve le prix du transport trop important par rapport au prix de la matière, ainsi qu'à l'économie qu'il réalise en utilisant ce matériau plutôt qu'un autre.

Nous avons trouvé une réalisation contemporaine de cave à vin dans la Loire près de Saint-Etienne; la qualité des matériaux choisis pour ce bâtiment d'activité apporte un avantage commercial à ce magasin, une sorte de gage de qualité.

Chaque territoire a son lot d'opportunités, certaines sont très visibles et d'autres le sont moins. La pierre à cheminée est une opportunité d'une part parce qu'il y a un gisement, mais surtout parce qu'il

est exploité. S'il avait fallu investir dans l'équipement d'exploitation et l'ouverture d'une carrière, l'expérience n'aurait sans doute pas été possible et aurait nécessité une organisation commerciale permettant de rentabiliser l'équipement. De plus, ce matériau a l'avantage d'être isolant et il semble intéressant d'utiliser la pierre sous forme de bloc plutôt que de la concasser, de la broyer, de la bruler en la mélangeant avec des adjuvants, pour finalement la réagglomérer avec du sable et des granulats. Même transportés sur quelques centaines de kilomètres, ces blocs gardent un bilan énergétique intéressant comparé à un complexe béton/laine minérale/plaque de plâtre, d'autant plus si l'on prend en compte les peintures, enduits, ossature, pare-vapeur, etc... Après utilisation, ces pierres restent réutilisables, retaillables, broyables et inertes sous la forme de déchet.

En terme de ressources naturelles, chaque territoire dispose souvent de plusieurs sources qui peuvent être issues de l'exploitation minière, de l'agriculture ou de la sylviculture. D'autres ressources telles que le recyclage dépendent souvent de l'activité économique des territoires et d'initiatives publiques ou privées.

## Le lien au patrimoine vernaculaire et associatif

Souvent l'architecture vernaculaire nous renseigne sur la qualité et la disponibilité en matière première locale:

- Le pisé est souvent présent dans les plaines, il témoigne de la présence et de la qualité de la terre disponible, souvent graveleuse.
- Le torchis témoigne de la présence

d'une terre sablo-argileuses.

Ces indications intéressent principalement les auto-constructeurs et certains artisans éclairés.

Dans de nombreuses régions, des réseaux d'associations et d'artisans se structurent pour diffuser du savoir-faire dans le domaine de la rénovation et de la construction. Souvent ces techniques sont liées à des nouvelles pratiques constructives plus écologiques, à base de bois, de chanvre, de paille ou de terre. Leur but commun est de sensibiliser un public le plus large possible à adopter une attitude éco-responsable. L'activité de ces associations s'étend de l'édition de guides ou d'annuaires sur différents domaines concernés par l'écologie, à la formation de particuliers et d'artisans à l'écoconstruction ou à la rénovation. Certains CAUE (Conseil d'Architecture d'Urbanisme et de l'Environnement) organisent des cycles de formation diplômante en collaboration avec les artisans qui ont le savoir-faire, surtout dans le domaine de la réhabilitation du bâti ancien.

Par contre la diversité et la multiplicité de ses organismes sont telles qu'il n'est pas toujours facile d'être certain de leur professionnalisme, malgré des investissements personnels bénévoles souvent importants.

Les spécificités des territoires sont donc étroitement liées non seulement aux ressources, mais aussi au réseau d'acteurs ainsi qu'à leur dynamisme. Qu'ils soient des particuliers, des associations, des bureaux d'études ou des entreprises, c'est leur engagement et leur professionnalisme qui permet à de nombreux projets de voir le jour.

*(1) - Pour le projet du Chai des Aurelles comparable à celui de Vauvert, le prix de la construction est de 575€/m<sup>2</sup> toutes taxes comprises source : Architecture d'Aujourd'hui n°458 p 77*

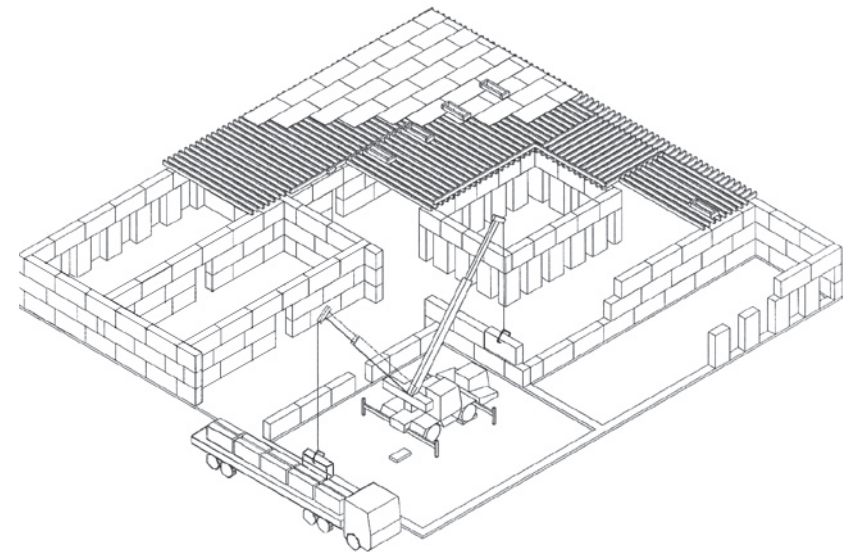
## Construire en pierre, une opportunité territoriale ! Gilles PERRAUDIN, architecte vigneron

Venu s'installer comme architecte vigneron dans les environs de Montpellier, Gilles Perraudin découvre en 1995 la construction en pierre. Cet architecte est depuis longtemps sensible aux matériaux et aux économies d'énergies.

« J'ai construit ma cave en pierre du gard. Je me suis rendu compte que la construction en pierre n'était pas plus coûteuse que la construction en parpaing de béton. Le débitage de la pierre est fait dans la carrière à l'aide d'une sorte de tronçonneuse qui délimite par des coupes horizontales et verticales croisées, des blocs de cinq à six tonnes chacun. J'ai construit avec ces blocs retaillés en deux. J'en ai utilisé environ 300! (...) L'épaisseur des murs est telle qu'il n'est plus besoin de l'isoler. La pierre poreuse absorbe l'humidité, ce qui constitue un avantage fabuleux. L'été, la brise marine vient rafraîchir la pierre. Le bâtiment d'environ 1000m<sup>2</sup>, est couvert d'une

*toiture plantée posée sur des bastaing en bois. La toiture plantée sert de tampon hydrologique. Elle retient l'eau en cas d'orage et son évaporation rafraîchit la cave. A l'ouverture du chantier de ma cave à vins, j'ai posé les blocs de pierre sur une arase de bétons avec un calage en sable. Je m'efforce toujours de faire preuve de bons sens, ce qui ne veut pas dire que je ne dois pas réfléchir. Au contraire! J'ai pensé à ce projet des années durant. Cette pierre résulte de la compression de coquillages qui restent en partie visibles. J'utilise les poubelles du tertiaire. C'est une démarche très écologique. » <sup>(1)</sup>*

(1) - Gilles Perraudin  
- Architecture  
Durable p 114



◀ 10 - Vue de la carrière de pierre de Vers (près de Remoulins)  
Ces pierres sont destinées à la fabrication d'éléments décoratifs pour cheminées



Régulation thermique

▲ 11 - Pose des blocs de pierre à la grue

◀ 12 - Vue intérieur du bâtiment.

# 1 De la matière au matériau



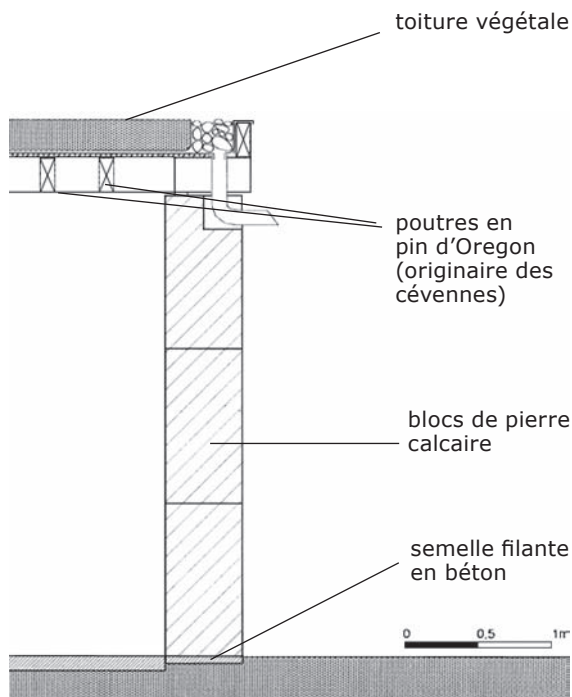
## Pose des blocs de pierre



## La mise en oeuvre sur le chantier

Les blocs de pierre de formats 2,30 x 1,05 x 0,52 mètres sont transportés depuis la carrière jusqu'au chantier par camion. Le chantier est à une heure de la carrière. Il faut organiser les rotations des camions chargés des blocs. Usiné le moins possible pour rester concurrentiel, le format des blocs est choisi de manière à ce qu'il ne soient pas trop lourds pour être transportables et manipulables.

Sur place, les blocs sont placés à l'aide d'une grue mobile sur roue sur une semelle béton. Portés par un système de pinces, les blocs sont posés pratiquement à joint sec. Un lit de chaux et de sable sert au calage des blocs.



► 14 - Le blocs de pierre utilisés pour ce bâtiment, contrairement aux projets de Perraudin, ne sont pas de formats uniformes.



## Un bâtiment d'activité en pierre à La Fouillouse (42)

Reprenant le concept de Gilles Perraudin, les pierres ont été transportées depuis le Var jusqu'à une zone d'activité située au bord de l'autoroute dans la banlieue stéphanoise.

Le bâtiment d'activité abrite un négoce de vins. En utilisant des matières brutes comme la pierre calcaire du Var, d'une dalle béton ciré, de sections courantes de bois pour les poutres des charpentes, d'éléments préfabriqués de l'industrie pour les menuiseries bois, de planches de coffrage non rabotées pour la décoration intérieure, cela permet de rester dans des prix concurrentiels par rapport à ce type de bâtiments en apportant qualité et confort thermique indispensables au vin sans système de climatisation importante.

◀ 15 - Coupe des murs du chai de Vauvert

### Chai des Gallines

**Architecte :** Gilles Perraudin

**Architecte associé :** Françoise Jourda

**Lieu :** Vauvert, France

**Année de réalisation :** 1999.

### Négoce en vin

**Architecte :** Guillaume Genevrier  
Cabinet Busquet-Genevrier

**Lieu :** La Fouillouse (42), France

**Année de réalisation :** 2003.

## Construire avec la matière

L'utilisation des matières renouvelables, ou réversibles, nous font recourir bien souvent à des ressources naturelles utilisées dans les techniques traditionnelles de construction. Souvent cohérentes avec les données du territoire, elles ne le sont plus avec le contexte social et économique. Durant les cinquantes dernières années la standardisation/industrialisation du bâtiment et le recours au tout « énergie » a non seulement empêché l'évolution de ces techniques de construction vers des mises en oeuvre contemporaine et concurrentielle, mais a aussi laissé disparaître de nombreux savoir-faire.

Martin Rauch, ingénieur artiste-artisan, autrichien fait partie des pionniers du renouveau du pisé en Europe. Au cours des quinze dernières années, il a réalisé de nombreux projets utilisant cette technique de mise en oeuvre de la terre crue. Cet entrepreneur a ouvert un atelier dans la région du Voralberg. Selon les commandes, il emploie de trois à sept personnes.

Dans les projets au quels participe Marin Rauch, la terre crue n'est plus seulement un matériau pour écologiste en mal d'alternatives. Il propose aux architectes un matériau qui dispose de toutes les qualités spécifiques de la terre : qualités plastiques, régulation thermique grâce à sa masse, régulation hygrométrique des microclimats intérieurs... Pour chaque projet, il propose une solution économique en adaptant la mise en oeuvre du pisé au chantier :

- **construction sur site** à l'aide de piseoirs pneumatiques de mur en pisé comme pour le projet de chapelle funéraire à Batschuns, dessiné par l'équipe d'architectes Marte/Marte. Pour la réalisation du mur d'enceinte et de la chapelle du cimetière de ce petit village Autrichien, Martin Rauch a su valoriser les heures de bénévolat des habitants de la commune, environ 400 heures de travail, ce qui représente une économie non négligeable à l'échelle de ce projet.

- **production en série** de systèmes de poêle hypocauste pouvant être associé à des systèmes solaires passifs pour des maisons à basse consommation.

- **préfabrication** d'éléments spécifiques en pisé. En associant à des systèmes de chauffage ou de rafraîchissement le pisé, Martin Rauch a élaboré des systèmes innovants de murs hypocaustes en utilisant la masse et le comportement thermique de la terre pour répartir chaleur et fraîcheur dans le bâtiment. Dans le projet de bâtiment d'activité pour une imprimerie, Martin Rauch a développé des murs en pisé complexes, pour l'architecte Herbert Ablinger de l'agence Vedral and Partners. A partir d'une matière brute, il fabrique un objet technique qui remplit plusieurs fonctions. Le pisé sous la forme de blocs préfabriqués est couplé avec un puits canadien. Dans ce bâtiment en ossature bois, avec une présence importante de vitrage, la terre apporte de l'inertie thermique au bâtiment. Un esthétisme fort permet une architecture aux formes simples sans redondance.

(1) - TVA : Taxes sur la Valeur Ajouté

Pour répondre aux exigences économiques du projet la construction en pisé a dû s'adapter aux contraintes du chantier. Le temps de chantier très réduit et la complexité des blocs ne permettaient pas d'envisager la fabrication du pisé sur place. Ces contraintes ont donc orienté le travail de la terre en atelier. Le montage des éléments en pisé s'est fait conjointement avec le montage de l'ossature bois.

Chaque chantier présente sa part de recherche et d'expérimentation. Lors du projet de la chapelle de la Réconciliation, sur l'emplacement de l'ancien mur de Berlin, la construction sur site du pisé a été l'occasion de mesurer avec des techniciens et universitaires les caractéristiques statique et thermique de ce matériau (voir annexe n°4).

Dans le travail de Martin Rauch, souvent, c'est d'abord le travail de plasticien qui est retenu. En Autriche, il existe une taxation favorable à l'investissement dans l'art, en quelque sorte une TVA (1) à 1% pour l'art: elle lui permet de diminuer le coût de l'oeuvre. Toute la démarche de travail de Martin Rauch repose sur la valorisation de son savoir-faire.

En Allemagne, où l'utilisation de produit en terre commercialisé est beaucoup plus courante, la terre crue a su s'adapter en proposant des systèmes de montage à sec de murs masse en s'associant avec des structures bois. Comme pour la construction en bois, l'avènement de la filière terre crue passe par la préfabrication ou la proposition de produits innovants.

## Le pisé préfabriqué Martin RAUCH, ingénieur, artiste, artisan piseur



### Les murs hypocaustes Régulation thermique

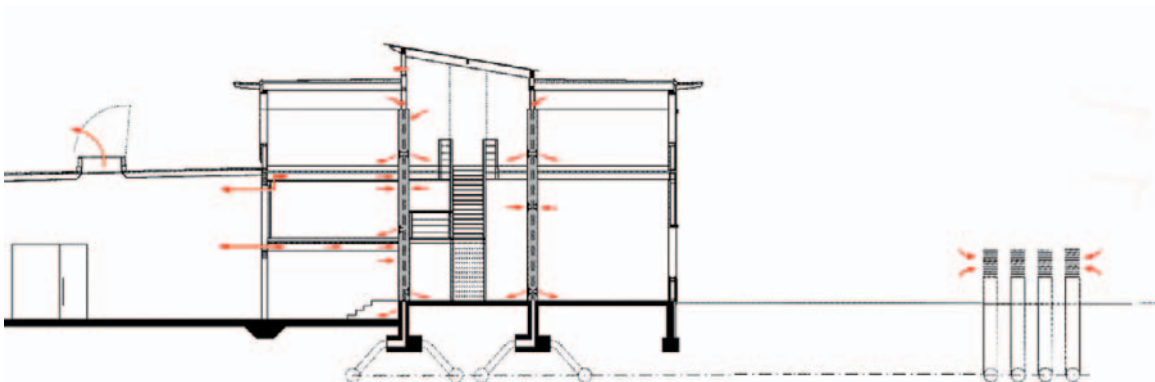
▲ 16 - Vue intérieur du bâtiment et des sorties d'air à travers les murs en pisé.

### Bois, verre et terre crue



▲ 17 - Vue intérieur du bâtiment.

◀ 18 - Coupe est-ouest sur le bâtiment - Ech. 1/300° - La circulation d'air depuis les puits canadien s'effectue à travers les murs en pisé pour permettre une meilleure régulation thermique.



### Un bâtiment d'activité

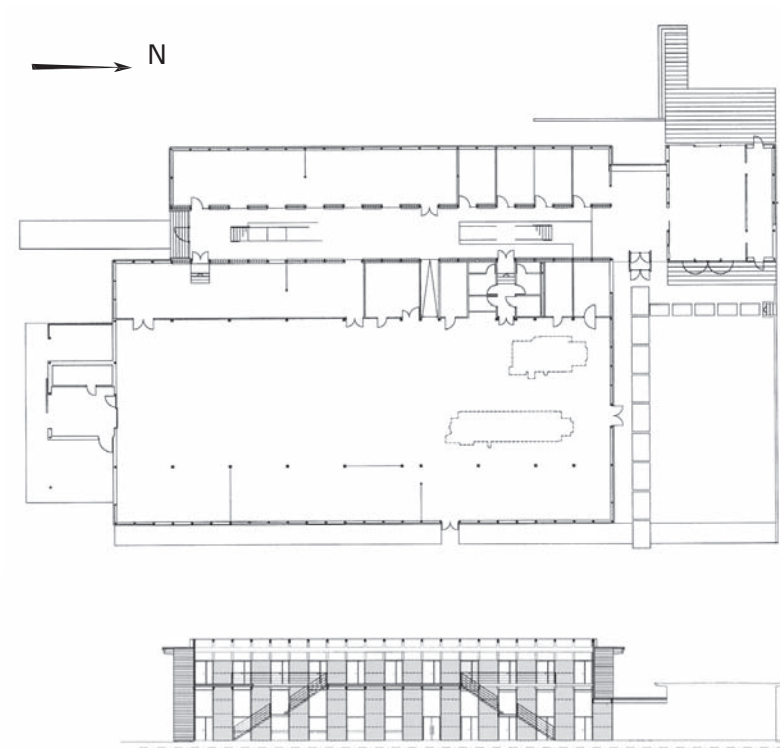
Ce bâtiment d'activité pour une imprimerie, en ossature bois, est composé d'un corps de bâtiment sur deux étages renfermant les bureaux et d'une halle de dimension importante pour les machines. Les bureaux sont distribués par un espace central éclairé zénithalement par une toiture vitrée.

**Dans cette espace centrale la structure en bois est combinée avec 160 blocs de pisé préfabriqué.**

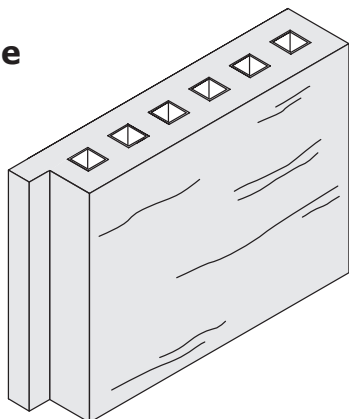
Dans ce projet les matériaux bois, verre et terre crue ont été utilisés pour leur complémentarité : le bois et le verre pour leur mise en œuvre simple et leur flexibilité alors que les murs en terre, qui servent d'accumulateur thermique, apportent la masse manquante à l'édifice.

Ces blocs de 40 cm d'épaisseur sont des murs hypocaustes. Des réservations ont été réalisées à l'intérieur des blocs sous la forme de passages verticaux qui permettent la circulation de l'air. Ils sont combinés à un système de puits canadiens qui permet le rafraîchissement de l'air en été sans courant d'air et son préchauffage en hiver. Les blocs en terre garantissent ainsi un climat intérieur thermique idéal sans radiateurs conventionnelles ni système d'air conditionné.

**La terre crue utilisée comme un matériau contemporain dans son esthétique, dans sa mise en œuvre et dans ses potentialités thermiques devient un matériau pour une architecture concurrentielle.**



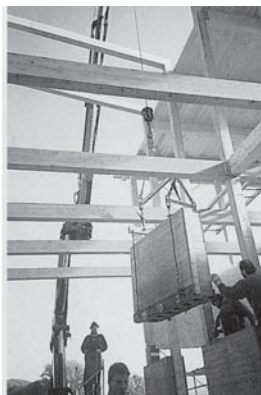
## Ecologie et technologie



▲ 19 - Plan de l'imprimerie.

▲ 20 - Coupe sur l'espace centrale.

◀ 21 - Schéma d'un bloc de pisé de dimension : 1,7 m x 1,3 m x 40 cm d'épaisseur.



## Préfabrication

▲ 22 - assemblage et pose de blocs de pisé sur le lieu du chantier.



◀ 23 - après le montage des différents éléments de la terre est projetée sur les joints de manière à donner l'impression de murs monoblocs.

## Le pisé préfabriqué

Les blocs de pisé de formats 1,7 x 1,3 x 0,4 mètres ont été réalisés en atelier puis transporter jusqu'au chantier par camion. La réalisation de ces éléments a demandé 3 mois de travail et 208 tonnes de terre.

Le montage des éléments c'est lui réalisé en seulement deux semaines en parallèle du montage de l'ossature bois. Pour placer les blocs des engins de levage (type grue) ont été nécessaires.

## Martin RAUCH

Martin Rauch fait parti des pionner du renouveau du pisé en Europe. Cette artiste autrichien a suivie un parcours originale qui la mené jusqu'à la construction en terre crue. Il a une formation de céramiste et de sculpteur. Ces connaissances de l'argile et de la terre crue associé à la capacité de création de l'artiste lui ont permis de choisir et développer ces propres instruments. Cet artisan a su a chaque projet à travers des prototypes et des phases exploratoires de réinveter la potentialité du matériau.

### Imprimerie GUGLER

**Architecte :** Vedral & Partener, Herbert Ablinger.

**Entreprise terre :** Martin Rauch, Lhem Ton Erde Baukunst GmbH.

**Lieu :** Pielach, Autriche.

**Année de réalisation :** 1999.



## Emergence d'une architecture vernaculaire contemporaine : le cas du Vorarlberg

« le maintien d'une tradition exige la transmission de la flamme et non pas la conservation des cendres. La première et la deuxième générations de l'école du Vorarlberg ont ranimé la culture régionale en s'opposant radicalement au « traditionalisme » petit-bourgeois et au néo-régionalisme. Ils ont alors étudié des principes d'optimisation des ressources et d'économie des matériaux qui puissent apporter de vraies réponses aux besoins et aux moyens de leurs clients. Cette économie tendue vers la simplicité constructive a su produire une architecture d'une grande générosité fonctionnelle et spirituelle. Avec le temps, l'opinion publique a compris que cette modernité radicale renouait avec la richesse du patrimoine architecturale de la région »<sup>(1)</sup>

Le Vorarlberg est le plus petit Land Autrichien avec une superficie de 2600 km<sup>2</sup>. Il est enclavé à la pointe occidentale du pays, bordé par l'Allemagne et la Suisse. Dans les années soixante, sur ce territoire, émerge le mouvement des Baukünstler. Les architectes de ce mouvement prennent comme modèle l'architecture moderne : plan ouvert, forme simple, production rationalisée,... « si la tradition des constructeurs en bois ne sert pas directement de référence, les bâtisseurs renouent toutefois avec la culture de la charpente, ce qui leur permet de réaliser les modèles décrits avec ce type d'ossature en bois non traditionnel »

Dominique Gauzin-Müller<sup>(2)</sup> présente les architectes du Baukünstler comme:

(1) - Une provocation constructive p 83  
Bruno Spagolla

(2) - Une provocation constructive p 74  
Bruno Spagolla

(3) - Architecte et journaliste française vivant en Allemagne depuis de nombreuses années; à travers ses différents livres et articles, elle est un relais des expériences du nord de l'Europe en terme d'architecture écologique et de construction en bois.

(4) - D'architecture n°130 p 8

«Soucieux des économies de matière et d'énergie, leur approche est une synthèse de ce qui est esthétiquement souhaitable, constructivement raisonnable, et socialement justifiable.»<sup>(3)</sup>

Soutenue par l'industrie du bois du Vorarlberg, l'exposition «une provocation constructive : architecture contemporaine au Vorarlberg», a circulée en France durant l'année 2004 et a fait connaître au grand public l'architecture du Vorarlberg. A travers les nombreuses rencontres organisées à cette occasion, nous avons pu voir que le mouvement des Baukünstler s'est bâti sur un réseau d'acteurs locaux. L'architecture, mise en avant dans cette exposition, repose sur des architectes aux convictions écologiques fortes en terme d'économie d'énergie et d'utilisation de matériaux sains et naturels, ainsi que sur des entrepreneurs du bois soucieux de valoriser leur savoir-faire et ouverts à l'innovation. Elle témoigne, tant au niveau du domaine de la construction que de l'urbanisme, de la capacité des acteurs à créer un partenariat favorisant l'échange entre maîtres d'oeuvre, maîtrises d'ouvrage publiques et privés et entrepreneurs. Leur collaboration a permis de développer des projets conformes au modèle contemporain de la société, efficaces économiquement et allant dans le sens d'une architecture écologique.

Les entrepreneurs du bois ont profités de ce dynamisme pour initier une politique de «lobbying», en créant toutes sortes de manifestations autour de leurs savoir-faire. Ils ont ainsi sensibilisés le public,

mais aussi les autres professionnels du bâtiment. Cette politique a été convaincante.

### L'avenir de l'architecture en bois passe par la préfabrication !

Le bois est une des principales ressources du Vorarlberg. Il existe donc de nombreuses raisons sociales, politiques et économiques d'intensifier l'emploi de ce matériau renouvelable dans le bâtiment et les ouvrages de génie civil. Mais l'approche économique des Baukünstler ne se réduit pas à l'emploi de bois massif. Elle s'appuie sur la diversification des produits issus de la transformation de l'arbre et sur «l'avènement» des matériaux composites.

Les entrepreneurs du bois proposent une alternative aux architectes : la préfabrication en atelier. Elle permet de se libérer de la standardisation tout en atteignant des coûts économiques intéressants. Elle demande une plus grande rigueur dans la conception mais permet de :

- réduire les nuisances dues au chantier,
- améliorer les conditions de travail des ouvriers,
- faciliter la maîtrise des coûts (retard de chantier, intempéries...),
- gérer les déchets de façon plus efficace,
- maîtriser la qualité des composants,
- effectuer la taille des pièces de charpentes sur mesures avec précisions, par l'échange de données informatiques sur les machines de découpe numériques,

- s'adapter aux particularités de chaque situation.

### Les limites du post-industriel

En France, le CNDB (Centre National Du Bois) dans ses formations sur la construction en bois, qualifie la logique de préfabrication sur mesure de « post-industrielle »<sup>(1)</sup>. Il encourage l'utilisation des produits bois normalisés issus de l'industrie du bois comme gage de qualité.

L'industrie du bois du Vorarlberg est décrite comme une échelle intermédiaire : « *entre artisanat et production industrielle, entre tradition et innovation* »<sup>(2)</sup>. Elle propose de nombreux produits composites dérivés du bois. Fabriqués selon des procédés industriels, ils permettent d'optimiser les performances de la matière grâce à son homogénéisation. Ces produits, mécaniquement très résistants, sont disponibles en grandes dimensions, ils apportent des possibilités adaptées aux contraintes techniques et budgétaires actuelles.

Pour le projet d'immeuble de logements à Dornbirn, construit en 1997, l'architecte, le bureau d'étude bois et l'entreprise ont développées conjointement un système constructif innovant de manière à optimiser au mieux la matière et le temps de travail : le système standardisé K-Multibox. En 2001, la Volgewi, l'office de logements sociaux du Vorarlberg, fait appel à la même équipe d'architectes et de bureau d'études bois pour la construction de vingt-quatre logements à Wolfurt. Le

(1) - CNDB,  
Module 2 p :19

(2)- D'architecture  
n° 130 p : 16

même procédé constructif y est alors utilisé.

L'investissement dans des outils de production ainsi que la normalisation et la protection industrielle de leurs produits bois innovants, ne peut que s'accompagner d'une politique d'expansion de l'industrie du bois vers de nouveaux marchés.

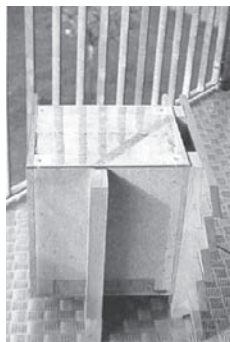
## Immeuble de logements à Dornbirn, Autriche Hermann Kaufmann, architecte



### Une construction rationalisée

L'immeuble de treize logements à Dornbirn est une synthèse de l'approche constructive du Baûnkstler. Expérimental par son système constructif et son concept énergétique, il est un pas concret vers la réalisation d'un habitat «écologique industrialisé». Cet immeuble de trois niveaux combine une optimisation de l'enveloppe et une technologie de préfabrication réduisant la durée du chantier à quatre mois et demi.

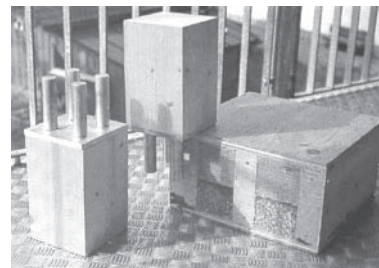
Sur un sous-sol en béton, la structure poteaux-poutres en bois est basée sur un système standardisé développé avec l'entreprise de charpente. Les éléments de plancher et de toiture préfabriqués reposent sur des poteaux disposés selon une trame de 2,40 mètres. Ces poteaux sont assemblés par emboîtement au moyen de pièces métalliques spécialement dessinées pour ce projet. L'enveloppe est constituée de six types de panneaux muraux : un élément plein, un élément d'angle, un élément avec porte, un élément avec fenêtre et deux éléments avec porte-fenêtre.



### Systèmes constructifs développée autour du projet

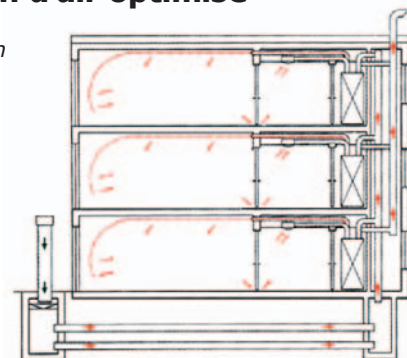
◀ 24 - Vue générale sur le bâtiment.

◀ 25 - Eléments standardisés du système K-Multibox développée conjointement par les différents acteurs du projet



### Une circulation d'air optimisée

▶ 26 - La circulation d'air régulée depuis l'extérieur vers les logements permet de réduire la consommation d'énergie



### Des logements «passifs»

Les logements de cet immeuble ne disposent pas d'installation de chauffage classique grâce à sa forme compacte, une enveloppe isolée par 35 cm de laine de roche et des menuiseries étanches du triple vitrages. Un puits canadien permet de réchauffé naturellement d'environ 8°C en hiver et refroidi d'autant en été l'air neuf des logements. Lorsque c'est nécessaire il est amené à la température souhaitée par de petites pompes à chaleur individuelles. Une ventilation mécanique à double flux avec récupérateur de chaleur distribue l'air dans les logements. Les deux tiers de l'eau chaude sont chauffés par 33 m<sup>2</sup> de capteurs solaires disposés en toiture.

Malgré la mise en oeuvre d'équipements techniques innovants, ces logements ont un surcoût limité à 5% par rapport aux appartements conventionnels autrichiens. Cet investissement est rentabilisé à moyen terme, car les besoins en énergie de chauffage sont d'environ 8 kWh/m<sup>2</sup> par an, soit seulement 10% de la consommation courante.

**Architecte :** Hermann Kaufmann, Autriche

**Maîtrise d'ouvrage :** Anton Kaufmann

**Bureau d'études :** Merz + Kaufmann

**Entreprise bois :** Kaufmann Holzbauwerk

**Lieu :** Dornbirn, Autriche

**Réalisation :** 1997

**Prix :** 1285 € TTC/m<sup>2</sup>

## **2 - Expériences autour d'une démarche constructive**

### Première construction durable : un pavillon en terre crue

#### L'Écocentre du Périgord

Depuis l'an 2000, l'association Pégase-CREEE (Construction Respectueuse de l'Environnement et Économique en Énergie), est à l'origine d'actions visant à promouvoir l'écoconstruction auprès du public de sa région.

En organisant l'Écocentre du Périgord, Pégase-CREEE présente de façon pédagogique, un lieu permettant de montrer en vraie grandeur des techniques écologiques simples et contemporaines, portant sur : le bâtiment, l'énergie, l'eau et le paysage. Situé à mi chemin entre Périgueux et Limoges, sur une parcelle d'environ 1,9 ha, l'Écocentre du Périgord regroupe la construction de 5 pavillons ou « modules » de 15 à 25 m<sup>2</sup>. Chaque module présente différents procédés d'écoconstruction (construction en bottes de paille, brique cuite, terre crue, chaux chanvre, ossature bois) et de production d'énergie (énergie éolienne, solaire photovoltaïque, solaire thermique, bio-gaz, bois-énergie) sur un mode accessible à la fois aux professionnels (appareillage de mesure des performances) et au grand public. La construction des modules a été le support d'une formation à l'écoconstruction de 6 mois pour une dizaine de stagiaires.

*« L'objectif principal est à la fois économique et écologique. La banalisation et la socialisation des techniques de l'écoconstruction ne peuvent qu'amener les consommateurs à réorienter leurs choix vers les matériaux et les procédés naturels, c'est à dire à revenir (par choix raisonné) vers des productions locales (le châtaignier, les bois de scierie, la chaux naturelle, les terres cuites traditionnelles, ...) et donc vers les entreprises locales et le tissu artisanal de la région. Le volet formation joue ici un rôle essentiel au plan économique : qualification des acteurs (hommes et femmes), développement d'un marché local des éco-produits, en grande partie fondé sur les productions émergentes (par exemple le chanvre en Dordogne).*

*Le deuxième objectif est de permettre aux habitants du Périgord, et plus particulièrement aux enfants, d'accéder par la pratique aux connaissances qui leur permettront d'avoir une attitude responsable dans leur relation aux problèmes d'environnement (déchets, gaspillage, effet de serre,...). »(1)*

#### Le pavillon terre crue

Nous avons rencontré l'équipe de l'Écocentre du Périgord, dans le cadre d'une demande de formation à l'entreprise Akterre. Le projet initial proposé par



▲ 27 - Le pavillon terre crue.  
- nov. 2003 -

#### Pavillon terre crue

**Architectes :** Julien Chabanne  
Juliane Court  
**Maîtrise d'ouvrage :** Ecocentre du Périgord  
**Entreprise :** Ecocentre du Périgord  
**Lieu :** St Pierre de Frugie (24450)  
**Date de réalisation :** automne 2003

(1) - [www.ecocentre.org](http://www.ecocentre.org)

l'équipe de l'écocentre pour le pavillon présentant la terre crue et le solaire thermique était une construction en briques de terre comprimées (BTC) liée à une installation domestique solaire thermique de 5 m<sup>2</sup>. Les murs maçonnés étaient surmontés d'une voûte occitane recouverte d'une toiture végétale. Il devait permettre le déroulement de deux stages de formation : un sur la fabrication de BTC et la maçonnerie et un second sur la mise en oeuvre de voûtes occitanes. Il devait aussi présenté au public le principe d'une installation solaire thermique.

### Une conception transversale

L'enjeu de ce projet était non seulement la présentation du matériau terre crue par l'intermédiaire des visites du site, mais aussi la formation d'artisans sensibilisés à des techniques de construction alternatives. Il nous semblait essentiel d'intégrer le caractère reproductible de ce projet, afin de remplir ces objectifs.

Les moyens matériels disponibles étaient ceux des artisans déjà impliqués dans le projet de l'écocentre et les moyens humains se résumaient aux stagiaires et aux formateurs.

Nous avons donc opté pour une refonte du projet afin de tirer le meilleur parti de la situation :

- orientation et conception bioclimatique,
- disponibilité du matériau,
- qualité constructive de la terre locale,
- savoir-faire des artisans mobilisés autour du projet de l'Écocentre,

- intérêt pédagogique du projet et des formations.

Finalement, la construction de ce pavillon aura été le théâtre de multiples formations : fabrication et maçonnerie en BTC, montage d'une ossature bois et d'une charpente courbe, remplissages en terre et plaquettes de bois, toiture végétalisée, sol en terre battue, enduits intérieurs en terre crue.

### Conception bio-climatique et stabilité structurelle

Le projet s'appuie sur une conception des murs différenciée selon leur orientation afin de profiter au maximum des apports solaires tout en limitant les surchauffes l'été et les déperditions l'hiver :

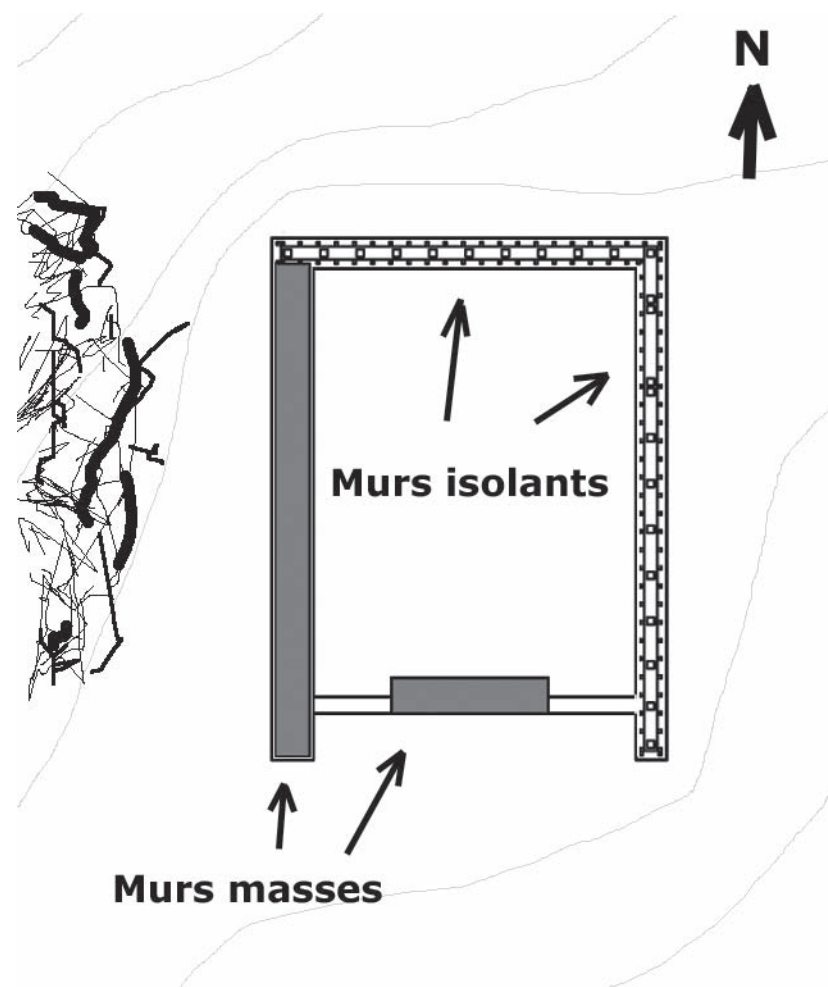
- **au sud et à l'ouest**, nous avons opté pour des murs massifs permettant une bonne inertie thermique et jouant un rôle de capteur passif d'énergie solaire.

- **au nord et à l'est**, les murs sont en ossature bois pour remplissage léger en vrac afin d'obtenir une bonne capacité d'isolation.

- **au nord**, l'isolation est renforcée par une couche de panneaux de roseaux de 5 cm d'épaisseur.

Du point de vue structurel, les murs massifs servent de contreventement aux murs en ossature bois. La toiture repose sur les murs est et ouest, le franchissement se fait directement par des poutres et c'est la courbure de la toiture qui rassemble les eaux de pluie.

▼ 28 - Conception bioclimatique



### Les principaux matériaux du projet

Essentiellement de la terre crue et du bois :

- La terre crue vient du site (une terre argileuse et sableuse). Elle est utilisée pour la barbotine du remplissage, les BTC, les enduits intérieurs et le sol en terre battue.
- De la terre végétale sert de régulateur thermique sur la toiture.
- Le bois utilisé pour l'ossature est du douglas, qui est originaire de la région de Bordeaux. Le charpentier-scieur qui a fabriqué l'ossature, a son entreprise dans cette région.
- Deux épaisseurs de panneaux de fibres de bois orientées de 8 mm contreventent la toiture.
- Les plaquettes de bois sont les déchets d'un paysagiste voisin, qui élaguait des platanes au moment des remplissages.
- La chaux est utilisée principalement pour les fondations en béton cyclopéen mélangé à la pierre du site et pour les enduits extérieurs mélangés à un sable de pays.
- De la laine de mouton en rouleaux isolera la sous-face de la toiture.

### Les briques de terre compressée

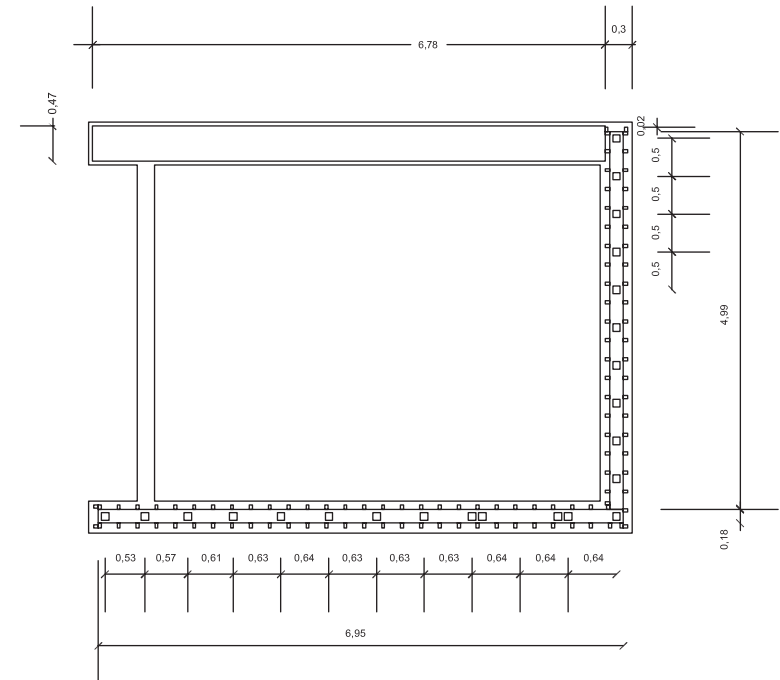


► 29 - Préparation et mise en œuvre des briques de terre compressée non stabilisée.

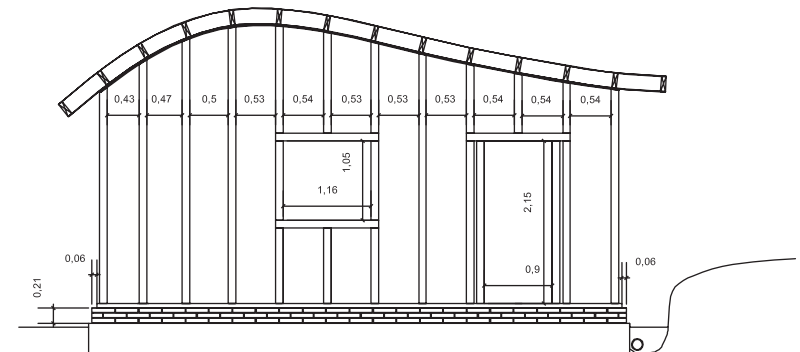
- Septembre 2003 -



► 30 - Plan de l'ossature principale  
- Ech. 1/100° -



► 31 - Elévation Est de l'ossature principale.  
- Ech. 1/100° -



## Le système d'ossature

Le principe d'ossature bois pour remplissage utilisé dans ce projet est une évolution contemporaine du torchis. Le livre de Franz Volhard, «Leichtlehm-bau», présente les différentes possibilités de mise en oeuvre des remplissages en terre-paille ainsi que différents types d'ossature pour ce type de remplissage. On peut voir dans ce livre la présentation du terre-plaquette comme une évolution des remplissages en terre-paille. Il présente l'avantage d'avoir un retrait beaucoup moins important au séchage.

Ce système constructif fonctionne avec une ossature porteuse différenciée de l'ossature secondaire qui supporte le coffrage perdu en cannisses.

L'ossature que nous avons utilisée ici est celle qui est préconisée par Claytec, producteur de matériaux en terre crue Allemand.



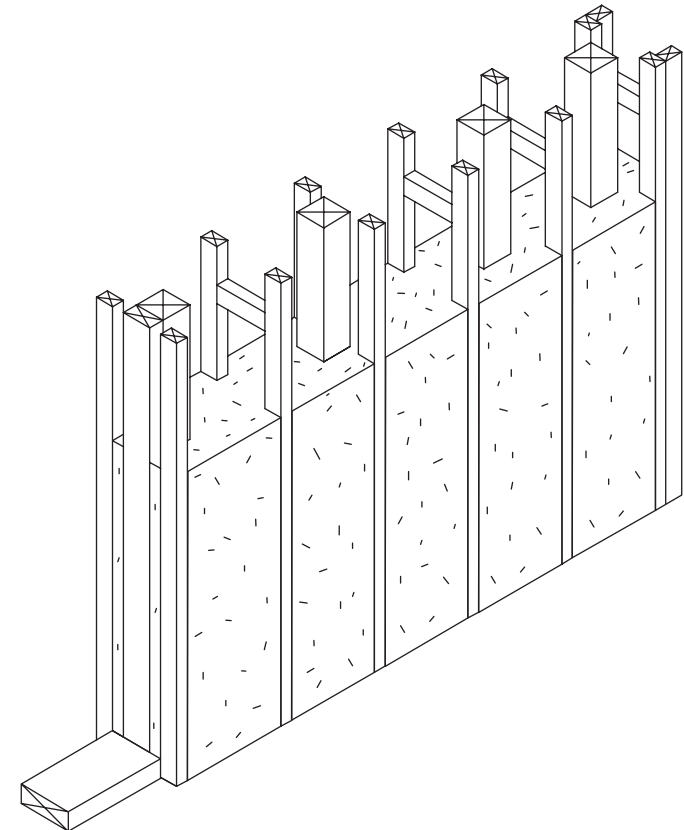
**Montage de l'ossature primaire**

◀ 32 - Montage de l'ossature primaire  
- Octobre 2003 -

## Le système d'ossature est constituée

- d'une ossature porteuse composée de poteaux 10cm x 10 cm espacés de 60 cm fixés entre une lisse basse et haute en 18 x 6 cm.
- d'une ossature secondaire en liteaux 4 x 6 cm vissés sur les lisses.
- de lisses et sablières en 18 x 6 cm.

▶ 33 - Axonométrie du type d'ossature utilisée pour le projet du pavillon.  
- Ech. 1/50° -





### La préparation du remplissage

Les formations devant orienter les stagiaires vers une pratique d'assistance à l'auto-construction, le remplissage a été réalisé à partir de matières hyper-locales :

- la terre a été excavée à moins de 400 mètres du chantier. Nous avons déjà observé la présence de torchis aux alentours et la terre s'est révélée être tout à fait adaptée comme prévu.

- les plaquettes bois provenaient d'un chantier d'élagage situé à 10 ou 15 kilomètres. Elles étaient livrées en fin de journée par un des employés. Il passait près de là tous les soirs en rentrant chez lui et cette livraison lui évitait de payer la dépose en déchetterie de son chargement.

La préparation du mélange nécessite deux opérations : faire la barbotine d'argile en noyant la terre dans de l'eau, puis la mélanger aux plaquettes. La barbotine

doit être épaisse, un peu comme de la « pâte à crêpes ». Le mélange de terre et plaquettes doit être homogène, il ne faut pas que l'on voit de plaquettes propres.

#### - extraction de la terre : 1 j/h

Location d'une pelleteuse avec son chauffeur 1/2 journée pour une dizaine de mètres cubes.

Avec ce type d'outillage, il faut compter la machine au même titre que le travailleur, cela représente donc une journée/homme.

#### - préparation du mélange : 20 j/h

Une personne prépare la barbotine pour 2 à 3 personnes qui mélangent les plaquettes avec la colle.

Pour ce projet il a fallu une vingtaine de journées/hommes pour venir à bout des 12 m<sup>3</sup> de plaquettes et des 6 m<sup>3</sup> de terre.

**TOTAL : 1,75 j/h par m<sup>3</sup>**  
(21 j/h pour 12 m<sup>3</sup>)

### La préparation du remplissage



◀ 34 - Préparation manuelle du mélange terre et plaquettes bois.  
- Nov. 2003 -



**Installation du coffrage perdu**

► 35 - Mise en place du canisse toute hauteur à l'extérieur sur l'ossature secondaire.  
- Nov. 2003 -

### La mise en œuvre

Au début de la semaine de formation seul l'ossature primaire était en place. Il a fallu installer l'ossature secondaire, qui est composée d'échelles. C'est à ce moment que ce décide la position et la taille exacte des ouvertures. Il faut ensuite agraffer les cannisses sur les faces les moins accessibles afin de pouvoir remplir les murs à partir des côtés les plus pratiques. Au fût et à mesure que le mur est rempli il faut dérouler et agraffer le canisse situé du côté où l'on remplit par tranches de 50 cm. Malgré le soin apporté lors de la conception, quelques portions de mur restent difficilement accessible au remplissage.

Une fois celui-ci fini il faudra attendre son séchage complet avant d'appliquer les revêtements intérieurs et extérieurs.

## Conclusion/Bilan

La participation à une opération de cette nature est très enrichissante, tant pour les personnes que nous avons pu rencontrer, que pour la démarche transversale de la conception. En juillet 2004 les stagiaires ont été diplômés et l'Ecocentre s'est ouvert au public.

### La limite des techniques d'auto-construction

Les techniques qui ont été mises en œuvre au cours des stages de formation étaient presque toutes des techniques utilisées en auto-construction. Elles ont l'avantage d'utiliser des matériaux locaux, mais elles ont souvent l'inconvénient de nécessiter beaucoup de main d'œuvre. Afin d'élargir le champs d'application de ces techniques à un marché plus conventionnel, il faut rationaliser le temps de mise en œuvre.

### La limite des ressources locales

Selon le territoire du projet, certains matériaux peuvent être disponibles localement : terre, paille, chanvre, pierre, bois, chaux. Mais localement ne veut pas forcément dire gratuitement et souvent la transformation de la matière en matériau peut s'avérer fastidieuse et chronophage.

La disponibilité est aussi un critère de choix important. Pour le projet en bottes de paille, la ressource locale n'était pas disponible au moment de la construction. La canicule de l'été 2004 avait créé une pénurie dans la région. Il a donc fallu importer la paille d'un autre département et le transport s'est révélé assez coûteux en comparaison au matériau lui-même.

### Bilan économique

N'ayant pas participé à la partie BTC et ossature bois de ce chantier, nous n'en n'avons pas les données économiques. En revanche, il nous est possible d'estimer un coût en journées/homme de la partie remplissage :

- coût de la terre : 1 j/h
- coût des plaquettes : offertes
- coût de la préparation du mélange : 20 j/h
- coût de la mise en œuvre : 12 j/h

Pour 12 m<sup>3</sup> préparés et mis en œuvre il faut compter 33 j/h avec une terre qui ne nécessite pas de tamisage, soit 2,75 j/h par mètre cube. Ce qui représente 0,91 j/h par mètre carré de mur isolant brut. Si l'on considère qu'une journée correspond actuellement à environ 150€ pour un ouvrier du bâtiment, un mètre carré de mur revient à environ 140€ hors ossature et finitions.

### Mise en œuvre du mélange



► 36 -Le mélange est vidé avec des seaux dans le coffrage en cannisse par hauteur de 50 cm. - Nov. 2003 -



- **pose de l'ossature secondaire** : 6 j/h  
Il a fallu deux jours à deux personnes pour poser l'ossature secondaire et les ouvertures. Une journée à deux a suffi pour installer le coffrage perdu en cannisses.

- **remplissage des murs** : 6 j/h  
Le remplissage des murs a nécessité deux jours de travail à trois personnes. Dès qu'il faut être en hauteur, la personne qui est sur l'échaffaudage ne doit pas avoir à monter et descendre trop souvent, c'est fatigant et cela augmente le risque d'accident.

**TOTAL : 1 j/h par m<sup>3</sup>**  
(12 j/h pour 12 m<sup>3</sup>)

## Expérimentation d'une ossature bois performante pour remplissage terre.

### Cadre de l'expérimentation

#### L'exposition grains d'Isère

Dans le cadre de l'exposition grains d'Isère en mai 2004, nous avons proposé une expérimentation d'ossature bois pour remplissage terre. Cette exposition, organisée par le Craterre (Centre international de la construction en terre) et l'École d'Architecture de Grenoble, se déroule chaque année depuis trois ans aux Grands Ateliers de L'Isle d'Abeau<sup>(1)</sup>, en partenariat avec le Contrat global de développement Isère Porte des Alpes.

Ce Contrat Global du nord Isère a affiché la valorisation du patrimoine en pisé dans ces actions (voir annexe 5). Ce patrimoine représente 75% de l'habitat traditionnel du département. Le « domaine de la terre » à L'Isle d'Abeau fait partie du territoire de ce regroupement de communes, c'est « Une démonstration exemplaire de la modernité du pisé réalisée au début des années 1980. Ce projet pilote, fer

*de lance du renouveau des architectures de terre en France, a été visité par des délégations venant de tous horizons. Il sert encore d'exemple à l'engagement de nouvelles réalisations en Europe et dans le plus vaste monde.»<sup>(2)</sup>*

L'action du contrat global vise à promouvoir la technique de construction et le patrimoine remarquable en pisé auprès du public et des milieux scolaires, à travers des supports de sensibilisation et des rencontres. Elle vise aussi à générer un dynamisme auprès des professionnels du bâtiment, des élus, des maîtres d'œuvre (architectes ou entrepreneurs), en expliquant la restauration du pisé, la pratique d'application des enduits sur le pisé et la construction neuve en pisé. L'enjeu est de faire de ce patrimoine un atout pour le territoire et peut-être susciter un engouement nouveau pour la filière de construction en terre crue.

#### Construction d'un prototype aux Grands Ateliers

► 37 - Le prototype réalisé en juin 2004



(1)- Les Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau un pôle d'enseignement et d'expérimentation de la construction regroupant des écoles d'architecture, des écoles des Beaux-Arts et d'ingénieurs.

(2)- Exposition «Tout autour de la terre».

#### Les partenaires de notre expérimentation (voir annexe 6)

- Ecole d'Architecture de Grenoble
- Laboratoire Craterre
- Les Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau
- Créaboïs Isère
- Scierie Mocellin (38610 St-Vérand)



▲ 38 - Les Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau

◀ 39 - L'exposition Grains d'Isère 2004

## Les moyens

### Qualité, quantité et coût des matériaux

- Planche de coffrage et charpente en sapin  $\approx 2,5 \text{ m}^3$  :  
**387,50 € TTC** soit 323,99 € HT
- Plaquette forestières  $\approx 10 \text{ m}^3$  :  
**119,60 € TTC** soit 100 € HT
- Transport du bois :  
**256,88 € TTC** soit 214,78 € HT
- Terre à piser 0-45mm  $\approx 5 \text{ m}^3 \times 34$  € HT :  
**203,32 € TTC** soit 170 HT
- Transport de la terre (pour 25T $\approx$ 800 € H.T - 1m<sup>3</sup> = 1,2t) :  
**227,24 € TTC** soit 190 € HT
- Visserie :  
**30 € TTC** soit 25,08 € HT
- Cannisse en rouleau :  
**20 € TTC** soit 16,72 € HT

---

**soit coût total de l'expérimentation (hors outillage)**  
**1244,94 € TTC**

---

12 m<sup>2</sup> SHOB soit 103,75 € TTC/m<sup>2</sup> SHOB  
8,16 m<sup>2</sup> SHON soit 152,57 € TTC/m<sup>2</sup> SHON

### Equipement :

#### Locaux et stockage :

Les Grands Ateliers

#### Matériel et outillage :

Les Grands Ateliers

#### Ossature :

- 2 visseuses pneumatiques
- 1 scie circulaire sur support réglable
- petits outillages : marteaux, niveaux, équerrés,...

#### Barbotine :

- 2 tamis : 2mm et 5 mm
- 1 malaxeur à peinture électrique
- 2 récipient de 150 L environ

#### Remplissage :

- 1 malaxeur 500 L
- 1 agrafeuse pneumatique
- 15 seaux
- 2 pelles
- 1 moule à adobe  
(format : 22 x 22 x 8 cm)

### Matière :

#### Fournitures :

- bois d'œuvre : 50% EAG – Grains d'Isère et 50% Scierie Mocellin/Créabois
- plaquettes forestières : EAG – Grains d'Isère
- terre : EAG – Grains d'Isère
- consommables : EAG – Grains d'Isère
- énergie électrique et pneumatique : Les Grands Ateliers



**Scierie Mocellin et Fils**

**SO.FO.DA**

Contamine  
38160 SAINT VERAND

## Objectifs de l'expérimentation

### Objectifs généraux

#### Court terme :

- développer une ossature bois spécifique pour les remplissages en vrac.
- caractériser et optimiser les remplissages en terre-plaquettes.
- déceler les freins à l'utilisation des matériaux du territoire.
- valoriser les ressources et les richesses de notre territoire.

#### Moyen terme :

- dépôt d'une enveloppe Soleau.
- évaluer les avantages et inconvénients.
- améliorer le dispositif.

#### Long terme :

- test en grandeur nature.
- lancement d'une procédure ATEX (voir annexe 7)
- amélioration pour une utilisation courante.

### Objectifs pédagogiques pour les auteurs

- Approfondir nos connaissances sur les ossatures bois pour remplissage.
- Aller à la rencontre des acteurs de la filière bois.
- Expérimenter différentes solutions de remplissage en vrac.

- Appréhender la préfabrication d'éléments.
- Valider nos connaissances sur les principes d'architecture déconstructible.

### Public ciblé

- Visiteurs des expositions « Grains d'Isère » et « Le Bois » des Grands Ateliers de L'Isle d'Abeau.
- Milieu de l'architecture et de l'ingénierie.
- Professionnels du bois.

### Objectifs pédagogiques pour le public ciblé

- Présenter et vulgariser un savoir scientifique.
- Découverte des principes d'ossature bois pour remplissage.
- Comprendre les enjeux de l'utilisation des matériaux locaux et régionaux, dans un objectif de construction bioclimatique durable.

### Concept

- Apporter des connaissances techniques par le biais d'un module à l'échelle 1, pouvant être support de formation.
- Montrer le potentiel des matériaux locaux pour l'architecture bioclimatique et durable.

### Résultat attendu

- Promotion de la construction en bois utilisant des ressources locales.
- Test du potentiel des matériaux locaux pour la construction contemporaine.
- Susciter un intérêt pour la construction en ossature bois pour remplissage.
- Intéresser des professionnels aux techniques de construction post-industrielles (principe de pré-fabrication sur mesure).

Notre première expérience de construction en ossature bois pour remplissage, nous a permis de mettre en avant les points forts et les points faibles de cette technique au niveau de l'ossature et du remplissage.

L'objectif de notre expérimentation est de proposer une ossature bois pour remplissage, qui doit permettre l'utilisation de ressources renouvelables en cohérence avec les données spécifiques liées au territoire :

- rationaliser la mise en œuvre, l'ossature pouvant être potentiellement préfabriquée.
- utiliser la ressource locale en bois de faible section.
- faciliter et optimiser la mise en œuvre des remplissages en vrac
- éviter les traitements du bois par assèchement.

**Le chantier d'expérimentation s'est déroulée sur trois semaines. Il s'est réparti en deux étapes :**

- **construction du prototype d'ossature bois pour remplissage**
- **réalisation d'un remplissage isolant en vrac à base de terre et de plaquettes bois.**

## **La recherche d'opportunités territoriales en ressources naturelles de matériaux de construction.**

La valorisation des ressources et des richesses de notre territoire à l'échelle de la région Rhône-Alpes et plus particulièrement du département de l'Isère faisait partie des objectifs de notre expérimentation.

### **Le bois :**

La région Rhône-Alpes a aussi la volonté de favoriser l'utilisation d'une ressource renouvelable importante : le bois. La recherche d'opportunités pour l'utilisation de ce matériau dans le secteur du bâtiment, nous a amené à rencontrer différents acteurs de la filière bois en Isère : Créabois Isère (interprofessions départementales du bois), des négociants en bois, des scieurs et des exploitations forestières. La plaquette forestière est un matériau disponible sur quasiment partout en France, le coût moyen de cette ressource est actuellement de 15 à 45 € la tonne.

### **La terre :**

La seconde ressource que nous avons mis en avant est la terre. L'expérimentation ayant été réalisée dans le cadre de l'exposition Grains d'Isère, nous avons pu profiter de la terre qui avait été achetée à cette occasion. Cette terre fournie par la société Akterre était de la terre à pisé tamisée à 0-45 mm. Il est possible de trouver cette ressource à l'état brut dans presque toute la plaine entre Grenoble et Lyon.

## Avantages et inconvénients des ossatures pour remplissage

### Ossature préconisée par le CNDB

Actuellement, dans le milieu de la construction en ossature bois, le CNDB préconise l'utilisation d'une ossature standard dite « balloon ». Souvent, ce type d'ossature est isolé par des laines minérales entre les montants et des plaques forment les revêtements intérieurs et extérieurs. Cette technique présente l'avantage d'une construction à sec; facile et rapide elle procure une très bonne isolation. Par contre cette technologie a ses limites en terme d'isolation phonique, de masse thermique et elle nécessite un traitement préventif des bois de structure.

### Avantages :

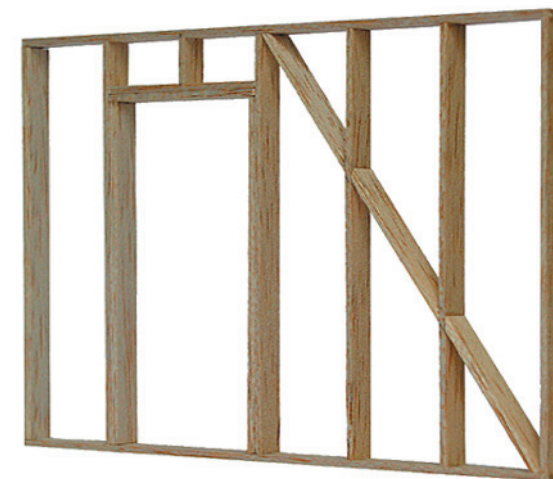
- construction sèche
- construction légère
- isolation thermique
- possibilité de préfabrication
- rapidité de mise en œuvre

### Inconvénients :

- isolation phonique
- manque d'inertie thermique
- traitements du bois
- passage des fluides

### Inconvénient spécifique aux remplissages :

- fissurations du remplissage au droit des éléments verticaux



► 41 - L'ossature préconisée par le CNDB

◀ 42 - Plan schématique de l'ossature préconisée par le CNDB



◀ 40 - Remplissage en béton de chanvre d'une ossature standard

### consommation de bois en m3/ml sur l'ossature préconiser par le CNDB avec un entraxe entre poteau de 60 cm

quantité	qualité	longueur en m	section en mm	section en m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	ml
1	lisse	1	46*147	0,006792	0,007	1,0
2	sablère	1	46*147	0,006792	0,014	2,0
2	poteau	2,5	46*147	0,006792	0,03396	5,0
1	triangulation	2	22*97	0,002134	0,004	2,0
<b>total en m3/ml</b>					<b>0,059</b>	
<b>soit pour 14 ml de mur</b>					<b>0,820</b>	

## Ossature spécifique pour remplissage

Pour le pavillon terre crue de l'Écocentre du Périgord, nous avons testé un premier système d'ossature bois pour remplissage en terre-plaquettes. Ce type d'ossature est préconisé en Allemagne par Claytec, une entreprise de production de matériaux en terre crue prêt à l'emploi.

### Avantages :

- isolation thermique
- inertie thermique
- pas de traitement du bois
- contreventement par bois long possible

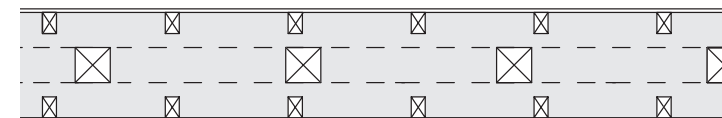
### Inconvénients :

- complexité de mise en œuvre
- temps de mise en œuvre
- des parties peuvent être difficiles à remplir



► 44 - L'ossature spécifique pour remplissage

► 45 - Plan schématique de l'ossature spécifique pour remplissage



◄ 43 - Ossature spécifique pour remplissages avec coffrage perdu en canisse.

### consommation de bois en m3/ml sur l'ossature du projet de pavillon pour l'écocentre du Périgord

quantité	qualité	longueur en m	section en mm	section en m <sup>2</sup>	m3	ml
2	lisse/sablière	1	60*180	0,0108	0,022	2,0
6	poteau	2,5	60*40	0,0024	0,036	15,0
1	triangulation	2	60*40	0,0024	0,005	2,0
3	échelle	0,3	60*40	0,0024	0,002	0,9
2	ossature	2,5	100*100	0,01	0,050	5,0
<b>total en m3/ml</b>					<b>0,115</b>	
<b>soit pour 14 ml de mur</b>					<b>1,604</b>	



## une ossature bois à trame dédoublée décalée

### Avantages généraux

#### - Ponts thermiques :

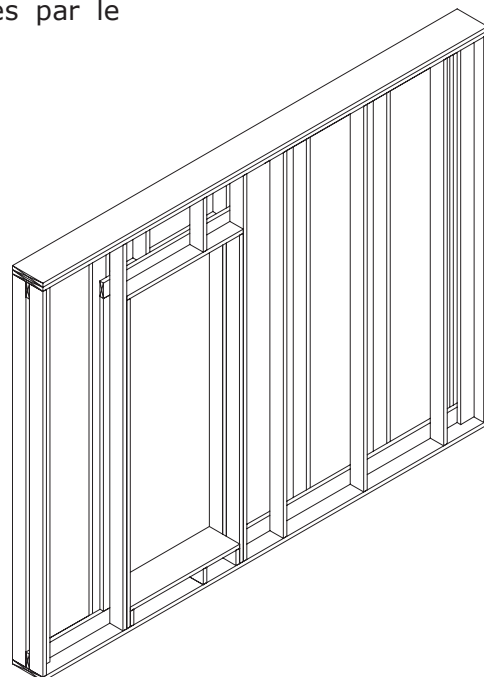
Le dédoublement décalé de l'ossature permet de couper complètement tous les ponts thermiques présents dans les ossatures en bois standard.

#### - Optimisation de l'isolation :

Le décalage des trames permet un croisement optimal des laines et panneaux isolants. Le dédoublement de l'ossature permet une double épaisseur d'isolant.

#### - Qualités acoustique :

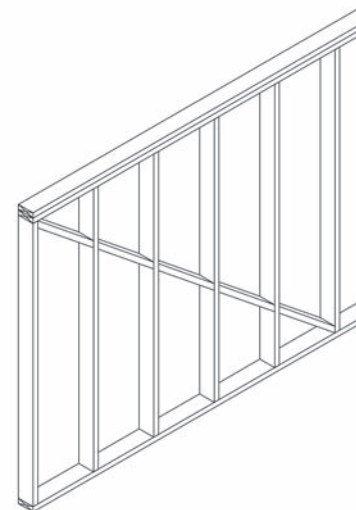
Le dédoublement de l'ossature permet la limitation des ponts acoustiques par le mur.



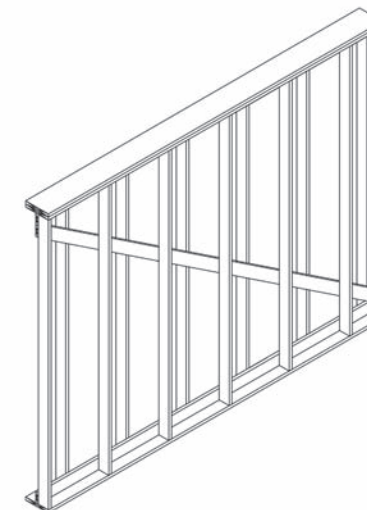
► 46 - Ossature à trame dédoublée décalée  
- Ech. 1/50° -

#### - Contreventements :

Le contreventement par écharpe continue est aisé sans encastrement. La position centrale du contreventement apporte une meilleure stabilité à l'ossature en cas d'incendie. Pour contreventement par panneaux le système est identique à celui des ossatures standard.



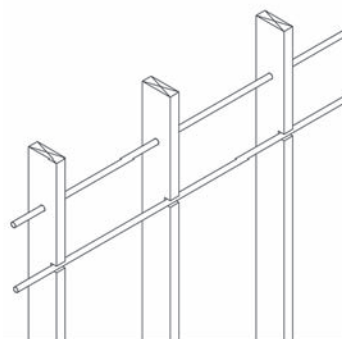
▲ 47 - Contreventement par écharpe discontinue. Le contreventement par écharpe continue, dans une ossature bois standard nécessite un encastrement



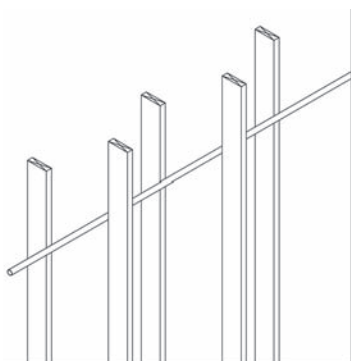
▲ 48 - Passage du contreventement dans l'espace disponible entre les deux trames dans une ossature à trame décalée dédoublée

### - Passages des différents fluides des bâtiments :

L'écart entre les deux trames d'ossature permet le passage horizontal des différents fluides (électricité et eau), sans avoir à entailler ou percer les poteaux de l'ossature.



◀ 49 - Passage de gaines dans une ossature standard.



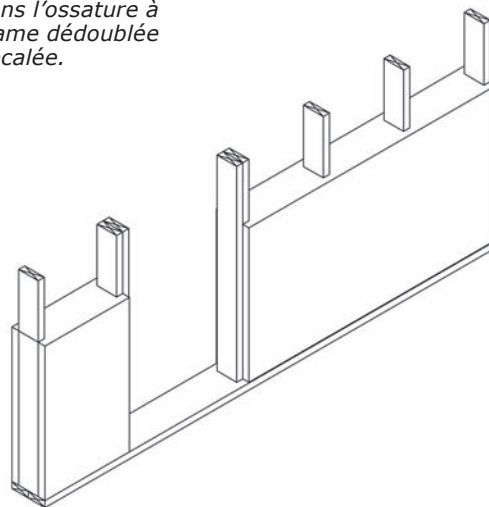
◀ 50 - Passage de gaines dans l'espace disponible entre les deux trames dans l'ossature à trame dédoublée décalée.

### Avantages spécifiques aux remplissages en vrac

#### - Lames d'air dues au tassement des remplissages :

Lors de l'utilisation de remplissages en vrac (béton léger : fibres végétales et liant) dans les ossatures bois, des tassements du mélange peuvent entraîner la formation de lames d'air sous la sablière. La forme en T de la sablière évite la formation de lame d'air sous celle-ci.

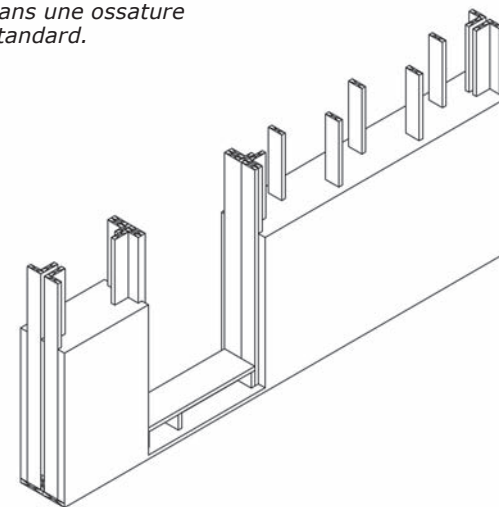
▼ 51 - Principe de remplissage en vrac dans l'ossature à trame dédoublée décalée.



#### - Fissurations traversantes verticales au long des poteaux :

Lors de l'utilisation de remplissages en vrac (béton léger : fibres végétales et liant) dans les ossatures bois, des fissures traversantes peuvent se former au long des poteaux. Le dédoublement et le décalage de la trame de l'ossature proposée permettent de résoudre ces désagréments car les poteaux ne sont pas traversants.

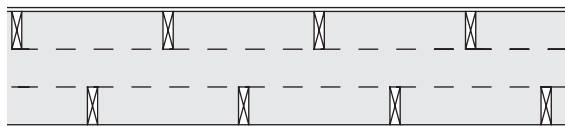
◀ 52 - Principe de remplissage en vrac dans une ossature standard.



### Ossature 1 : coffrage perdu en cannisse

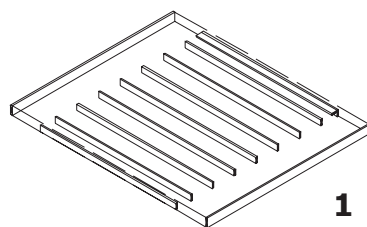
Sur le principe de l'ossature à trame dédoublée décalée. La trame est de 40 cm soit un montant tout les 20 cm.

Le remplissage se fait dans un coffrage perdu réalisé en cannisses. Une face du mur est coffrée intégralement, le remplissage se fera par l'autre face ou il faudra dérouler et agraffer le cannisse au fur et mesure du remplissage.

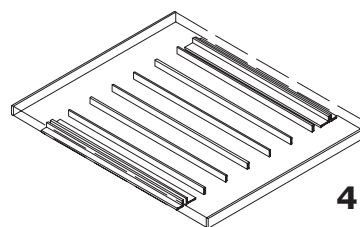


▲ 53 - Plan schématique de l'ossature 1

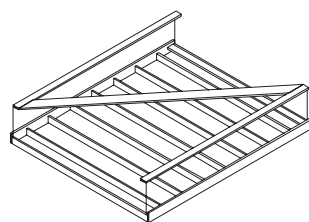
▼ 54 - l'ossature 1 pour coffrage perdu en cannisse.



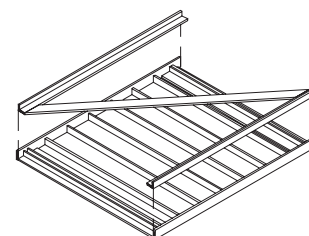
1



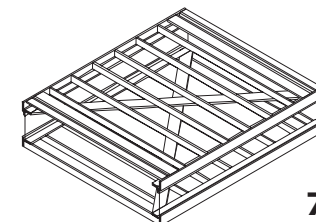
4



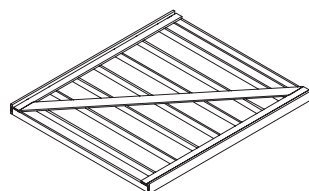
2



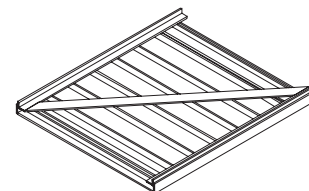
5



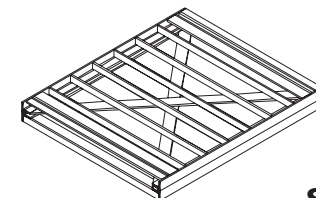
7



3



6



8

▼ 55 - Les différentes phases de montage de l'ossature pour coffrage perdu en cannisse à entraxe 40 cm.

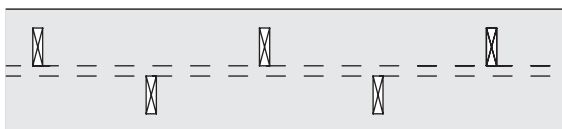
consommation de bois en m3/ml sur l'ossature à trame dédoublée décalée à entraxe 40 cm

quantité	qualité	longueur en m	section en mm	section en m <sup>2</sup>	m3	ml
4	lisse/sablière	1	27*300	0,0081	0,032	4,0
4	lisse/sablière en T	1	27*150	0,00405	0,016	4,0
6	poteau	2,5	27*100	0,0027	0,041	15,0
1	triangulation	2	27*150	0,00405	0,008	2,0
<b>total en m3/ml</b>					<b>0,097</b>	
<b>soit pour 14 ml de mur</b>					<b>1,361</b>	

## Ossature 2 : coffrage montant déporté

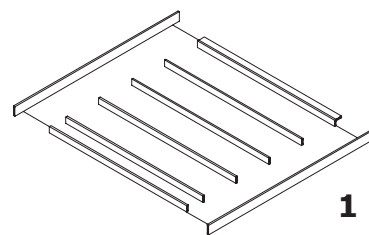
Sur le principe de l'ossature à trame dédoublée décalée proche de l'ossature préconisée par le CNDB. La trame est de 60 cm soit un montant tout les 30 cm.

Pour le remplissage en vrac, on utilise un coffrage montant. De manière à noyer complètement les éléments verticaux dans le remplissage, le coffrage est déporté à l'aide de calle, avec un recouvrement minimum de 5 cm.

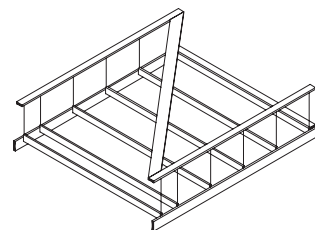


▲ 56 - Plan schématique de l'ossature 2

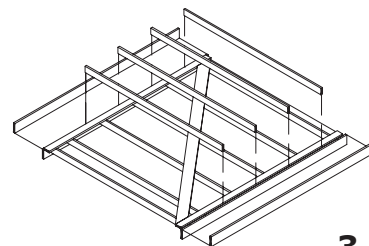
▼ 57 - l'ossature 2 pour coffrage montant déporté



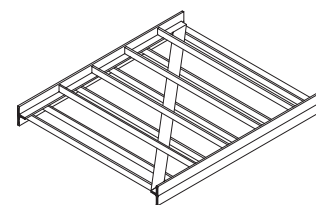
1



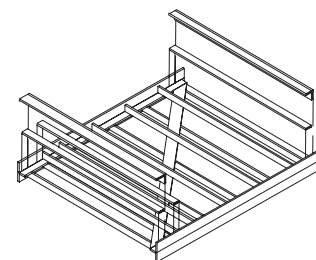
2



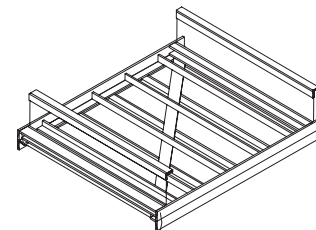
3



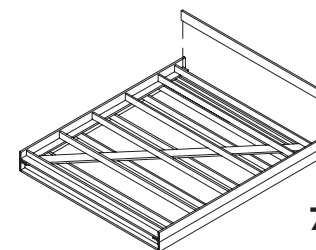
4



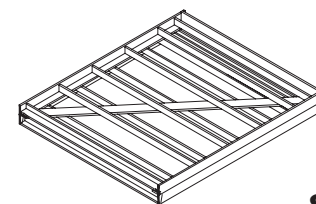
5



6



7



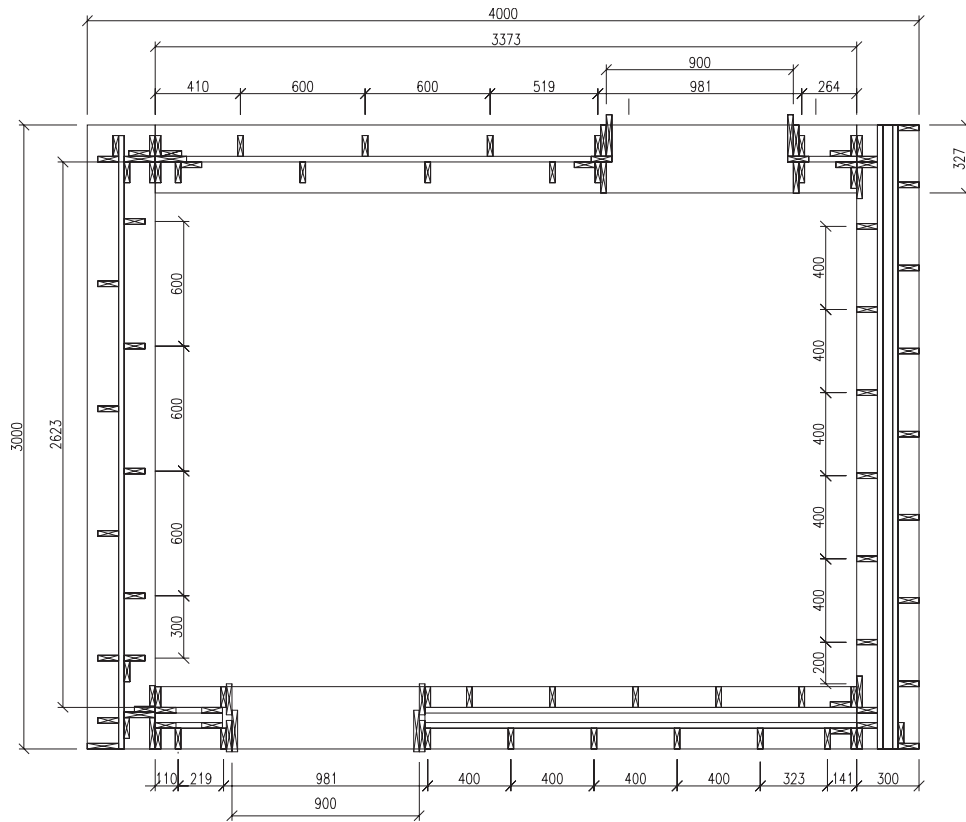
8

▼ 58 - Les différentes phases de montage de l'ossature pour coffrage rampant déporté à entraxe 60 cm.

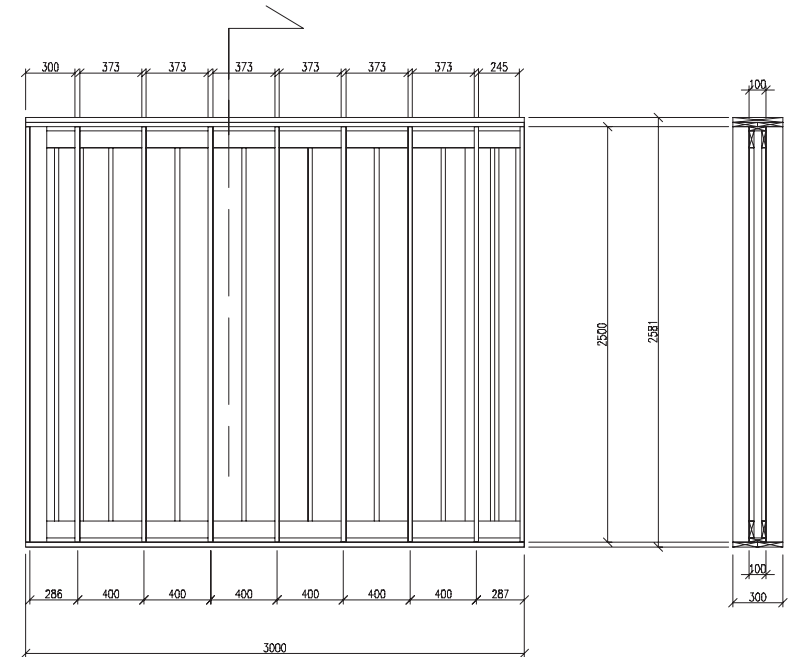
consommation de bois en m3/ml sur l'ossature à trame dédoublée décalée à entraxe 60 cm

quantité	qualité	longueur en m	section en mm	section en m <sup>2</sup>	m3	ml
2	lisse/sablière	1	27*300	0,0081	0,016	2,0
2	lisse/sablière en T	1	27*150	0,00405	0,008	2,0
4	poteau	2,5	27*100	0,0027	0,027	10,0
1	triangulation	2	27*150	0,00405	0,008	2,0
<b>total en m3/ml</b>					<b>0,059</b>	
<b>soit pour 14 ml de mur</b>					<b>0,832</b>	

Prototype réalisé aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau



ossature 1 pour coffrage perdu

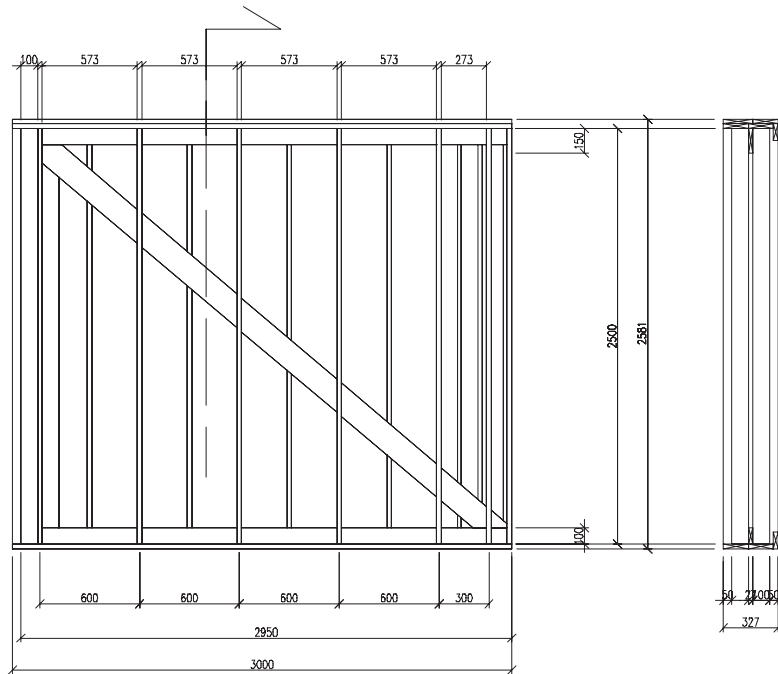


◀ 59 - Plan du prototype d'ossature bois à trame dédoublée  
- Ech. 1/50° -  
▶ 60 - Coupe et élévation de l'ossature à entraxe 40 cm  
- Ech. 1/50° -

Montage de la partie bois du prototype au Grands ateliers de l'Isle d'Abeau ▼ 61



## ossature 2 pour coffrage montant



◀ 62 - Coupe et élévation de l'ossature à entraxe 60 cm - Ech. 1/50° -

▶ 63 - Montage du prototype à l'aide du pont roulant

Chaque panneau pèse entre 125 kg et 150 kg

## Pont roulant



## La mise en œuvre

**triage et mise à longueur du bois:** 4 j/h  
Nous avons choisi des planches de différentes qualités et de largeurs non fixes. L'aboutage, la mise à longueur et le triage des planches nous a pris deux journées à deux personnes.

**montage des quatres ossatures :** 9 j/h  
Il a fallu quatres jours à deux personnes pour monter les quatres panneaux de l'ossature. Une demi-journée à deux personnes a suffit pour construire le chaînage bois qui sert de support à l'ossature.

**montage du prototype :** 1 j/h  
A peine deux heures ont suffit pour assembler les panneaux à l'aide du pont roulant. Puis une heure pour terminer de fixer les ossatures entre elles. Une personne seule en une demi-journée a installé les poutres et le plancher.

**TOTAL : 1,1 j/h par ml**  
(14 j/h pour 13 mètres linéaire de mur)



## Les remplissages en terre

### La composition des remplissages en terre

Un remplissage en terre n'est ni plus ni moins qu'un béton dont les granulats sont collés avec de l'argile. La masse volumique des bétons de terre peut varier de 200kg/m<sup>3</sup> pour le terre-paille à 1200kg/m<sup>3</sup> pour une terre coulée.

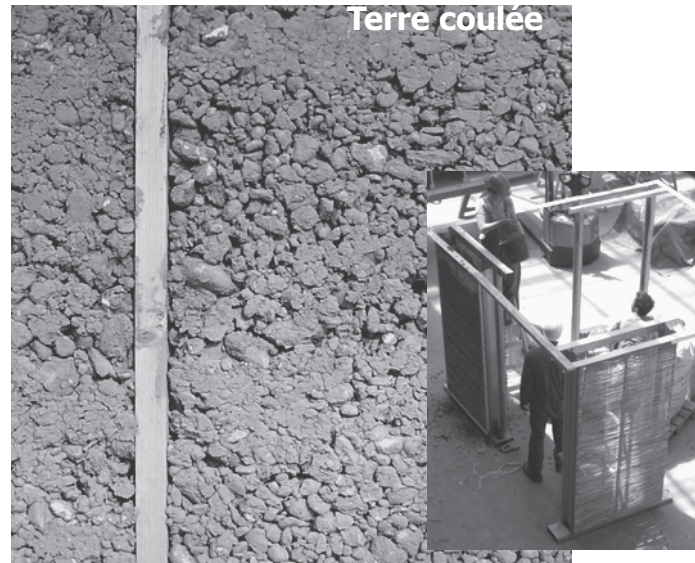
### Qualités des remplissages en terre

- réversibilité de l'argile
- propriété de régulation de l'humidité de l'argile
- protection naturelle du bois par assèchement
- très faible énergie induite (matériau cru)
- possibilité de réglage de la masse volumique

► 64 - Nos expériences antérieures

### Expériences antérieures

- **Grains d'Isère juin 2002** : mise en œuvre humide des déchets provenant du tamisage de la terre à pisé. Le tas ressemblait à des graviers sales, chaque grain était enrobé d'une fine couche d'argile. Une fois humidifié le mélange collait à la pelle. Remplissage de deux panneaux de 2m<sup>2</sup> en 15 cm d'épaisseur à différents taux d'humidité, dans des coffrages perdus en cannisse.



- **GA février 2003** : mise en œuvre de Terre-Copeaux bois Claytec dans une ossature bois de 12 cm d'épaisseur. Expérience de remplissage dans un coffrage montant et test du taux d'humidité limite de mise en œuvre.

### Densités des remplissages



- **Akterre avril 2004** : fabrication d'une grille de 18 briques sur la base de trois granulométries de copeaux et de trois terres de carrière. Moulage de briques de 22 cm x 22 cm x 8 cm, recherche sur la préparation de la barbotine selon la terre, recherche des proportions barbotine/plaquettes. Mesure de l'influence des plaquettes et de la barbotine sur le poids du mélange.

## La barbotine d'argile

Une barbotine d'argile est un mélange en phase liquide des éléments fins d'une terre. Pour les remplissages avec des fibres végétales, la barbotine doit avoir une consistance de pâte à crêpes.

**Selon la terre choisie, il existe deux solutions pour obtenir une barbotine suffisamment riche en argile :**

- tamisage à sec, puis mouillage des argiles
- détrempe de la terre pour un tamisage humide.

Ces proportions peuvent varier selon la concentration en argile de la terre, mais aussi de sa concentration en sable et de la technique de tamisage choisie.

La consistance recherchée pour la barbotine est celle d'une pâte à crêpe un peu dense. Un test tactile permet de comprendre si la barbotine est correcte, il suffit de plonger la main dedans pour vérifier que les sables sont bien en suspension.

Pour l'organisation de la production de barbotine il est possible d'utiliser un malaxeur à peinture, en mélangeant dans une poubelle de 100 L/150 L. Pour se faciliter le travail il faut mettre les seaux d'eau en premier dans la poubelle, puis ajouter les seaux de terre, cela évite que la terre ne colle au fond.

### Le tamisage par voie humide



### La barbotine

▲ 65 - La consistance «pâte à crêpe» de la barbotine

◀ 66 - Tamisage de la barbotine à 5 mm

### Proportion moyenne d'une barbotine d'argile

2 volumes de terre pour 1 volume d'eau.

#### Pour information

Tests effectués aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau  
- Mai 2003 -

- première terre, type terre à pisé tamisée 0-10 mm, on a mélangé : 8 seaux de terre avec 4 seaux d'eau = 120 L de barbotine à tamiser

- seconde terre déjà tamisée à 0-5 mm mais très sableuse, on a mélangé : 7 seaux de terre avec 4 seaux d'eau = 110 L de barbotine.

▲ 67 - Mélange à l'aide d'un malaxeur à main



### Les plaquettes forestières

Les fibres de bois utilisées pour ce type de remplissage isolant se trouvent chez certains scieurs ou exploitants forestier, sous le nom de plaquettes forestières. Elles sont vendues comme combustible pour les chaudières à copeaux de bois, comme matière première pour la papeterie, elles entrent aussi dans certains procédés liés à la fabrication de l'aluminium.

Les plaquettes forestières sont issues du recyclage des déchets de la sylviculture et de l'industrie du bois. Selon la provenance de la matière et le procédé de fabrication, les plaquettes peuvent avoir différentes tailles et différentes formes. Les plaquettes utilisées pour nos expérimentations proviennent de la société SOFODA - St Vérand (38) - qui produit et commercialise cette ressource en Isère.

Pour une bonne qualité du mélange la qualité des plaquettes est importante. Il est recommandé d'utiliser des plaquettes sans résidu d'écorces pour éviter que le mélange ne soit attaqué par des insectes pendant son temps de séchage (2 mois environ). Les bois à tanins comme le chêne ou le châtaignier ne sont pas conseillés, des tanins peuvent migrer à travers les différentes couches d'enduits.

Les déchets du déroulage du peuplier sont intéressants à valoriser dans ce type de remplissage, ce sont des plaquettes effilées qui allient légèreté et résistance. Les plaquettes de peuplier ont l'avantage de présenter une masse volumique de 200 à 300 kg/m<sup>3</sup> et ne contiennent pas de tanins. Les essences généralement conseillées sont les bois résineux ou les feuillus de faible densité.

#### Qualités des plaquettes bois utilisés

**Plaquette 1 :** issue du déroulage du peuplier (déchet utiliser comme combustible pour les chaudières à copeaux de bois),

Essence : peuplier

Dimension : copeaux effilés de 1 à 2 cm de largeur par 3 à 8 cm de longueur sur environ 0,3 cm d'épaisseur.

**Plaquette 2 :** issue du broyage de différentes essences dans le but de faire des plaquettes de chauffages.

Essence : châtaignier, sapin, épicéa.

Dimension : copeaux de dimensions et formes variables de 2 à 5 cm de largeur par 5 à 9 cm de longueur sur 0,5 à 1 cm d'épaisseur.

▼ 68 - production de plaquettes forestières



Production de plaquette bois - SOFODA

## Le mélange terre-plaquettes

C'est un remplissage en terre composé de barbotine et de plaquettes forestières. Il présente l'avantage de contenir 2/3 de matière renouvelable non transformée thermiquement et 1/3 d'argile naturellement réversible. La densité moyenne de ce mélange est d'environ 600 kg/m<sup>3</sup>, ce qui est comparable aux briques cuites alvéolaires en terme d'isolation et de masse thermique.

Comme dans toutes les principes d'agglomération, il faut soit ménager des vides dans l'organisation de la matière pour l'alléger, soit les éviter pour la densifier. Les tests effectués en avril 2003 nous ont permis de nous rendre compte de l'avantage d'utiliser un mélange de plaquettes de différentes formes et dimensions. Ainsi que les proportions de colle et de fibres nécessaires pour obtenir une bonne cohésion du mélange.

Ces proportions peuvent varier légèrement suivant les dimensions des plaquettes. La barbotine doit couvrir, correctement toutes les faces des plaquettes de manière un peu épaisse.

### Proportion moyenne du mélange terre-plaquettes bois

2 volumes de plaquettes pour 1 volume de barbotine

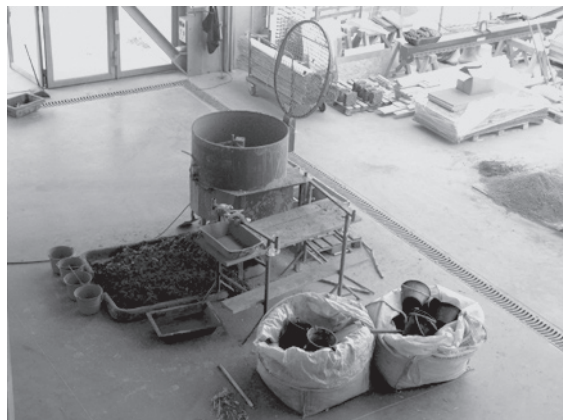
#### Pour information

Quantité prévu pour le remplissage du prototype soit pour 8 m<sup>3</sup> de mélange

- 5 m<sup>3</sup> ou 5000 L de barbotine
- 10 m<sup>3</sup> de plaquettes

▼ 69 - Pour la production du mélange terre-plaquettes on a utilisé un malaxeur de 500 litres.

Par malaxeur on prépare entre 1/3 et 1/2 m<sup>3</sup> de mélange.



### production du remplissage en vrac



▲ 70 - Les plaquettes bois

La préparation du mélange peut se faire dans un malaxeur de type bétonnière. Il est possible de préparer le mélange de la terre et des plaquettes un peu à l'avance. Il doit être mis en oeuvre dans la limite de 2 à 3 semaines après sa production. Le mélange se conserve sur un sol propre sans végétaux et bâché pour le protéger de l'eau et de l'assèchement. **La quantité de mélange terre-plaquettes nécessaire à la réalisation d'un mur correspond à environ 1,25 fois son volume fini.**

Le temps de séchage dépend de l'épaisseur du mur et de la saison. Pendant le temps de séchage, il faut assurer une très bonne ventilation transversale de toutes les pièces. En prenant en compte une profondeur de séchage unilatérale de 20 cm, il faut compter 6 à 8 semaines de temps de séchage au minimum.

Comme le mélange terre-plaquettes contient des composants organiques (le bois) et que sa mise en oeuvre s'effectue dans des conditions humides, la possibilité de formation de moisissure en cas de mauvais séchage ne peut être exclue. Si cette condition perdure, il faut envisager un séchage artificiel. Une fois sec, le mélange terre-plaquettes ne peut plus être attaqué par les moisissures.

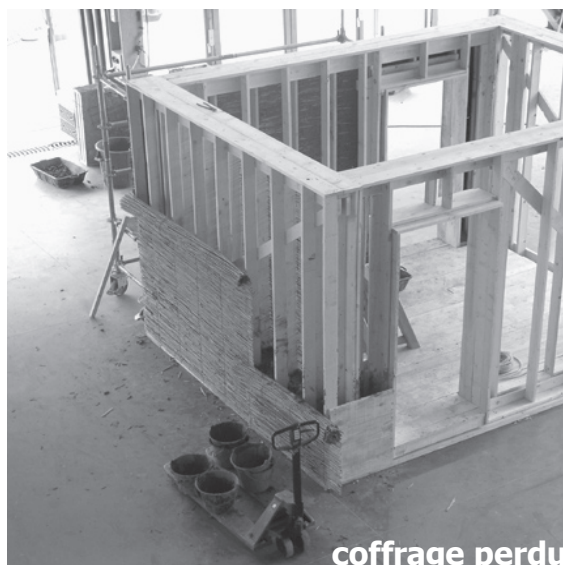
La finition des murs terre-plaquettes ne doit être entreprise uniquement qu'après le séchage complet du mur. Il est nécessaire de maroufler une toile de verre ou de jute dans les enduits intérieurs et extérieurs.

### La mise en œuvre des remplissages

#### Ossature à coffrage perdu en cannisse

Comme l'ossature préconisée par Claytec, le coffrage perdu est réalisé en cannisse. Une face du mur est coffrée intégralement, le remplissage se fera par l'autre face ou il faudra dérouler et agraffer le cannisse au fur et mesure du remplissage par hauteur de 50 cm.

Les tiges non fendues du cannisse ont une bonne résistance à la flexion jusqu'à un écartement de 40 cm entre les appuis verticaux. Le coffrage perdu sert en même temps de support pour les enduits aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. Le cannisse évite le tassement du mélange même s'il est n'est pas mis en œuvre au bon taux d'humidité.



◀ 71 - Le remplissage en vrac par coffrage perdu

▶ 72 - Le remplissage en vrac par coffrage montant

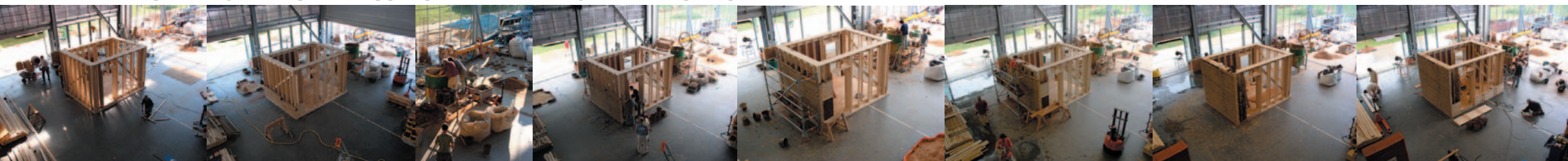
#### Ossature à coffrage montant déporté

Plus proche de l'ossature préconisée par le CNDB, celle-ci utilise un coffrage montant déporté. Cette technique à l'avantage de noyer complètement les éléments verticaux au cœur du remplissage, avec un recouvrement minimum de 5 cm.

#### coffrage montant



### Le remplissage du prototype par le mélange terre-plaquettes ▼ 73





◀ 74 - Vue intérieur du prototype

▼ 75 - Texture du remplissage dans le coffrage perdu en cannisse



## La mise en oeuvre

Pour cette expérimentation le tamisage de la terre, la préparation du mélange et sa mise en œuvre se sont fait parallèlement. Le nombre de journées/homme peuvent se répartir ainsi :

### **tamisage de la terre préparation de la barbotine : 3,5 j/h**

La moitié de la terre utilisée pour la fabrication de la barbotine était « les déchets » d'une autre expérimentation. Cette terre avait une granulométrie de 0-10 mm. Nous l'avons tamisée de nouveau, par voie humide, pour atteindre une granulométrie de 0-5 mm. Le résultat du tamisage par voie humide est la barbotine.

La deuxième terre utilisée pour la barbotine était déjà prête à l'emploi. Elle est mélangée à l'aide d'un malaxeur à main avec de l'eau

### **préparation du mélange : 3,5 j/h**

Une personne prépare le mélange. Un malaxeur de 500 litres sert à mélanger la barbotine avec les plaquettes bois.

La matière est directement mise en œuvre : il n'y a pas de stockage.

### **coffrage : 1 j/h**

Installation des coffrages perdus en cannisse et préparation du coffrage rampant.

### **remplissage des murs : 6 j/h**

Le remplissage des murs s'est étalé sur cinq jours, mais toutes les phases de la fabrication du matériau se faisait en parallèle. Le remplissage se fait à deux ou trois personnes. Une personne fait passer les seaux de mélange. Les autres le mettent en place dans le coffrage. Chaque phase de mise en œuvre est de 1 ou 2 heures par demi-journée, selon la quantité de mélange préparée.

**TOTAL : 2,33 j/h par m3**  
(14 j/h pour 6 m3 )



## conclusion/bilan

### La ressource en bois

La rencontre avec les négociants de bois et les scieurs du département de l'Isère nous a permis de comprendre les freins actuels à l'utilisation de la ressource locale. De nombreux produits du bois venant de toute l'Europe inondent le marché et défient toute concurrence. La plupart de ces produits présentent l'avantage d'être secs, prédécoupés, homogènes et disponibles immédiatement. C'est la constance de leur rapport qualité/prix et leur grande disponibilité qui en a fait une ressource incontournable pour le secteur du bâtiment, malgré le transport que représente les quantités en jeu. Bien que nous disposions d'une ressource importante de bois, et de nombreuses entreprises de qualité, l'utilisation du bois local se raréfie pour des raisons économiques. Il est primordial pour la survie des PME locales du secteur du bois qu'elles prennent conscience de leurs avantages et de leurs faiblesses afin de pouvoir prendre une place concurrentielle dans le marché de la construction.

### Les enjeux des professionnels locaux du secteur du bois

- séchage systématique du bois (naturellement ou en étuve)
- constance de la qualité
- plus grande disponibilité du matériau
- réduction du transport international
- création et pérennisation d'emplois locaux

### La ressource en terre

Comme la ressource naturelle en bois, la terre est présente en grande quantité sur la plupart du territoire de la région Rhône-Alpes. Toutefois, l'utilisation de ce matériau reste marginale dans le secteur du bâtiment, malgré la présence d'acteurs au rayonnement national et international sur ce territoire. Comme les autres matériaux de construction, la terre crue nécessite une transformation pour passer de l'état de matière à celui de matériau ou de produit. Un des freins à son utilisation est dû à l'idée préconçue que l'on peut facilement utiliser la terre du site. Alors qu'il ne viendrait à l'esprit de personne de couper les arbres de son terrain pour construire sa maison. En effet, s'il suffit d'une tronçonneuse ou d'une hache pour couper un arbre, il faut un outillage plus performant pour débiter des planches ou des liteaux. Il en est de même pour la terre crue, une pelle et une pioche suffisent pour l'extraire, mais il devient rapidement pénible de tamiser de la terre humide avec une simple grille. Si l'on rajoute à ces contraintes le principe économique de notre société, l'usage de la terre crue se limite à l'auto-construction.

Les charpentiers n'ont pas les outils des exploitants forestiers et les maçons ne fabriquent pas leurs parpaings ni leur ciment. Pour qu'une véritable filière terre crue voit le jour, il semble essentiel d'encourager la formation des artisans et la production de matériaux en terre crue permettant une mise en œuvre concurrentielle par rapport aux solutions actuelles.

### Evolution de la mise en œuvre

Les différentes expérimentations que nous avons menées, nous ont permis de comprendre les différentes contraintes contemporaines du secteur du bâtiment. Que ce soit au niveau de la matière et de sa transformation ou à celui de la mise en œuvre et de son économie.

D'un point de vue économique, le prix de la main d'œuvre est actuellement un problème majeur. Bien que nous ayons bénéficié d'une main d'œuvre bénévole dans le cadre de nos différentes expérimentations, il nous faut prendre en compte la reproductibilité de notre démarche dans la pratique professionnelle de la construction.

### La préfabrication

Dans le cas de remplissage en vrac, le temps de séchage du mélange est relativement important : 2 mois environ pour une épaisseur de 30 cm en saison chaude. Ce qui impose une mise en œuvre limitée de mars à septembre.

La préfabrication sous forme de brique pourrait permettre une mise en œuvre sur chantier plus rapide et l'absence de délais de chantier avant l'application des enduits.

Un essai de fabrication de briques en terre-plaquettes nous a montré que le manque de cohérence du mélange rend difficile la préfabrication sous cette forme pour l'autoconstruction. La mise en œuvre de ces remplissages par la filière sèche nécessite une recherche approfondie.

die sur l'adhérence de la barbotine, ainsi qu'une recherche sur le format optimum des plaquettes bois et des éléments pré-fabriqués.

### **Bilan écologique**

**Ressource :** renouvelable. Valorisation de sous-produits ou de bois de faible valeur marchande.

**Energie induite :** extrêmement faible

**Pollutions principales :** nulles

**Recyclage :** après démolition, le bois de l'ossature peut-être réemployé ou brûlé, le complexe isolant composté.

### **Impact sur la santé :**

Pas de dégagement toxiques.

Pas besoins de traité le bois : l'argile qui entoure les plaquettes de bois et la structure quand elle noyée dans le mélange, fonctionne comme un fongicide une fois sèche. (insectes)

L'argile = protection contre le feux : minéralisation (terre M0)

Confort grâce au volant thermique + hygrothermie du complexe isolant + respiration des murs

D'un point de vue écologique le système constructif d'ossature bois pour remplissage terre est intéressant par son bilan en énergétique + non traitement du bois.



### **3 - Propositions constructives et performance thermique**



## Vers des bâtiments plus sobres

### La construction passives, un standard européen

Le bâtiment étant responsable d'une bonne partie de la consommation énergétique mondiale, il est devenu primordial que nos constructions soient de plus en plus sobres.

Pour une moindre consommation énergétique au cours de la vie des bâtiments, certains pays ont mis en place des labels qui fixent des limites de consommation d'énergie :

#### En France :

La réglementation thermique RT 2000 a fixée la limite de consommation entre 80 à 100 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage. La RT2005 qui s'applique depuis le 1er septembre 2006, demande une amélioration de 15% d'ici 2010 et de 40% pour 2020. Pour l'instant les meilleures réalisations françaises consomment de 30 à 35 kWh/m<sup>2</sup>/an et les meilleures réalisations « HQE » de 60 à 65 kWh/m<sup>2</sup>.

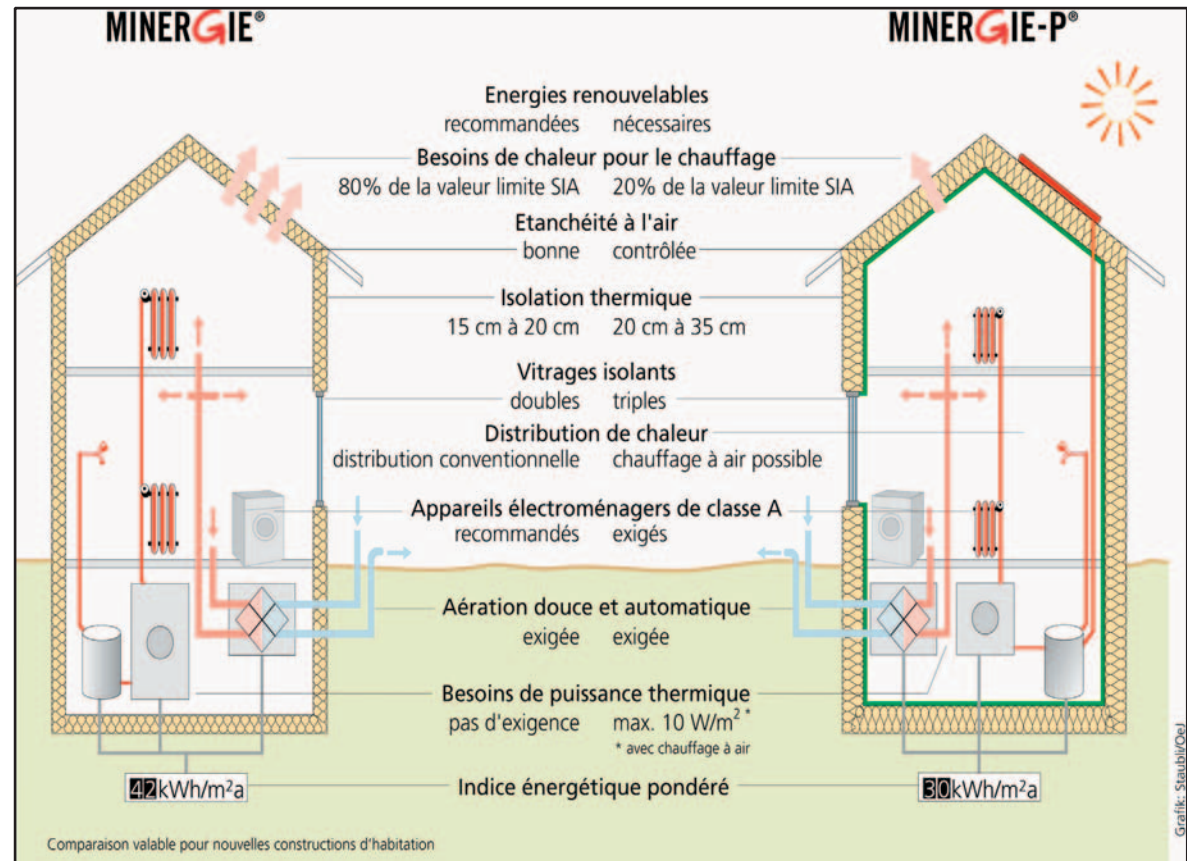
#### En Allemagne, en Autriche et aux Pays Bas :

Au delà des normes générales thermiques du bâtiment, il existe le standard « Passive Haus », qui est décerné aux logements dont la consommation de chauffage n'excède pas 15 kWh/m<sup>2</sup>/an. Environ 3000 logements de ce type ont été construits à ce jour.

#### En Suisse:

Le label « Minergie » est attribué pour les logements qui atteignent une consommation totale inférieure à 42 kWh/m<sup>2</sup>/an (y compris ECS et auxiliaires).

Ces standards fixent aussi des règles concernant l'étanchéité à l'air des parois, le renouvellement de l'air, le choix des matériaux.



▲ 76 - schéma de présentation du label Minergie

## la construction passive

Source : Projet CEPHEUS

Passivhaus Institut - Rheinstr. 44/46 - D-64283 Darmstadt

### Qu'est-ce qu'un bâtiment passif ?

Le terme « bâtiment passif » désigne un standard de construction pouvant être atteint par le biais de différents modes, types et matériaux de construction. Il constitue un prolongement du standard des immeubles à bas profil énergétique.

**Le terme « bâtiment passif » désigne une construction garantissant un climat intérieur confortable aussi bien en été qu'en hiver sans système de chauffage traditionnel.**

Une telle construction présuppose notamment que **le besoin annuel en chaleur ne dépasse pas 15 kWh/(m<sup>2</sup>a)**. La chaleur d'appoint nécessaire peut être fournie en chauffant l'air entrant par le biais du système de ventilation déjà existant. Les bâtiments passifs nécessitent approximativement 80% de moins d'énergie de chauffage que les constructions neuves traditionnelles conformes à la réglementation thermique allemande de 1995.

Le nom « bâtiment passif » s'explique par le fait que pour l'essentiel, l'utilisation « passive » de la chaleur issue du rayonnement solaire par les fenêtres ou émise par les appareils et les habitants est suffisante pour maintenir des températures intérieures agréables au sein de l'habitation pendant la période de chauffage.

Parallèlement à cela, la mise en œuvre de techniques efficaces doit permettre de minimiser les besoins énergétiques restant, notamment la consommation électrique des appareils électroménagers, etc. L'objectif du projet CEPHEUS consiste à limiter le besoin total en énergie finale pour le chauffage, l'eau chaude sanitaires et les appareils électroménagers à 42 kWh/(m<sup>2</sup>a). Une telle valeur équivaut au maximum à un quart des indices spécifiques de consommation énergétique des constructions neuves conformes aux réglementations en vigueur dans les pays d'Europe concernés.

### Pourquoi construire des bâtiments passifs ?

Le standard des bâtiments passifs est une méthode avantageuse permettant de réduire à un strict minimum les besoins énergétiques des nouvelles constructions conformément aux exigences globales du développement durable tout en améliorant le confort d'habitation.

Ce standard sert donc de base pour satisfaire les besoins en énergie d'appoint de tels bâtiments exclusivement par le biais d'énergies renouvelables tout en tenant compte aussi bien de la disponibilité limitée de ces dernières que de la modération des surcoûts.

### *Première philosophie de base*

#### **L'optimisation de ce qui est indispensable**

Cette démarche est abordable car axée sur la simplicité et l'optimisation des composantes fondamentales des bâtiments : l'enveloppe, les fenêtres et l'aération automatique qui s'impose pour des raisons d'hygiène. En améliorant l'efficacité de ces composantes au point de rendre superflu tout système de production de chaleur séparé, cette démarche permet de réaliser des économies qui co-financent les surcoûts dus à l'amélioration de la performance énergétique.

### *Deuxième philosophie de base*

#### **La minimisation des pertes prime sur la maximisation des gains**

Le principe de base des bâtiments passifs consiste à empêcher le plus efficacement possible la chaleur existante de s'échapper (priorité à la minimisation des pertes). Des calculs types et des expériences pratiques menées dans le cadre de plusieurs projets ont démontré que les conditions climatiques de l'Europe centrale ou des conditions climatiques comparables, une telle stratégie est toujours plus efficace que les stratégies favorisant l'utilisation active ou passive de l'énergie solaire.

#### **Un bâtiment passif peut-être construit à coût rentable**

Le coût total capitalisé (les investissements dans le bâtiment, y compris dans la conception, les installations de CVC et les frais d'exploitation pendant 30 ans) est inférieur à celui occasionné par une construction neuve moyenne.

#### Solaire passif

Les bâtiments passifs orientés vers le sud sont également des bâtiments solaires. Après la mise à profit des potentiels d'efficacité, l'utilisation passive du rayonnement solaire par des fenêtres conçues tout spécialement pour garantir un éclairage suffisant permet de couvrir environ 40% des pertes de la chaleur.

#### Solaire passif

Les bâtiments passifs orientés vers le sud sont également des bâtiments solaires. Après la mise à profit des potentiels d'efficacité, l'utilisation passive du rayonnement solaire par des fenêtres conçues tout spécialement pour garantir un éclairage suffisant permet de couvrir environ 40% des pertes de la chaleur. Dans cet objectif, les fenêtres mises en place sont généralement très innovantes avec un triple vitrage calorifuge et des châssis superisolants. De telles fenêtres laissent pénétrer d'avantage de chaleur solaire qu'elles n'en laissent s'échapper. Il est recommandé d'orienter vers le sud les principales surfaces exposées et d'éviter les zones ombragées.

*Composantes*

#### Solaire passif

*Mesure* Orientation optimale des fenêtres vers le sud

*Exigence* Orientation optimale des fenêtres vers le sud

#### Vitrage super isolant

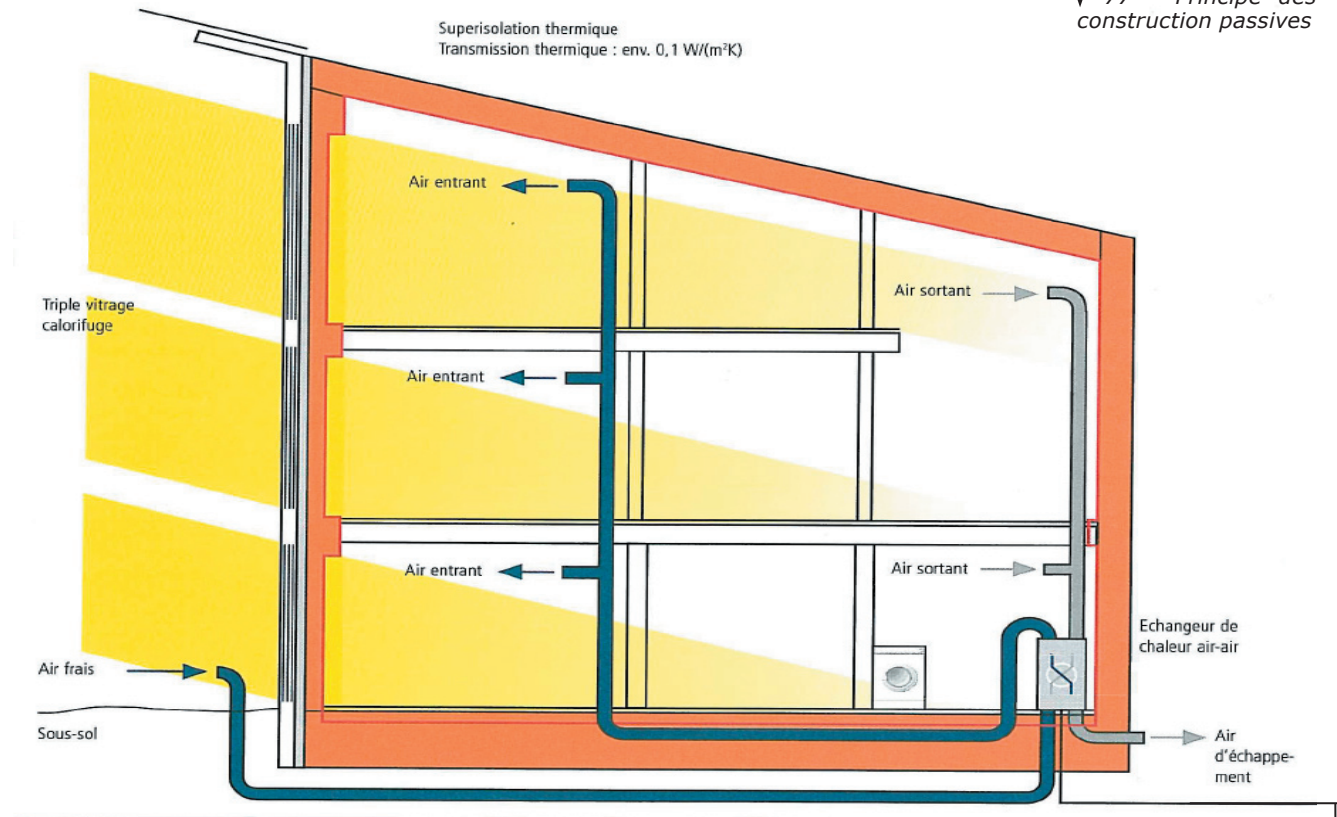
*Mesure* Triple vitrage calorifuge

*Exigence* Valeur  $k < 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ , valeur  $g > 50\%$

#### Châssis superisolants

*Mesure* Châssis de fenêtre superisolants

*Exigence* valeur  $k < 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$



▼ 77 - Principe des constructions passives

#### Superisolation

Les bâtiments passifs sont caractérisés par une isolation thermique particulièrement performante, l'absence de ponts thermiques et une étanchéité à l'air très élevée. En respectant quelques exigences minimales en matière de qualité de l'isolation, il est possible de radiateurs sans aucune perte de confort.

#### Enveloppe

*Mesure* Superisolation thermique

*Exigence* Valeur  $k$  env.  $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

#### Assemblage des éléments

*Mesure* Construction sans ponts thermiques

*Exigence* Valeur  $\Psi < 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$

#### Étanchéité à l'air

*Mesure* Enveloppe étanche

*Exigence*  $n_{50} < 0,6 \text{ l/h}$

## Complémentarité entre la récupération efficace de la chaleur et le chauffage d'appoint

Les bâtiments passifs orientés vers le sud sont également des bâtiments solaires. Après la mise à profit des potentiels d'efficacité, l'utilisation passive du rayonnement solaire par des fenêtres conçues tout spécialement pour garantir un éclairage suffisant permet de couvrir environ 40% des pertes de la chaleur. Dans cet objectif, les fenêtres mises en place sont généralement très innovantes avec un triple vitrage calorifuge et des châssis superisolants. De telles fenêtres laissent pénétrer d'avantage de chaleur solaire qu'elles n'en laissent s'échapper. Il est recommandé d'orienter vers le sud les principales surfaces exposées et d'éviter les zones ombragées.

*Composantes*

### Aération d'hygiène

*Mesure* Aération transversale à travers tout le bâtiment ; bouches d'évacuation de l'air dans toutes les pièces humides

*Exigence* env. 30 m<sup>3</sup>/(h - personne)

### Récupération de la chaleur

*Mesure* Echangeur de chaleur à contre courant air-air

*Exigence* Taux d'approvisionnement en chaleur  $\eta > 80\%$

### Récupération de la chaleur latente

*Mesure* Pompe à chaleur compacte

*Exigence* Puissance calorifique maximal : 10 W/m<sup>2</sup>K

### Echangeur de chaleur géothermique

*Mesure* Préchauffage de l'air frais

*Exigence* Température de l'air frais  $> 8^{\circ}\text{C}$

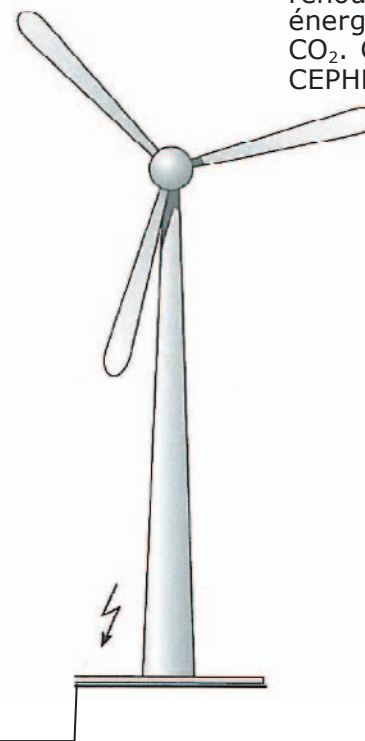
## Efficacité électrique ( équipement avec des appareils électriques performants )

Grâce à l'équipement avec des appareils électroménagers performants, à l'alimentation en eau chaude sanitaire pour les machines à laver et les lave vaisselle, à l'utilisation d'armoires sèche-linge et d'ampoules à faible consommation d'énergie, les besoins domestiques en électricité peuvent également être réduits de plus de 50% dans les bâtiments passifs par rapport à la moyenne des immeubles existants (sans aucune perte de confort !). Toutes les installations de CVC sont extrêmement performantes. Le système de ventilation par exemple est entraîné par le biais de moteurs à courant continu haute performance. Dans la plupart des cas, les appareils performants ne sont pas plus chers que les appareils ordinaires. Ils se rentabilisent généralement grâce aux économies d'électricité réalisées.

## Satisfaction de la demande en énergie d'appoint grâce aux énergies renouvelables

Une installation solaire thermique à coût optimisé permet de couvrir environ 40 à 60% des besoins totaux en chaleur à basse température d'un bâtiment passif. grâce à la faible demande en énergie d'appoint, il devient en outre possible d'atteindre un objectif qui restait sinon irréalisable du point de vue financier et pour lequel l'offre énergétique ne suffirait pas :

la compensation totale de la consommation restante (pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité domestique) par des énergies renouvelables, dans le bilan annuel des énergies primaires et des émissions de CO<sub>2</sub>. Ceci est réalisé dans le lotissement CEPHEUS à Hanovre-Kronsberg.



## L'isolation, comment ça marche ?

### Principe des échanges de chaleur

La chaleur ou énergie calorifique, comme tout le reste ne disparaît jamais, soit elle se déplace soit elle se transforme en une autre forme d'énergie.

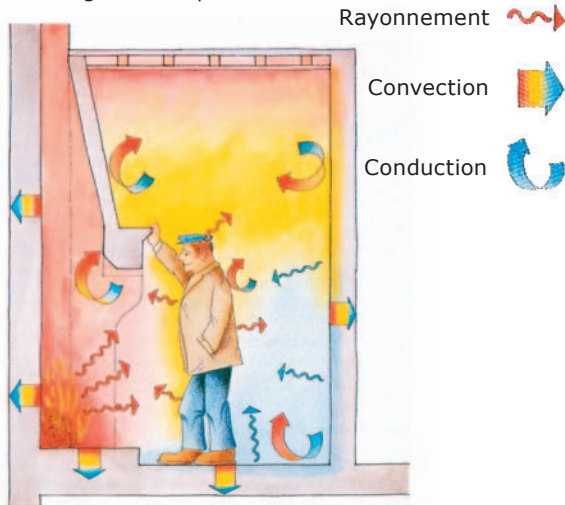
Il existe 3 types d'échange de chaleur :

- **La conduction** : échange de calories entre deux corps en contact direct.

- **La convection** : échange de calories par le biais d'un fluide intermédiaire comme l'air ou l'eau. Cet échange entraîne un mouvement à l'intérieur du fluide intermédiaire.

- **Le rayonnement** : transfert thermique de nature électromagnétique qui ne nécessite aucun milieu intermédiaire. La propagation s'effectue en ligne droite jusqu'à ce qu'elle soit absorbée par un solide.

▼ 78 - les modes d'échanges thermiques



### Quantifier l'isolation

L'isolant doit permettre au bâtiment de ne pas perdre sa chaleur en hiver et de pas se réchauffer en été. Il existe une très grande variété de matériaux isolants. Ils peuvent être de nature très différentes : minérale, végétale ou animale (par ex. rouleaux de plumes de canards). On peut évaluer leur qualité thermique grâce à leur **coefficient  $\lambda$  (lambda)**.

**La conductivité thermique ( $\lambda$ )**. C'est le «flux de chaleur» traversant une paroi de 1 mètre carré d'une paroi de 1 mètre d'épaisseur, lorsque la différence des températures entre les deux faces de cette paroi est de 1 degré  $\lambda$  est exprimé en watts par mètre et par degré Celsius ( $W/m \cdot ^\circ C$ ). Plus  $\lambda$  est petit, plus le matériau est isolant.<sup>(1)</sup>

### La résistance thermique (coefficient R)

R exprime le flux de chaleur traversant une paroi selon son épaisseur e et sa conductivité thermique.

Généralement les parois sont constituées de plusieurs couches de matériaux ayant chacun une épaisseur différente. Il faut alors ajouter les R de chaque couche.

$$R = e/\lambda \text{ (m}^2 \cdot ^\circ C/W)$$

Plus le coefficient R est grand, plus le complexe de matériaux est isolant.

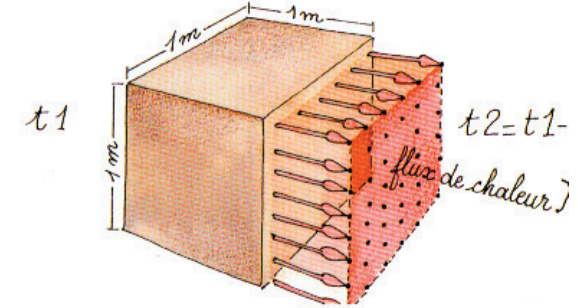
### La transmission calorifique (coefficient U)

R exprime la résistance de la paroi au passage de la chaleur, mais pour caractériser une paroi on utilise son inverse U, appelé coefficient de transmission surfacique

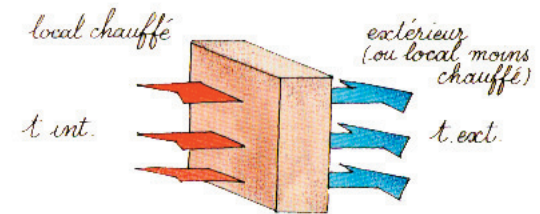
$$U = 1/R \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ C)$$

Plus il est faible plus la paroi est performante.<sup>(1)</sup>

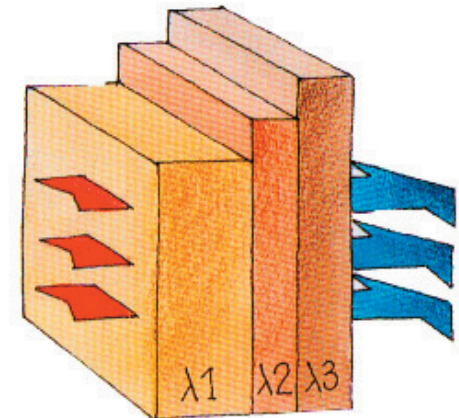
► 79 - Le «flux de chaleur» est la quantité de chaleur traversant un mètre cube de matière par unité de temps (seconde ou heure). Il se mesure en watts



► 80 - Le matériau d'épaisseur e et de conductivité  $\lambda$  oppose au passage de la chaleur une résistance thermique R



► 81 -  $R = r1 + r2 + r3$



(1) - L'isolation écologique p 19 - Jean Pierre Oliva

## Utiliser la masse thermique

A l'inverse des isolants, certains matériaux peuvent stocker puis restituer de la chaleur ou de la fraîcheur. C'est une propriété qui est utilisée pour les constructions bioclimatiques. C'est ce que l'on appelle la capacité thermique, elle dépend de trois paramètres :

### - La conductivité thermique ( $\lambda$ ) :

elle est l'inverse de son pouvoir isolant (moins le matériau est isolant, plus il a de capacité de stockage thermique)<sup>(1)</sup>

### - La chaleur spécifique :

c'est sa capacité à emmagasiner la chaleur par rapport à son poids. Elle est définie par la quantité de chaleur à apporter à 1 kg du matériau pour élever sa température de 1°C.<sup>(1)</sup>

### - La densité ou masse volumique :

en règle générale plus le matériau est lourd, plus sa capacité thermique augmente.<sup>(1)</sup>

**La capacité thermique (S) d'un matériau est le produit de sa chaleur spécifique par sa densité. Elle s'exprime en kilojoules par m<sup>3</sup> et par °C (kJ/m<sup>3</sup>.°C).**<sup>(1)</sup>

Une forte inertie thermique permet d'atténuer les pointes de températures.

En hiver la chaleur emmagasinée la journée va se diffuser pendant la nuit, puis se reconstituer pendant la journée.

En été c'est la fraîcheur emmagasinée la nuit qui se libérera au cours de la journée.

Selon l'utilisation des locaux, une forte masse thermique n'est pas forcément une bonne chose. Si les parois sont trop longues à réchauffer, la température de confort sera atteinte après l'utilisation de ceux-ci

## Calcul du coefficient U pour des remplissages en terre de 20 cm dans l'ossature

► 82 -  
tableaux  
comparatifs

COMPOSITION DE LA PAROI	Enduits terre	Terre-Paille 30 cm	Enduit chaux	
	Épaisseur e (en mètre)	Conductivité thermique $\lambda$ (en W/m.°C)	Résistance thermique R (en m <sup>2</sup> .°C/W)	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$
Résistance superficielle interne	-	-	0,110	
Enduit terre	0,025	0,660	0,038	8
Terre – paille 300kg/m <sup>3</sup>	0,300	0,100	3,000	3
Enduit en chaux/sable	0,025	1,050	0,024	35
Résistance superficielle externe	-	-	0,060	
<b>Résistance thermique totale</b>			<b>3,232</b>	
<b>POUR UNE PAROI COMPOSEE DE 35 Cm</b>				
La valeur U (transmission calorifique) de la paroi est donc :		<b>U = 0,309 W/m<sup>2</sup>.°C</b>		
		<b>R = 3,232 m<sup>2</sup>.°C/W</b>		

COMPOSITION DE LA PAROI	Enduits terre	Terre-Plaquettes 30 cm	Enduit chaux	
	Épaisseur e (en mètre)	Conductivité thermique $\lambda$ (en W/m.°C)	Résistance thermique R (en m <sup>2</sup> .°C/W)	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$
Résistance superficielle interne	-	-	0,110	
Enduit terre	0,025	0,660	0,038	8
Terre-Plaquettes 600kg/m <sup>3</sup>	0,300	0,170	1,765	4
Enduit en chaux/sable	0,025	1,050	0,024	35
Résistance superficielle externe	-	-	0,060	
<b>Résistance thermique totale</b>			<b>1,996</b>	
<b>POUR UNE PAROI COMPOSEE DE 35 Cm</b>				
La valeur U (transmission calorifique) de la paroi est donc :		<b>U = 0,501 W/m<sup>2</sup>.°C</b>		
		<b>R = 3,217 m<sup>2</sup>.°C/W</b>		

COMPOSITION DE LA PAROI	Enduits terre	Terre-Coulée 30 cm	Enduit chaux	
	Épaisseur e (en mètre)	Conductivité thermique $\lambda$ (en W/m.°C)	Résistance thermique R (en m <sup>2</sup> .°C/W)	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$
Résistance superficielle interne	-	-	0,110	
Enduit terre	0,025	0,660	0,038	8
Terre – coulée 1200kg/m <sup>3</sup>	0,300	0,470	0,638	6
Enduit en chaux/sable	0,025	1,050	0,024	35
Résistance superficielle externe	-	-	0,060	
<b>Résistance thermique totale</b>			<b>0,870</b>	
<b>POUR UNE PAROI COMPOSEE DE 35 Cm</b>				
La valeur U (transmission calorifique) de la paroi est donc :		<b>U = 1,149 W/m<sup>2</sup>.°C</b>		
		<b>R = 0,870 m<sup>2</sup>.°C/W</b>		

### 3 Propositions constructives et performances thermiques

#### Calcul du coefficient U pour des remplissages en végétaux de 20 à 40 cm dans l'ossature

COMPOSITION DE LA PAROI	Enduits terre	Isolant végétal 20 cm	Enduit chaux	
	Épaisseur e (en mètre)	Conductivité thermique λ (en W/m.°C)	Résistance thermique R (en m².°C/W)	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ
Résistance superficielle interne	-	-	0,110	
Enduit terre	0,025	0,660	0,038	8
Chanvre ou lin en vrac	0,200	0,039	5,128	
Fibres de bois bituminées	0,020	0,050	0,400	5
Enduit en chaux/sable	0,025	1,050	<b>0,024</b>	35
Résistance superficielle externe	-	-	0,060	
<b>Résistance thermique totale</b>			<b>5,760</b>	
<b>POUR UNE PAROI COMPOSEE DE 27 Cm</b>				
La valeur U (transmission calorifique) de la paroi est donc :		<b>U = 0,174 W/m².°C</b>		
		<b>R = 5,760 m².°C/W</b>		

COMPOSITION DE LA PAROI	Enduits terre	Isolant végétal 30 cm	Enduit chaux	
	Épaisseur e (en mètre)	Conductivité thermique λ (en W/m.°C)	Résistance thermique R (en m².°C/W)	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ
Résistance superficielle interne	-	-	0,110	
Enduit terre	0,025	0,660	0,038	8
Chanvre ou lin en vrac	0,300	0,039	7,692	
Fibres de bois bituminées	0,020	0,050	0,400	5
Enduit en chaux/sable	0,025	1,050	<b>0,024</b>	35
Résistance superficielle externe	-	-	0,060	
<b>Résistance thermique totale</b>			<b>8,324</b>	

**POUR UNE PAROI COMPOSEE DE 37 Cm**  
La valeur U (transmission calorifique) de la paroi est donc :  
**U = 0,120 W/m².°C**  
**R = 8,324 m².°C/W**

COMPOSITION DE LA PAROI	Enduits terre	Isolant végétal 40 cm	Enduit chaux	
	Épaisseur e (en mètre)	Conductivité thermique λ (en W/m.°C)	Résistance thermique R (en m².°C/W)	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ
Résistance superficielle interne	-	-	0,110	
Enduit terre	0,025	0,660	0,038	8
Chanvre ou lin en vrac	0,400	0,039	10,256	
Fibres de bois bituminées	0,020	0,050	0,400	5
Enduit en chaux/sable	0,025	1,050	<b>0,024</b>	35
Résistance superficielle externe	-	-	0,060	
<b>Résistance thermique totale</b>			<b>10,888</b>	

**POUR UNE PAROI COMPOSEE DE 47 Cm**  
La valeur U (transmission calorifique) de la paroi est donc :  
**U = 0,092 W/m².°C**  
**R = 10,888 m².°C/W**

#### Lecture des résultats

◀ 83 -  
idem

tableau (ill n°82) :  
comparaison entre trois types de remplissages utilisant de la terre crue :  
- terre paille 300 kg/m³  
- terre plaquettes 600 kg/m³  
- terre graveleuses 1200 kg/m³

Pour une épaisseur de 30 cm les valeurs U sont respectivement de :  
-  $U_{\text{TERRE-PAILLE}} = 0,31 \text{ W/m}^2.\text{°C}$   
-  $U_{\text{TERRE-PLAQUETTE}} = 0,50 \text{ W/m}^2.\text{°C}$   
-  $U_{\text{TERRE-COULEE}} = 1,15 \text{ W/m}^2.\text{°C}$

Ces valeurs ne permettent pas d'atteindre le standard des constructions passives, fixé à 0,1 W/m².°C

tableau (ill n°83) :  
comparaison entre trois épaisseurs d'un isolant végétal en vrac:

Selon l'épaisseur les valeurs U sont respectivement de :  
-  $U_{20\text{CM}} = 0,174 \text{ W/m}^2.\text{°C}$   
-  $U_{30\text{CM}} = 0,120 \text{ W/m}^2.\text{°C}$   
-  $U_{40\text{CM}} = 0,092 \text{ W/m}^2.\text{°C}$

Ils faut dépasser 30 cm d'isolant végétal en vrac pour atteindre le standard des constructions passives.

## Une ossature des remplissages

### Les parois extérieures

Afin d'obtenir une isolation suffisamment performante pour réaliser une construction passive, il faut approcher les 35 cm d'épaisseur d'isolant. Une telle largeur est possible dans ce principe d'ossature. De nombreuses solutions sont possibles pour y arriver :

- ajout de panneaux isolants extérieurs
- remplacement des planches de 10 cm par des planches de plus grandes sections.

### Les parois intérieures

Dans le cas des bâtiments passifs, il est important de stocker l'énergie solaire qui entre par rayonnement. Les remplissages en terre permettent un stockage thermique performant. Ils peuvent s'adapter selon leur positionnement dans la construction. Les murs avec le plus d'inertie, comme les remplissages en terre-coulée peuvent être réalisés près des baies vitrées. Les murs plus en retrait peuvent être remplis en terre-plaquettes.

### Exemple d'une réalisation de CARACOL

Ce projet est un réhaussement d'un garage/atelier en pisé et en pierre. L'extension se faisant vers le haut, on peut presque considérer ce projet comme une construction neuve, le pignon ayant été arasé.

Les parois verticales sont en ossature bois et les remplissages varient selon les orientations :

- nord : 15 cm chanvre en vrac + isolant extérieur en fibre de bois 10 cm
- est et ouest : 15 centimètres de terre coulée (récupérée de la démolition du pignon) + isolant extérieur en fibre de bois 10 cm
- sud : pisé existant



◀ 84 - la maison vue de la rue



▶ 85 - des remplissages en terre Coulée

◀ 86 - les cloisons intérieures

▶ 87 - les remplissages finis







## **Annexes**

## Annexes 1

### Resume Du Rapport Planete Vivante 2002

Téléchargeable sur le site [www.wwf.fr](http://www.wwf.fr). Le rapport Planète Vivante du WWF est un aperçu périodique de l'état des écosystèmes de la planète (mesuré par l'indice Planète Vivante) et de la pression humaine exercée sur ceux-ci par la consommation de ressources naturelles renouvelables (mesurée par l'empreinte écologique). Il y a un rapport de cause à effet entre ces deux mesures.

L'indice Planète Vivante mesure les tendances des populations de centaines d'oiseaux, de mammifères, de reptiles, d'amphibiens et de poissons au cours des trente dernières années. Entre 1970 et 2000, cet indice a baissé de 35%. L'indice Planète Vivante est la moyenne des trois indices basés sur les écosystèmes. Sur une période de 30 ans, l'indice de population des espèces forestières a baissé de près de 15%, l'indice de population des espèces marines de près de 35% et l'indice de population des espèces d'eau douce de 55%. Ces fortes tendances à décliner, indiquées par l'indice Planète Vivante, représentent une confirmation quantitative du fait que la planète est en train de subir une perte rapide de biodiversité comparable aux grandes extinctions massives qui n'ont eu lieu que cinq ou six fois dans l'histoire de la planète.

L'empreinte écologique mesure la consommation de ressources naturelles renouvelables par une population humaine, que ce soit celle d'un pays, d'une région ou d'un monde tout entier. L'empreinte écologique d'une population est la surface totale de terre productive ou d'espace marin nécessaire pour produire l'ensemble des récoltes, de la viande, des produits marins, du bois et des fibres qu'elle consomme, pour subvenir à ces besoins en énergie et pour offrir

l'espace nécessaire à la construction de ces infrastructures. L'empreinte écologique peut être mise en regard de la capacité biologique de production des terres et de la mer qui sont à la disposition de la population.

La terre possède près de 11,4 milliards d'hectares de terres productives et d'espaces marins, en faisant abstraction de toutes les surfaces improductives que sont les calottes glacières, les déserts et la haute mer, soit un quart de sa surface. Si on divise cette surface par l'ensemble de la population globale de la terre, cela équivaut tout juste à 1,9 hectare par personne. Alors que le consommateur africain ou asiatique moyen disposait de moins d'1,4 hectare par personne en 1999, l'empreinte de l'Européen occidental moyen atteignait les 5 hectares et celle du Nord Américain moyen était de près de 9,6 hectares.

L'empreinte écologique du consommateur moyen était de 2,3 hectares par personne en 1999, soit 20% au-dessus de la capacité biologique de la Terre qui est de 1,90 hectare par personne. En d'autres termes, l'humanité dépasse désormais la capacité de la Terre à subvenir à ses besoins en ressources renouvelables. Nous pouvons temporairement maintenir ce déséquilibre en puisant dans le capital de la terre en forêts, poissons, et sols fertiles. Nous rejetons également nos émissions excessives de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Aucun de ces deux comportements n'est soutenable sur le long terme ; la seule solution durable est de vivre dans les limites des capacités productives biologiques de la planète.

Cependant, les tendances actuelles entraînent l'humanité loin de ces exigences minimums de durabilité. L'empreinte écologique globale

est passée de 70% de la capacité biologique de la planète en 1961 à près de 120% de sa capacité biologique en 1999. De plus, les projections futures basées sur des scénarios plausibles de croissance de la population, de développement économique et de progrès technologiques montrent que l'empreinte de l'humanité est susceptible d'atteindre les 180% à 220% de la capacité biologique de la terre d'ici à 2050.

Il est bien sûr très peu probable que la Terre soit capable de supporter pendant encore 50 ans un tel déséquilibre écologique sans que des contrecoups ne mettent en danger les futures croissances démographiques et économiques. Mais il serait de loin préférable de prendre en main notre propre destin plutôt que de laisser la nature en décider. Si nous voulons revenir sur le chemin du développement durable, nous devons opérer des changements fondamentaux de quatre manières. Tout d'abord, il est nécessaire d'améliorer l'efficacité en matière de ressources dans la production de biens et de services. Deuxièmement, nous devons consommer les ressources de façon plus efficace et veiller à faire disparaître les disparités entre la consommation des pays à revenus importants et celle des pays à faibles revenus. Troisièmement, la croissance démographique doit être maîtrisée, par la promotion de l'éducation et des services médicaux pour tous. Enfin, il est impératif que nous protégeions, gérons et restaurions les écosystèmes naturels pour conserver la biodiversité et maintenir les services écologiques et conserver et améliorer ainsi la productivité biologique de la planète, au bénéfice des générations présentes et futures.



## Annexes 2

### William E. Rees

#### Biographie

Titulaire d'un doctorat en écologie des populations de l'Université de Toronto, William Rees enseigne depuis 1969-1970 à la School of Community and Regional planning (SCARP) de l'Université de la Colombie-Britannique, où il a occupé le poste de directeur de 1994 à 1999. Il a aussi mis sur pied le programme « Environnement et planification des ressources » de la SCARP. L'enseignement et la recherche de M. Rees sont axés sur les conséquences des tendances environnementales mondiales dans les politiques et la planification publiques, ainsi que sur les conditions écologiques indispensables à un développement socio-économique durable. Il travaille surtout en écologie humaine et en écolo-économie, domaine dans lequel M. Rees est reconnu pour son concept de l'« empreinte écologique ». (L'analyse de l'empreinte écologique permet d'estimer les répercussions de l'humanité sur la biosphère, notamment la superficie des terres productives et des écosystèmes aquatiques dont s'approprie réellement l'homme pour satisfaire à ses besoins. L'empreinte écologique a contribué à relancer le débat sur la capacité de charge de la planète.). M. Rees est un des membres fondateurs de la Société canadienne de l'écolo-économie et il en était le président jusqu'à récemment. Il siège toujours à son conseil d'administration. Actuellement, il participe aussi au « projet de l'intégrité mondiale », qui vise à définir les exigences écologiques et politiques pour la préservation de la biodiversité. Il est invité à donner des conférences sur ces thèmes d'un bout à l'autre du Canada et des États-Unis, ainsi qu'en Australie, en

#### Extrait de W.E. Rees, *More jobs, less damage : a framework for sustainability, growth and employment. Alternatives (1995)*

##### On Natural Capital

Natural capital refers to «a stock [of natural assets] that yields a flow of valuable goods and services into the future.» For example, a forest or a fish stock can provide a flow or harvest that is potentially sustainable year after year. The stock that produces this flow is « natural capital» and the sustainable flow is «natural income.» Natural capital also provides such services as waste assimilation, erosion and flood control, and protection from ultra-violet radiation (the ozone layer is a form of natural capital). These life support services are also counted as natural income. Since the flow of services from ecosystems often requires that they function as intact systems, the structure and diversity of the system may be an important component of natural capital.

There are three broad classes of natural capital: Renewable natural capital, such as living species and ecosystems, is self-producing and self-maintaining using solar energy and photosynthesis. These forms can yield marketable goods such as wood fibre, but may also provide unaccounted essential services when left in place (e.g., climate regulation). Replenishable natural capital, such as groundwater and the ozone layer, is non-living but is also often dependent on the solar «engine» for renewal. Finally, non-renewable natural capital such as fossil fuel and minerals, are analogous to inventories - any use implies liquidating part of the stock.

This article takes the position that since adequate stocks of self-producing and replenishable natural capital are essential for life support (and are generally non-substitutable), these forms are more important to sustainability than are non-renewable forms.

**Source :** *W.E. Rees, More jobs, less damage : a framework for sustainability, growth and employment. Alternatives (1995)*

Autriche, en Chine, en Finlande, en France, en Allemagne, en Hongrie, au Japon, au Mexique, en Hollande, en Norvège, en Indonésie, en Italie, en Corée, en ex-Union soviétique, en Espagne, au Sri Lanka, en Suède et au Royaume-Uni. En 1997, M. Rees a reçu le prix Killam de recherche de l'Université de la Colombie-Britannique en reconnaissance de ses réalisations en recherche.

### Liste d'articles et de livres

#### Compilation à l'appui d'un Séminaire d'Environnement Canada en recherche sur les politiques, tenu à Hull, le 13 octobre 2000.

1. Fenge, T. & Rees, W.E. Hinterland or homeland? Land-use planning in Northern Canada. Ottawa : Canadian Arctic Resources Committee, 1987.
2. Gardner, J.E., Boothroyd, P. & Rees, W.E. The role of environmental assessment in promoting sustainable development : three views. Vancouver, B.C. : School of Community and Regional Planning, University of British Columbia, 1988.
3. Holling, C.S., Rees, W.E. & Maini, J.S. Challenges for environmental science into the 21st century. Hull, QC : Office of the Science Advisor, Environment Canada, 1993.
4. Rawson Academy of Aquatic Science, Rees, W.E., Boothroyd, P. & Gamble, D.J. Background paper on EARP reform : activities. Vancouver, B.C. : School of Community and Regional Planning, University of British Columbia, 1987. Notes: Préparé pour le Conseil canadien de la recherche sur l'évaluation environnementale.
5. Rees, W.E. The Canada Land Inventory Program : a conceptual framework for regional land-use planning. Vancouver, B.C. : Centre for Continuing Education, University of British Columbia, 1973.
6. Rees, W.E. The Canada Land Inventory in perspective.

Hull, QC : Fisheries and Environment Canada, Lands Directorate, 1977. Report # 12.

7. Rees, W.E. Inventaire des terres du Canada en perspective. Hull, QC : Pêches et Environnement Canada, Direction générale des terres, 1977. Rapport n° 12.

8. Rees, W.E. Environmental assessment of hydrocarbon production from the Canadian Beaufort Sea. Vancouver, B. C. : University of British Columbia, School of Community and Regional Planning, 1984.

9. Rees, W.E. Norman Wells impact funding : boon or bust ? Canadian Public Administration = Administration publique du Canada (1989) 32 (1) : 104-123.

10. Rees, W.E., (ed.) & Bailey, S. (co-ed.) ... et al. Planning for sustainable development : a resource book. Vancouver, B.C. : UBC Centre for Human Settlements, 1989. Notes: Compte rendu d'un symposium tenu en novembre 1988.

11. Rees, W.E. The ecology of sustainable development. Ecologist (1990) 20 (1) : 18-23.

12. Rees, W.E. Atmospheric change : human ecology in disequilibrium. International Journal of Environmental Studies (1990) 36 (1/2) : 103-124.

13. Rees, W.E. Sustainable development as capitalism with a green face : a review article. Town Planning Review (1990) 61 (1) : 91-94. Notes: Review of Blueprint for a green economy : a report for the UK Dept. of the Environment by D. Pearce, A. Markandya and E. B. Barbier. London : Earthscan, 1989. Compte rendu de ce livre.

14. Rees, W.E. Cumulative environmental assessment and global change. Environmental Impact Assessment Review (1995) 15 (4) : 295-309.

15. Rees, W.E. More jobs, less damage : a framework

## Annexes 3

Extrait et traduction de :

### Module : Architecture Durable Qualités, Utilisations et Exemples pour des matériaux de construction durables

### Caractéristiques des matériaux de construction durable

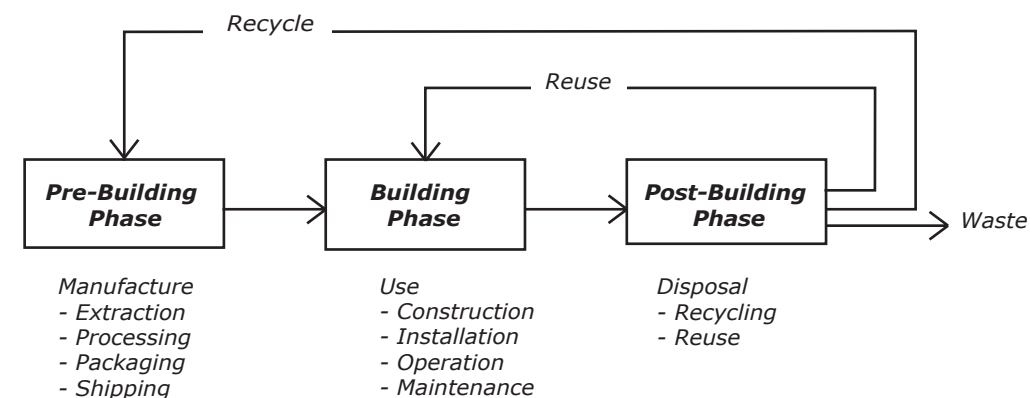
Nous avons identifié trois groupes de critères, fondés sur le cycle de vie des matériaux, qui peuvent être utilisés pour évaluer la durabilité environnementale des matériaux de construction. La présence d'une ou plus de ces caractéristiques dans les matériaux de construction les rendent « environnementalement » durable.

### Mesures de Prévention de la Pollution à la Fabrication

Les mesures de prévention de la pollution prise au niveau du procédé de fabrication peuvent contribuer de façon significative sur la durabilité environnementale. Un même matériau de construction peut être produit par plusieurs fabricants utilisant divers procédés. Certains fabricants sont plus consciencieux que d'autres par rapport au lieu d'où viennent leurs matières premières et comment elles sont collectées. Pendant que toutes les industries sont tenues dans une certaine mesure par les réglementations de pollution gouvernementales, certaines entreprises individuelles vont au-delà des exigences légales en assurant que leur procédé pollue le moins possible. Ces entreprises étudient et réexaminent constamment comment être efficient et réduire l'accumulation de déchets et de pollutions là où se fait la fabrication. En effet, ils font leur

▼ Three phases of the building material life cycle.

*Les trois phases du cycle de vie des matériaux de construction.*



### Sustainable Architecture Module:

### Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials

Written by  
Jong-Jin Kim, Assistant Professor of Architecture,  
and Brenda Rigdon, Project Intern;  
Edited by  
Jonathan Graves, Project Intern;  
College of Architecture and Urban Planning  
The University of Michigan  
Published by

### Features of Sustainable Building Materials

*We identified three groups of criteria, based on the material life cycle, that can be used in evaluating the environmental sustainability of building materials. The presence of one or more of these features in building materials make it environmentally sustainable.*

propre analyse de cycle de vie de procédé interne.

Choisir des matériaux fabriqués par des entreprises « environnementalement » responsables encourage leurs efforts de prévention de la pollution. Bien que ces produits aient parfois un prix plus important, choisir un produit qui génère un haut niveau de pollution exploite l'environnement.

La loi de « l'offre et de la demande » marche aussi en sens inverse : une baisse de la demande pour un produit réduit sa production. Réduire la production veut dire moins de déchets dans les sites d'enfouissements et moins d'énergie consommée pendant la fabrication, ainsi qu'un plus petit volume de matières premières gaspillées-mélangées. Un emballage environnementalement sain peut être une caractéristique de la prévention de la pollution, dans le sens que l'emballage et l'expédition influe sur l'accumulation de déchets générés.

L'eau est utilisée en grande quantité dans de nombreux procédés de fabrication, particulièrement pour la production du papier, du ciment, et des métaux. Les eaux usées sont souvent rejetées directement dans les cours d'eau et peuvent contenir des substances toxiques. Les teintures utilisées pour colorer le papier et les fibres de moquettes sont des exemples des polluants qui s'échappent gentiment par les égouts.

En se tenant au courant des fabricants qui utilisent des méthodes de fabrication environnementalement durable, en prescrivant leurs produits, et en évitant bien ceux qui sont produits à travers des méthodes très polluantes, les architectes peuvent encourager le marché des matériaux de construction durables.

## **Mesures de Réduction des Déchets à la Fabrication**

La caractéristique de réduction des déchets indique que le fabricant a fait un pas pour faire un processus de fabrication plus efficient, en réduisant la somme de déchets de matériaux qui en résulte. Ces déchets peuvent venir des différentes phases de la fabrication, ou de produits défectueux ou endommagés. Les produits ayant cette caractéristique peuvent incorporer des déchets de matériaux ou les envoyer se faire recycler quelque part. Certaines industries peuvent alimenter leurs opérations en utilisant les déchets de produits générés sur place ou par d'autres industries. Ces options réduisent les déchets qui vont dans les sites d'enfouissement.

## **Pollution Prevention Measures in Manufacturing**

*Pollution prevention measures taken during the manufacturing process can contribute significantly to environmental sustainability. Identical building materials may be produced by several manufacturers using various processes. Some manufacturers are more conscientious than others about where their raw materials come from and how they are gathered. While all industries are bound to some extent by government regulations on pollution, some individual companies go far beyond legal requirements in ensuring that their processes pollute as little as possible. These companies are constantly studying and revising how they produce goods to both improve efficiency and reduce the amount of waste and pollutants that leave the factory. In effect, they perform their own life cycle analysis of internal processes.*

*Selecting materials manufactured by environmentally responsible companies encourages their efforts at pollution prevention. Although these products may have an initially higher "off-the-shelf" price, choosing products that generate higher levels of pollution exploits the environment.*

*The "law of supply and demand" also works in reverse: reduced demand for a product results in lower production. Lowered production means less waste discharged and less energy consumed during manufacturing, as well as a lower volume of raw materials that must be gathered. Packaging that is environmentally sound can be a pollution prevention feature, as the way in which a product is packaged and shipped affects the total amount of waste it generates. Water is used in large quantities in many manufacturing processes, especially in the production of paper, cement, and metals. This wastewater is often released directly into streams and can contain toxic substances. Dye used for coloring paper and carpet fiber are examples of environmental contaminants that escape freely into the waste stream.*

*By becoming aware of which manufacturers use environmentally sustainable manufacturing methods, specifying their products, and avoiding goods produced through highly polluting methods, architects can encourage the marketing of sustainable building materials.*

## **Waste Reduction Measures in Manufacturing**

*The waste reduction feature indicates that the manufacturer has taken steps to make the production process more efficient, by reducing the amount of scrap material that results. This scrap may come from the various molding, trimming, and finishing processes, or from defective and damaged products. Products with this feature may incorporate scrap materials or removed them for recycling elsewhere. Some industries can power their operations by using waste products generated on-site or by other industries. These options reduce the waste that goes into landfills.*

*Reducing waste in the manufacturing process increases the resource efficiency of building materials. Oriented strand board and other wood composite materials are made almost entirely from the waste produced during the process of milling trees into dimensi ducing the dangers of landfill disposal. Water used for cooling equipment or mixing can be filtered and reused rather than discharged into the waste stream.*



La réduction des déchets dans le processus de fabrication augmente l'efficacité des matériaux de construction. Les « OSB » et les autres matériaux composites du bois sont presque tous composés de déchets produits lors du dimensionnement des arbres en bois d'œuvre. Les étuves utilisées pour sécher le bois pourraient être alimentées par la sciure générée sur place, réduisant en même temps les déchets du dimensionnement et le besoin de carburants fossiles raffinés. Le béton peut incorporer des cendres volantes des opérations de fonderies. La brique, une fois cuite, est inerte, elle ne réagit plus avec son environnement. Le processus de cuisson peut être utilisé pour emprisonner des déchets faiblement toxiques dans la brique, réduisant ainsi les dangers d'enfouissement. L'eau utilisée pour les équipements de rafraîchissement ou le mélangeage peut être filtrée et réutilisée plutôt que déversée dans les égouts.

## Contenu Recyclé

Un produit caractérisant un contenu recyclé a été partiellement ou entièrement produit à partir de déchets post-industriels ou post-consommation. L'incorporation de matériaux provenant des déchets de processus industriel ou des ménages dans les produits de construction réduit le flot de déchets et la demande en ressources naturelles vierges.

En recyclant les matériaux, l'énergie qu'ils contiennent est préservée. L'énergie utilisée dans le processus de recyclage de la plupart des matériaux est bien moindre que l'énergie utilisée pour la fabrication originale. L'aluminium, par exemple, peut être recyclé pour seulement 10 à 20% de l'énergie nécessaire pour transformer le minerai cru en produit fini. Les principaux matériaux de constructions potentiellement recyclables comprennent du verre, du plastique, des métaux, du béton ou des briques cuites, et du bois. Ils représentent généralement la plus grosse part de la construction du bâtiment. La fabrication de chacun de ces matériaux peut facilement incorporer des déchets de produits. Le verre, le plastique et le métal peuvent être recyclés par la cuisson. Le béton ou les briques peuvent être broyés et utilisés en tant qu'agrégats pour les nouvelles constructions. Le bois peut être scié à nouveau en plus petites dimensions, ou décheté pour être en faire des panneaux d'« OSB ».

► Table comparing embodied energy content of common building materials from primary vs. secondary sources.

Tableau comparatif des énergies induites contenu dans les matériaux de construction issus des ressources primaires ou secondaires.

## Recycled Content

*A product featuring recycled content has been partially or entirely produced from post-industrial or post-consumer waste. The incorporation of waste materials from industrial processes or households into usable building products reduces the waste stream and the demand on virgin natural resources.*

*By recycling materials, the embodied energy they contain is preserved. The energy used in the recycling process for most materials is far less than the energy used in the original manufacturing. Aluminum, for example, can be recycled for 10–20% of the energy required to transform raw ore into finished goods.<sup>2</sup> Key building materials that have potential for recycling include glass, plastics, metals, concrete or brick, and wood. These generally make up the bulk of a building's fabric. The manufacturing process for all of these materials can easily incorporate waste products. Glass, plastics, and metal can be reformed through heat. Concrete or brick can be ground up and used as aggregate in new masonry. Lumber can be resawn for use as dimensional lumber, or chipped for use in composite materials such as strand board.*

## Embodied Energy Reduction

*The embodied energy of a material refers to the total energy required to produce that material, including the collection of raw materials. This includes the energy of the fuel used to power the harvesting or mining equipment, the processing equipment, and the transportation devices that move raw material to a processing facility. This energy typically comes from the burning of fossil fuels, which are a limited, non-renewable resource. The combustion of fossil fuels also has severe environmental consequences, from localized smog to acid rain. The greater a material's embodied energy, the greater the amount of energy required to produce it, implying more severe ecological consequences. For example, the processing of wood (harvested in a sustainable fashion) involves far less energy and releases less pollution than the processing of iron, which must be extracted from mined ores.*

*A revision of a manufacturing process that saves energy will reduce the embodied energy of the material. Conventional materials with a high embodied energy can often be replaced by a material with low embodied energy, while using conventional design and construction techniques.*

Material	Virgin	Recycled
Aluminium	196	27
Polyethylene	98	56
PVC	65	29
Steel	40	18

## Réduction de l'Énergie Induite ou Emmagasinée

L'énergie induite d'un matériau se réfère à l'énergie totale nécessaire pour produire ce matériau, collecte de la matière première incluse (voir figure 2). Cela inclut l'énergie du carburant utilisé pour alimenter les équipements de récolte et d'exploitation minière, les équipements de traitement de la matière première, et la façon de transporter la matière première vers un dispositif de production. Généralement, cette énergie provient de la consommation de carburants fossiles, qui sont limités : ce sont des ressources non renouvelables. La combustion des carburants fossiles a aussi de sérieuses conséquences sur l'environnement, des pollutions locales aux pluies acides. Plus le matériau à d'énergie induite, plus il faut d'énergie pour le produire, plus cela implique des conséquences sérieuses sur l'environnement. Par exemple, le processus du bois (cultivé de façon durable) implique beaucoup moins de dépenses énergétiques et de pollution résultante que le processus de l'acier, qui doit être extrait de minerais. Une amélioration du processus de fabrication afin d'économiser de l'énergie, réduit l'énergie induite du matériau. Les matériaux conventionnels qui ont une forte énergie induite peuvent souvent être remplacés par un matériau avec une plus petite énergie induite, tout en utilisant des techniques de conception et de construction conventionnelles.

## Utilisation de Matériaux Naturels

Les matériaux naturels ont souvent une énergie induite et une toxicité moindre que les matériaux fabriqués par l'homme. Ils ont besoins de moins de transformation et endommagent moins l'environnement. Nombreux, comme le bois, sont théoriquement renouvelables. Quand des matériaux naturels sont incorporés dans les produits de construction, ils rendent ceux-ci plus durables.

## Réduction des déchets pendant la construction

La minimisation des déchets de construction pendant la mise en œuvre réduit le besoin d'espaces d'enfouissements, et permet de réduire le coût du bâtiment. Le béton, par exemple, est traditionnellement déjà mélangé à l'eau et livré sur le site. On demande souvent un peu plus de matière que ce qui est nécessaire, afin d'éviter le problème de délais de livraison d'un nouveau transport s'il en manquait. Ce surplus est généralement mis en décharge ou vider sur le site. En comparaison,

## *Use of Natural Materials*

*Natural materials are generally lower in embodied energy and toxicity than man-made materials. They require less processing and are less damaging to the environment. Many, like wood, are theoretically renewable. When natural materials are incorporated into building products, the products become more sustainable.*

## *Reduction of Construction Waste*

*Minimal construction waste during installation reduces the need for landfill space and also provides cost savings. Concrete, for example, has traditionally been pre-mixed with water and delivered to the site. An excess of material is often ordered, to prevent pouring delays should a new shipment be needed.*

*This excess is usually disposed of in a landfill or on-site. In contrast, concrete mixed on-site, as needed, eliminates waste, and offers better quality control.*

*Designing floor intervals to coincide with the standard lengths of lumber or steel framing members also reduces waste. Taking advantage of the standard sizes of building materials in the design phase reduces waste produced by trimming materials to fit, as well as the labor cost for installation.*

## *Local Materials*

*Using locally produced building materials shortens transport distances, thus reducing air pollution produced by vehicles.*

*Often, local materials are better suited to climatic conditions, and these purchases support area economies. It is not always possible to use locally available materials, but if materials must be imported they should be used selectively and in as small a volume as possible. For instance, the decorative use of marble quarried halfway around the world is not a sustainable choice. Steel, when required for structural strength and durability, is a justifiable use of a material that is generally manufactured some distance from the building site.*

## *Energy Efficiency*

*Energy efficiency is an important feature in making a building material environmentally sustainable. The ultimate goal in using energy-efficient materials is to reduce the amount of generated energy that must be brought to a building site. The long-term energy costs of operating a building are heavily dependent on the materials used in its construction.*

le béton fait sur place, à la demande, élimine les déchets, et offre un meilleur contrôle de qualité.

Concevoir des hauteurs d'étage qui coïncident avec les hauteurs standard du bois ou de l'acier réduit aussi les déchets. Profiter des tailles standard des matériaux de construction dès la conception réduit les déchets lors de la mise à longueur, ce qui réduit en même temps le coût de mise en œuvre.

## Matériaux Locaux

L'utilisation de matériaux de construction produits localement réduit les distances de transport, ce qui réduit la pollution de l'air produite par les véhicules. Souvent, les matériaux locaux sont plus adaptés aux conditions climatiques locales, et leur vente maintient des espaces économiques locaux. Il n'est pas toujours possible d'utiliser les matériaux disponibles localement, mais si des matériaux doivent être importés, ils devront être utilisés de manière sélective et en volume réduit. Par exemple, l'utilisation de marbre décoratif venant de l'autre côté de la planète n'est pas un choix durable. L'acier, lorsque l'on a besoin d'une certaine puissance structurelle durable, est une utilisation justifiable d'un matériau généralement produit loin du site de construction du bâtiment.

## Efficiences Energétique

L'efficacité énergétique est une caractéristique importante pour fabriquer un matériau de construction environnementalement durable. Le but final dans l'utilisation des matériaux énergétiquement efficaces est de réduire la somme d'énergie produite qui doit être amenée sur un site de construction. Le coût énergétique à long-terme d'un bâtiment est fortement lié aux matériaux utilisés pour sa construction.

- **Coefficient d'ombrage (d'émissivité)** : En tout état de cause la lumière du jour est la moins chère et la plus agréable de toutes les sources lumineuses, le gain de chaleur solaire direct qui l'accompagne n'est pas toujours le bienvenu, particulièrement dans les climats chauds. Le coefficient d'émissivité est un ratio du gain solaire du vitrage d'un bâtiment en particulier par rapport à celui d'un double-vitrage standard de la même superficie. Ceci permet la comparaison du blocage solaire effectif des différents types de verre, des dispositifs d'ombrages, de

*Depending on type, the energy-efficiency of building materials can be measured using factors such as R-value, shading coefficient, luminous efficiency, or fuel efficiency. Preferred materials slow the transfer of heat through a building's skin, reducing the need for heating or cooling. Quantitative measurements of a building material's efficiency are available to help in the comparison of building materials and determining appropriateness for certain installations.*

- *R-Value: Building envelopes are generally rated by their insulating value, known as the R-value. Materials with higher R-values are better insulators; materials with lower R-values must be used in thicker layers to achieve the same insulation value. R-values can be measured for individual materials (e.g., insulation, siding, wood paneling, brick) or calculated for composite structural elements (e.g., roofing, walls, floors, windows). Many types of insulation materials are available, from organic cellulose made from recycled paper to petrochemical-derived foams.*

- *Shading Coefficient: Although daylighting is the cheapest and most pleasant form of illumination, the accompanying heat gain from direct solar radiation is not always welcome, particularly in hot climates. The shading coefficient (SC) is a ratio of the solar heat gain of a building's particular fenestration to that of a standard sheet of double-strength glass of the same area. This allows a comparison of the sun-blocking effectiveness of various glass types, shading devices, and glazing patterns. Shading devices can be designed to block solar heat gain at certain times of the day or year: overhangs are often used to block high summer sun but admit direct light during the winter. Certain types of glass or applied films allow selective transmission of the visible radiation (light) while preventing or reducing the transmission of infrared radiation (heat).*

- *System Efficiency: Electrical and mechanical systems are responsible for more than 50% of a building's annual energy costs.<sup>3</sup> Heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) systems should be selected for the greatest efficiency at the most commonly experienced temperatures. A system that offers peak efficiency at an outdoor temperature experienced by the building's climate only 5% of the time will not necessarily be the best choice. Regular maintenance programs are also necessary to keep equipment operating at peak efficiency.*

## Water Treatment/Conservation

*Products with the water treatment/conservation feature either increase the quality of water or reduce the amount of water used on a site. Generally, this involves reducing the amount of water that must be treated by municipal septic systems, with the accompanying chemical and energy costs. This can be accomplished in two ways: by physically restricting the amount of water that can pass through a fixture (showerhead, faucet, toilet) or by recycling water that has already*

l'emplacement des vitrages. Le dispositif d'ombrage peut être conçu pour bloquer les gains de chaleur solaire à certains moments du jour ou de l'année : les surplombs sont souvent utilisés pour bloquer le soleil haut de l'été, mais permettre à la lumière de rentrer l'hiver. Certains types de verres ou l'application de films permettent la transmission sélective des rayons visibles (lumière) tout en protégeant ou réduisant la transmission des infra rouges (chaleur).

- **Efficienc e du fonctionnement** : Les systèmes électriques et mécaniques sont responsables de plus de la moitié des dépenses énergétiques annuelles des bâtiments. Les systèmes de chauffage, de ventilation et d'air conditionné doivent être choisis pour avoir la meilleure efficacité selon toutes les saisons. Un système, qui permettrait à son maximum d'efficacité de dans des cas de températures extrêmes qui n'arrivent que pour 5% du temps ne serait pas nécessairement le bon choix. Un programme de maintenance régulier est aussi nécessaire pour permettre à l'équipement de rester au sommet de son efficience.

## Traitement et conservation de l'eau

Les produits ayant la caractéristique de *traitement et conservation de l'eau* doivent, soit augmenter la qualité de l'eau soit réduire la consommation d'eau utilisée sur le site. Généralement, cela implique la réduction la somme de l'eau qui devra être traitée par les systèmes d'épurations municipaux, ainsi que tout ce qui l'accompagne en tant qu'agents chimiques et coût énergétique. Cela peut être accompli de deux façons : par une restriction physique en réduisant le passage de l'eau à travers les éléments sanitaires (pommeau de douche, robinets, toilettes) ou par le recyclage de l'eau qui est déjà entrée sur le site. Par exemple, les eaux usées de la cuisine ou du lavage des mains peuvent être canalisées vers les chasses d'eau ; la capture de l'eau de pluie peut être utilisée pour l'arrosage.

La *conservation de l'eau* pose non seulement la question de l'utilisation efficiente de l'eau mais aussi celle de la réduction globale du volume consommé. Les systèmes d'économie d'eau pour les sanitaires et les toilettes sont maintenant largement utilisés dans les résidences et les bâtiments commerciaux. Même dans la région des Grands Lacs, avec son eau douce abondante, la question de la conservation de l'eau tellement les stations d'épuration et de traitement de l'eau sont débordées par l'étalement urbain. A l'exception des bâtiments qui récupèrent et traitent l'eau, toute l'eau qui rentre ou sort d'un bâtiment doit être traitée.

Les toilettes à vide d'air ou les toilettes sèches utilisent très peu d'eau et produisent donc moins de déchets. L'avantage des toilettes sèches est qu'il

*entered the site. For instance, graywater from cooking or handwashing may be channeled to flush toilets; captured rainwater may be used for irrigation.*

*Water Conservation issues address efficient use of water as well as an overall reduction in the volume consumed. Water-saving showerheads and toilets are now widely used in residences as well as commercial buildings. Even in the Great Lakes region, with its abundant freshwater, conservation becomes an issue as municipal water treatment plants and septic systems are strained by urban sprawl. With the exception of buildings utilizing well-water and septic systems, all water that comes into or leaves a building must be treated.*

*Vacuum-assisted or composting toilets use very little water and therefore produce less waste. The advantages of composting toilets are that no waste enters the already overburdened waste stream, and the resulting compost can be used as fertilizer. The potential to separate the wastewater stream into "graywater" (dirty from washing or cooking but not containing human or animal waste) and "blackwater" (sewage 3 Paul Graham McHenry, Jr., Adobe and Rammed Earth Buildings: Design and Construction (New York: John Wiley, 1984). containing biological waste or factory effluent) can be incorporated into plumbing and fixture design. Restrooms in Japan commonly direct water from the sink drain to the toilet tank, where it is used to flush toilets. The use of indigenous plants that are drought-tolerant reduces the need for irrigation, as important a consideration for the homeowner in Detroit as in Phoenix.*

*Rainwater collected from roofs or paved parking lots can be used for flushing toilets and landscape irrigation. The building itself can be designed to act as a collector of rainwater, to be stored in a cistern for later use. For health reasons, current building codes prohibit the use of this gathered water for human consumption, but it is possible that future water purification devices will make on-site water safe to drink—at a lower cost than current municipal water treatment.*

## Use of Non-Toxic or Less-Toxic Materials

*Non- or less-toxic materials are less hazardous to construction workers and a building's occupants. Many materials adversely affect indoor air quality and expose occupants to health hazards. Some building materials, such as adhesives, emit dangerous fumes for only a short time during and after installation; others can contribute to air quality problems throughout a building's life.*

*Air Quality and Reduced Toxicity: The rush to make buildings airtight in the wake of the 1970s oil crises created a new health problem: "sick building syndrome." This occurs when natural or artificial ventilation is inadequate to remove odors and chemicals emitted by certain building materials. These substances may be hazardous, even carcinogenic. The resins in plywood, particleboard, and the chemicals*

permet de ne pas rajouter de déchets dans les égouts déjà surchargés, et le compost qui en résulte peut être utilisé comme engrais. Le potentiel de séparation des eaux usées en « eaux-grises » (eau de lavage ou de cuisine ne contenant pas de déjections humaines ou animales) et « eaux-noires » (eaux usées contenant des déchets biologiques ou des effluents industriels) peut être incorporé dans la plomberie dès la conception du système. Communément dans les toilettes au Japon l'eau du lavabo est dirigée directement vers le réservoir des toilettes, où elle sera utilisée pour la chasse d'eau. L'utilisation de plantes indigènes qui résistent à la sécheresse réduit le besoin en arrosage, ce qui est une considération importante pour les habitants de Detroit ou de Phoenix.

L'eau de pluie collectée par les toitures et les parkings pavés peut être utilisée pour alimenter les chasses d'eau et l'arrosage. Le bâtiment lui-même peut être conçu pour agir comme un collecteur d'eau de pluie, pour la stocker dans une citerne et l'utiliser plus tard. Pour des raisons de santé, le code de la construction actuel interdit l'utilisation de cette eau impropre à la consommation humaine, mais il est possible que de futurs systèmes permettent de rendre l'eau potable sur place – à un coût moindre que celui de la station d'épuration.

## Utilisation de Matériaux Non-Toxiques ou Moins Toxiques

Les *matériaux pas ou peu toxiques* sont moins dangereux pour les travailleurs du bâtiment et les occupants. Beaucoup de matériaux influencent défavorablement la qualité de l'air intérieur et mettent en danger la santé des occupants. Quelques matériaux de construction, comme les adhésifs, dégagent des émanations dangereuses seulement pendant un court moment pendant et après la pose ; d'autres peuvent contribuer aux problèmes de qualité de l'air durant toute la vie du bâtiment.

*Qualité de l'air et toxicité réduite* : La précipitation pour fabriquer des bâtiments hermétiques suite à la crise du pétrole du début des années 1970, a donné naissance à un nouveau problème de santé : « le syndrome du bâtiment malsain ». Cela apparaît lorsque la ventilation naturelle ou artificielle est insuffisante pour extraire les odeurs et les substances chimiques émises par certains matériaux de construction. Ces substances peuvent être dangereuses, parfois cancérigènes. Les résines contenues dans le contreplaqué, les panneaux de particules, et les substances chimiques utilisées dans la fabrication des mousses isolantes sont impliquées dans le syndrome du bâtiment malsain. Le formaldéhyde, le benzène, l'ammoniaque, et d'autres substances chimiques dangereuses ou cancérigènes sont présentes dans de nombreux matériaux de construction, meubles et produits de nettoyage.

Auparavant, le taux d'infiltration d'air venant de l'extérieur à travers les brèches et les fissures de l'enveloppe du bâtiment compensaient la contamination de

*used in foam insulation have been implicated in sick building syndrome. Formaldehyde, benzene, ammonia, and other hazardous or cancer-causing chemicals are present in many building materials, furnishings, and cleaning solutions.*

*Previously, the infiltration rate of outside air through the gaps and cracks in a building's envelope compensated for contamination of the inside air by human respiration, bacteria or molds, and material emissions. The problem of indoor air contamination is magnified by the increasing airtightness of buildings. Super-insulating buildings in attempts to conserve energy has caused reduced air infiltration, meaning occupants are exposed to higher concentrations of toxins for longer time periods. The health effects of these toxins must be considered when selecting materials and calculating air exchange rates. By selecting materials with lower or nonexistent levels of these materials, environmental health problems can be avoided and the need for expensive air scrubbers reduced. Material toxicity is of increasing concern with the growing number of building products containing petroleum distillates.*

*These chemicals, known as volatile organic compounds (VOCs) can continue to be emitted into the air long after the materials containing them are installed. The severity of this process, called "outgassing," is dependent on the chemicals involved, rate emission, concentration in the air, and length of exposure. Many adhesives, paints, sealants, cleaners, and other common products contain VOCs. Often, the substances are only exposed for a short time during and after installation; the outgassing diminishes drastically or completely once the offending materials have cured or been covered by other building materials. Therefore, higher air cycling rates are recommended during installation of these materials and for several months following building occupation.*

## Renewable Energy Systems

*Building sites are surrounded by natural energy in the forms of wind, solar radiation, and geothermal heat. Renewable energy systems can be used to supplement or eliminate traditional heating, cooling, and electrical systems through the utilization of this natural energy. Components that encourage daylighting, passive and active solar heating, and on-site power generation are included in this category. Solar power can be utilized in many forms, both for heating and production of electricity.*

*In many parts of the country, windpower is a feasible way to generate electricity and pump water. Active solar or geothermal heat requires outside electricity for pumps but still saves energy in comparison to the operation costs of traditional mechanical systems.*

l'air intérieur par la respiration humaine, les bactéries et moisissures, et les émissions des matériaux. Le problème de la contamination de l'air intérieur est amplifié par la quasi-étanchéité des bâtiments. Les super-isolations qui tentent de conserver l'énergie provoquent une réduction des infiltrations d'air, ce qui signifie que les occupants sont exposés à de plus hautes concentrations de toxines pendant plus longtemps. Les effets sur la santé de ces toxines doivent être étudiés au moment du choix des matériaux et du calcul des taux d'échange d'air. En choisissant des matériaux contenant peu ou pas de ces substances, les problèmes de santé liés à l'environnement pourraient être évités et les besoins de ventilation mécanique réduits.

La toxicité de la matière est une préoccupation de plus en plus importante du fait de la croissance du nombre de produits de construction contenant des dérivés du pétrole. Ces substances chimiques, appelées composés organiques volatiles (COV) peuvent être émis dans l'air pendant un long moment après que les matériaux qui en contiennent ai été installés. La gravité de ce processus, appelé émanation, dépend des substances impliquées, du taux d'émission, de la concentration dans l'air, et du temps d'exposition. Beaucoup d'adhésifs, de peinture, de diluants, de détergents et d'autres produits communs contiennent de COV. Souvent, l'exposition à ces substances est courte et limitée à la mise en place et à la dépose ; L'émanation diminue rapidement ou complètement dès que les matériaux mis en cause ont séché ou ont été recouverts par un autre matériau de construction. De ce fait, un plus grand taux de renouvellement d'air est recommandé pendant la mise en œuvre de ces matériaux et pendant quelques mois avant l'occupation du bâtiment.

## Systèmes d'énergie Renouvelable

Les sites de construction sont entourés d'énergie naturelle sous la forme de vent, de radiation solaire, et de chaleur géothermique. Les systèmes d'énergie renouvelable peuvent être utilisés en complément ou en remplacement du chauffage traditionnel, de la climatisation, et des systèmes électriques grâce à l'utilisation de ces énergies naturelles. Les composants qui permettent l'éclairage par la lumière naturelle, l'utilisation passive et active du soleil, la production de l'énergie sur place sont compris dans cette catégorie. L'énergie solaire peut être utilisée de plusieurs façon, que ce soit pour se chauffer ou pour produire de l'électricité. En de nombreux endroits à la campagne, l'utilisation de l'énergie éolienne est envisageable pour générer de l'électricité ou pour pomper de l'eau. Le solaire actif et le chauffage géothermique ont besoin d'électricité pour faire tourner les pompes mais ils permettent tout de même de faire des économies par rapport aux systèmes mécaniques traditionnels.

## Longue Durée de Vie

Les matériaux qui ont une longue vie par rapport aux autres matériaux conçus

### **Longer Life**

*Materials with a longer life relative to other materials designed for the same purpose need to be replaced less often. This reduces the natural resources required for manufacturing and the amount of money spent on installation and the associated labor. Durable materials that require less frequent replacement will require fewer raw materials and will produce less landfill waste over the building's lifetime.*

*Durability: The durability of materials is an important factor in analyzing a building's life-cycle costs. Materials that last longer will, over a building's useful life, be more cost-effective than materials that need to be replaced more often. By looking at durability issues, the selection of initially expensive materials like slate or tile can often be justified by their longer lifespans.*

*Low Maintenance: Maintenance consumes a significant portion of a building's operating budget: over the building's lifetime, maintenance can easily exceed the original construction costs.*

*This includes the cost of labor, cleaning/polishing materials, equipment, and the replacement of items valued at less than \$5,000.<sup>4</sup> Less frequent cleaning of materials reduces the exposure of the building occupants and janitorial staff to cleaning chemicals—this is especially important for surfaces or systems that must be cleaned with petroleum-based solvents.*

### **Reusability**

*Reusability is a function of the age and durability of a material. Very durable materials may have many useful years of service left when the building in which they are installed is decommissioned, and may be easily extracted and reinstalled in a new site. Windows and doors, plumbing fixtures, and even brick can be successfully reused. Timber from old barns has become fashionable as a reclaimed material for new construction. The historic preservation movement in this country has spawned an entire industry devoted to salvaging architectural elements of buildings scheduled for demolition.*

*These materials are used in the renovation of old buildings as well as in new construction. In many cases, the quality of materials and craftsmanship displayed by these pieces could not be reproduced today.*

*4 Alphonse J. Dell'Isola and Stephen J. Kirk, Life Cycle Costing for Design Professionals (New York: McGraw-Hill, 1981).*

pour la même utilisation ont besoin d'être changés moins souvent. Cela réduit le besoin en ressources naturelles pour la fabrication et le coût dépensé pour la mise en œuvre et les travaux associés. Les matériaux durables qui doivent être remplacés moins souvent auront besoin plus rarement de matière naturelle et produiront moins de sites d'enfouissement au cours du cycle de vie du bâtiment.

*Durabilité* : La durabilité des matériaux est un facteur important dans le calcul du coût tout au long de la vie du bâtiment. Les matériaux qui durent plus longtemps auront, pendant le temps d'utilisation du bâtiment, un meilleur rendement économique que les matériaux qui ont besoin d'être changés plus souvent. Lorsque l'on cherche des solutions durables, le choix initial de matériaux chers comme l'ardoise ou la tuile peut souvent être justifié par leur plus grande espérance de vie.

*Faible maintenance* : La maintenance consomme une part importante des coûts budgétaires d'un bâtiment : au cours de la vie d'un bâtiment, la maintenance peut facilement dépasser le coût original du bâtiment. Cela inclut le prix de la main d'œuvre, le nettoyage ou le polissage des matériaux, les équipements et le changement des articles de moins de 5000\$. Un nettoyage moins fréquent des matériaux réduit l'exposition des occupants et des agents d'entretiens aux produits d'entretien chimiques – ce qui est d'autant plus important pour les surfaces et les systèmes qui doivent être nettoyés avec des solvants à base de pétrole.

## Réutilisation

La *réutilisation* dépend de l'âge et de la durabilité d'un matériau. Les matériaux très durables peuvent avoir encore de nombreuses années de service après que le bâtiment dans lequel ils étaient installés ait été désaffecté, et peuvent être extraits et réinstallés sur un nouveau site. Les fenêtres et portes, la plomberie, et même les briques peuvent très bien être réutilisés. Les poutres de vieilles granges sont devenues à la mode et recherchées pour les constructions neuves. Le mouvement de préservation historique a engendré dans ce pays une filière industrielle vouée à la récupération d'éléments architecturaux de bâtiments condamnés à la démolition. Ces matériaux sont aussi bien utilisés pour la rénovation de vieux bâtiments que pour les constructions neuves. Dans de nombreux cas, la qualité de ces matériaux et l'habileté manuelle qu'expriment certaines pièces ne peuvent être reproduites aujourd'hui.

## Recyclabilité

La recyclabilité d'un matériau se mesure à sa capacité à être utilisé comme une ressource dans la création d'un nouveau produit. L'acier est le matériau

## Recyclability

*Recyclability measures a material's capacity to be used as a resource in the creation of new products. Steel is the most commonly recycled building material, in large part because it can be easily separated from construction debris by magnets.*

*Many building materials that cannot be reused in their entirety can be broken down into recyclable components. Often, it is the difficulty of separating rubble from demolition that prevents more materials from being recycled. Once separated, glass is very easy to recycle: post-consumer glass is commonly used as a raw material in making window glass, ceramic tile, and brick. Concrete, unlike steel and glass, cannot be re-formed once set, but it can be ground up and used as aggregate in new concrete or as road bedding. Currently, very little concrete and glass from site demolition is recycled because of the difficulty in separating these materials from construction debris.*

*Plastics alone are easy to recycle but are often integrated into other components which makes separation difficult or impossible.*

*Plastic laminates are generally adhered to plywood or particleboard, making these wood products also hard to recycle. Some foam insulation can be reformed, but the majority cannot. Foam insulation can, like glass, be used as filler in concrete and roadbeds.*

## Biodegradability

*The biodegradability of a material refers to its potential to naturally decompose when discarded. Organic materials can return to the earth rapidly, while others, like steel, take a long time. An important consideration is whether the material in question will produce hazardous materials as it decomposes, either alone or in combination with other substances.*

## Application

### Directives

Le processus de prescription des matériaux non nocifs pour l'environnement n'est pas différent de la pratique conventionnelle : il faut définir le type de matériaux dont on a besoin, les données rassemblées sur ces matériaux doivent être comparables et les produits doivent être évalués. Les considérations environnementales ne doivent pas être les seules ou même les plus importants facteurs pour le choix des matériaux. Le facteur clef doit être le fait d'utiliser le matériau approprié à la fonction voulue. La longévité ou le pouvoir isolant de certains matériaux à haute énergie induite peut parfois justifier le coût environnemental de leur fabrication. Après tout, être plus impliqué dans le choix des matériaux et systèmes constructifs du bâtiment est pour l'architecte une manière de mieux contrôler la qualité et la « durabilité » du bâtiment fini.

### Déterminer les besoins

Catégoriser les matériaux dans des termes généraux basés sur leur fonction (ex : « revêtement de sol » plutôt que « moquettage ») permet plus facilement l'utilisation de matériaux alternatifs. Les revêtements de sol sont disponibles dans une palette importante de matériau – la moquette est-elle nécessaire pour la surface en question, un autre matériau plus durable ne pourrait-il pas être un meilleur choix ? Si la moquette est vraiment nécessaire, est ce que la laine pourrait être choisie à la place de fibres issues de la pétrochimie ? Dans de nombreux cas, les performances des matériaux naturels approchent ou dépassent celles des synthétiques avec un coût environnemental moindre.

La quantité, comme le type de matériaux qui seront utilisés dans la construction est important. Les systèmes de CAO qui intègrent des tableurs facilitent le calcul des surfaces et des quantité de matériaux. Ces outils aident l'architecte à visualiser plus largement l'impact environnemental des matériaux. On utilise les matériaux meilleurs pour l'environnement particulièrement quand les volumes dont on a besoin sont importants, quand ils sont exposés à l'air intérieur ou encore quand ils sont en contact avec les utilisateurs. Utiliser les matériaux à forte énergie induite seulement là où l'ont en a besoin pour leurs qualités spécifiques préserve les ressources naturelles et réduit les pollutions.

L'aluminium, par exemple, devrait être utilisé seulement là où sa légèreté et ses caractéristiques de non-corrosion ne peuvent être remplacées par un autre matériau. Utiliser de l'aluminium recyclé est toujours meilleur.

Pour le triply, il est plus intéressant de l'utiliser comme panneau de contreventement du côté extérieur du mur. Les matériaux émettant des COV, comme le triply pour le mobilier, peuvent être isolés de l'air intérieur avec une couche de mélaminé ou avec une peinture de finition de manière à réduire les émissions. Mais cela augmente le coût et les mélaminés ou la peinture peuvent créer leur propre problème d'émission. Un meilleur choix serait d'utiliser des panneaux fabriqués avec des colles non émissives.

## Application

### Guidelines

*The process of specifying environmentally friendly building products is no different than that for conventional building products: the type of materials needed must be determined, data must be gathered on comparable materials, and products must be evaluated. Environmental considerations need not be the only, or even most important, factors when selecting building materials. The key consideration is the material's appropriateness for the intended function. The longevity or insulation value of certain materials with high embodied energy content can sometimes justify the environmental costs of their manufacture. Overall, becoming more involved in materials and systems choices means the architect gains more control over the quality and sustainability of the finished building.*

### Determining Need

*Considering materials in more general terms based on function (e.g., "flooring" over "carpeting") helps open up the possibility of alternative materials. Floor coverings are available in a wide range of materials—is carpeting necessary for the area in question, or would more durable tile be a better choice? If carpeting is deemed necessary, can wool be used instead of petrochemical-based fibers? In many cases, the performance of natural materials meets or exceeds that of synthetics, at a much lower environmental cost. The quantity as well as type of materials to be used in construction are important. CAD systems with integrated spreadsheets make it much easier to calculate the required square footage or volume of materials. This helps the architect focus on the materials with the largest potential impact on the environment. Use environmentally friendly materials particularly when the volume of material needed is large, is exposed to air, or comes in contact with users. By using high-embodiedenergy materials only where needed for their specific qualities, natural resources are preserved and pollution is reduced. Aluminum, for example, should be used only where its light weight and anti-corrosion characteristics cannot be matched by another material. Using recycled aluminum is even better.*

*Plywood used as sheathing is generally sealed behind drywall, where glue emissions cannot enter the breathable air. VOCemitting materials used in interiors, like plywood for furniture, can be sealed in plastic laminate or with a painted finish, reducing or eliminating outgassing. However, this adds to the cost, and the laminate or paint can create their own outgassing problems. A better choice would be plywood made without glues that outgas.*



Déterminer combien et où la matière sera utilisée est le premier pas. L'organisation du chantier est aussi importante. Les matériaux qui nécessitent des adhésifs qui émettent des gaz devront être appliqués suffisamment longtemps avant l'utilisation du bâtiment et la ventilation devra être augmentée au moins la première année d'occupation. La réparation ou le remplacement de certains matériaux devraient, si possible, coïncider avec une période de faible occupation (pendant les vacances par exemple) afin de réduire les impacts.

## Analyse des produits

La phase de récolte de données pour la sélection des matériaux est souvent la plus difficile car les matériaux de construction durable ne représentent qu'un petit pourcentage du marché. L'Institut Américain des Architectes a publié son « Guide des ressources environnementales » pour aider les architectes à choisir des types de matériaux généraux selon l'analyse de leur matière première.

Les données fournies par les fabricants restent la meilleure source d'informations mais il faut reconnaître que les fiches techniques restent des arguments commerciaux. Ces fiches techniques, produites pour un usage marketing ne donnent toujours des données objectives et ne sont pas toujours comparables aux produits concurrents.

Les architectes sont en position pour encourager la production d'une plus grande variété de matériaux durables en contactant les fabricants pour avoir des informations plus spécifiques et en refusant de prescrire des matériaux fabriqués à travers un processus très polluant. L'architecte peut insister pour que les fiches techniques des produits indiquent la liste des composants chimiques utilisés dans le processus de fabrication ou ceux émis par le matériau ultérieurement. La sécurité incendie est aussi une voie car beaucoup de substances peuvent devenir toxiques quand elles sont exposées à de hautes températures ou au feu. Contacter les fabricants pour plus de renseignements spécifiques sert deux objectifs : tenir au courant les architectes et éveiller l'intérêt des fabricants à des matériaux durables. Ce n'est qu'à travers la connaissance des cycles de vie entiers des différents matériaux qu'un choix intelligent et informé peut se faire.

C'est en insistant pour que les fabricants révèlent les niveaux de toxicité et les impacts environnementaux du processus industriel que les architectes peuvent faire pression sur les fabricants pour obtenir des matériaux et des usines plus durables.

*Determining how much of a material and where will be used is the first step. The timing of the installation process is also important. Materials that are to be applied with adhesives that outgas should be installed well in advance of building occupancy, and the ventilation rate of the building should be increased for at least the first year of occupancy. Repair or replacement of such materials should be scheduled to coincide with a building's downtime (over the holidays, for example) so the impact is reduced.*

## Analyzing Products

*The data-gathering part of the material-selection process is currently the most difficult, as sustainable building materials compose a small percentage of the market. The American Institute of Architects has published its Environmental Resource Guide to help architects select general types of products based on an analysis of their raw materials. Manufacturers' product data sheets are still the best source for specific brands, but it must be recognized that these are promotional materials.*

*Product specification sheets, produced for marketing purposes, may not provide objective data, and the data may not be easily comparable with competitive products. Architects are in a position to encourage the production of a wider variety of sustainable materials by contacting manufacturers for more specific information and refusing to specify materials made through highly polluting processes. Insist that product data sheets list the chemicals that are used in the manufacturing process or that will be emitted by a material over time. Fire safety is also an issue, as many otherwise benign substances (like foam rubber) can become toxic when exposed to high heat or flame. Contacting manufacturers for more specific information serves two purposes: it increases the architect's knowledge base of materials, and it makes the manufacturer aware of interest in sustainable materials. Only through knowledge of the entire life cycles of otherwise comparable building products can an intelligent, informed choice be made.*

*By insisting that manufacturers reveal the toxicity levels and environmental impact of the manufacturing process, architects can also apply pressure on manufacturers to make their materials and manufacturing methods more sustainable.*

## Evaluation des performances

Certains matériaux de construction « soutenables » sont liés aux nouvelles technologies, d'autres réinventent des méthodes ancestrales. Cette dernière voie permet d'anticiper et d'évaluer les performances des matériaux plus facilement. Les nouvelles technologies nécessitent des tests sur le long terme. Se renseigner auprès des autres architectes ou propriétaires de bâtiment qui utilisent ces nouvelles technologies peut permettre de déterminer leur efficacité à long terme. Des études régulières après la vie du bâtiment et conduites périodiquement tout au long de sa vie sont aussi extrêmement intéressantes pour évaluer comment réagit un nouveau matériau pour sa fonction et comment il joue sur le confort des occupants. Ces informations, lorsqu'elles sont partagées avec les autres architectes et les professionnels de l'industrie du bâtiment, peuvent devenir un outil puissant pour évoquer l'utilisation de matériaux « soutenables ».

## Evaluating Performance

*Some sustainable building materials rely on new technology others reinvigorate centuries-old methods. The latter have a track record that makes performance easier to anticipate and evaluate. New technologies require testing over time. Advice from other architects and building owners who are using these new technologies can assist in determining their longrange effectiveness. Regular post-occupancy studies of buildings — conducted periodically through a building's life — are also extremely valuable in determining how well a new material functions and the ways it affects the comfort of building occupants. This information, when shared with other architects and building industry professionals, can become a powerful tool in advocating the use of sustainable materials.*

## Annexes 4

### Coefficient statique et thermique du pisé

Traduit de :

**Rammed Earth/Lehm und  
Architektur/Terra Cruda  
Martin Rauch**

Otto Kapfinger

Ed. Birkhäuser, Berlin, 2001 - page 153

Les coefficients suivants sont basés sur les résultats expérimentaux obtenus durant le chantier de l'église de la Réconciliation à Berlin par L'Université Technique de Berlin (Institut de projet, de structure, industrie de la construction et droit des édifices, département de sciences de la construction et des structures) et approuver du Génie Civil

**Résistance à la compression** 2,40 N/mm<sup>2</sup>

**Résistance à la flexion** 0,52 N/mm<sup>2</sup>

**Résistance au cisaillement** 0,62 N/mm<sup>2</sup>

Avec l'ajout dans le mélanges de fibres (lin ou paille) les performances peuvent être améliorées.

**Retrait** 0,25%

**Erosion** 0,2 %

**Dilatation thermique** 0,005mm/mK

**Conduction thermique suivant la compression de la terre** de 64 W/mK à 0,93 W/mK

## Annexes 5

### L'Action 12-2 : Valoriser le patrimoine en pisé

Contrat Global de Développement Isère Portes des Alpes

#### 4 grands objectifs

- La mise en valeur du patrimoine bâti en pisé
- La mise en valeur des acteurs locaux
- La dynamisation de la réalisation de projets
- La sensibilisation des milieux scolaires et du public

#### 3 grands axes

Sensibiliser

- Les élus, afin d'inciter à préserver et restaurer le patrimoine bâti en pisé de valeurs historique, culturelle, architecturale et touristique.
- Initier de nouvelles constructions en pisé dans le cadre de publics (équipements des communes) et privés (nouvelles maisons individuelles).

Animer et promouvoir, «tout autour du pisé»

- Dynamiser les rencontres et débats entre les élus, les habitants et les professionnels du bâtiment.
- Réaliser des conférences, événements festifs et culturels dans les communes.

Consolider le réseau professionnel et former

- Soutenir la valorisation des compétences professionnelles sur un marché

Source : Exposition «Tout autour de la Terre»

## Annexes 6

## APPRENDRE A DECONSTRUIRE POUR MIEUX CONSTRUIRE

► Document de projet présenté à CREABOIS Isère en avril 2004, pour la fabrication d'un prototype d'ossature bois pour remplissage terre utilisant des ressources départementales en matériaux.



### Inter-Professions du Bois

13, Rue Billerey  
38000 Grenoble  
Tel 04 76 46 51 44  
Fax 04 76 46 51 34  
E-mail Creabois@wanadoo.fr



Julien Chabanne  
Juliane Court  
48 Rue St Laurent  
38000 GRENOBLE  
04 38 37 12 55  
06 71 60 25 62

Ecole d'Architecture de Grenoble  
60, Av. de Constantine  
BP 2636  
38036 GRENOBLE cedex2

## Titre : APPRENDRE A DECONSTRUIRE POUR MIEUX CONSTRUIRE

### Résumé :

Nous voudrions transmettre un savoir scientifique concernant « les techniques de construction contemporaine en bois et terre », par l'intermédiaire de la construction d'un module de 20 m<sup>2</sup>. Cette construction pourrait être le support d'une formation sur l'utilisation des matériaux locaux auprès des professionnels, lors de l'exposition « le bois » prévu en novembre 2004 aux Grands Ateliers de L'Isle d'Abeau.

### Objectifs pédagogiques pour les auteurs :

- Approfondir nos connaissances sur les ossatures bois pour remplissage, dans le cadre de notre travail personnel de fin d'étude en architecture.
- Valider nos connaissances sur les principes d'architecture déconstructible.

### Public ciblé :

- Visiteurs des expositions « Grains d'Isère » et « Le Bois » des Grands Ateliers de L'Isle d'Abeau.
- Etudiants Architectes et Ingénieurs.

- Professionnels du bois.

### Objectifs pédagogiques pour le public ciblé :

- Présenter et vulgariser un savoir scientifique.
- Découverte des principes d'ossature bois pour remplissage.
- Comprendre les enjeux de l'utilisation des matériaux locaux et régionaux, dans un objectif de construction bioclimatique durable.

### concept:

- Apporter des connaissances techniques par le biais d'un module à l'échelle 1, pouvant être support de formation.
- Montrer le potentiel des matériaux locaux pour l'architecture bioclimatique et durable.

### Résultats attendus :

- Promouvoir la construction en bois utilisant des ressources locales.
- Tester le potentiel des matériaux locaux pour la construction contemporaine.
- Susciter un intérêt pour la construction en

ossature bois pour remplissage.

- Former des professionnels aux techniques de construction post-industrielles (principes de pré-fabrication sur mesure).
- Intéresser le public ciblé aux principes de construction bioclimatique.

### Description des étapes nécessaires à l'élaboration du projet :

1/ avant :

- juin 2003 : premiers essais de remplissage en terre (annexe 1)
- novembre 2003 : première réalisation à l'échelle 1

2/ pendant l'exposition « Grains d'Isère » :

- avril à juin 2004 : recherche sur les ossatures bois pour remplissage
- avril à juin 2004 : recherches sur les différents types de remplissages
- fin mai : premier montage et remplissage du module.
- Début juillet : démontage et stockage du module.

3/ pendant l'exposition « Le bois » en novembre

## Expériences projetées aux Grands Ateliers de L'Isle d'Abeau en mai 2004.

### Evaluation des besoins en bois.

#### > résineux

- ossature : 1 m<sup>3</sup>

- plancher :

RDC plancher bois massif 15 m<sup>2</sup> : 1,35 m<sup>3</sup>  
portée 3 m - ep. 90 mm

R+1 plancher bois massif : 0,765 m<sup>3</sup>  
portée 3 m - ep. 90 mm

- toiture : 7 x 3,40m x (50x200 mm) = 0,25 m<sup>3</sup>  
planches : 15 m<sup>2</sup> x 15mm ep. = 0,25 m<sup>3</sup>

TOTAL résineux : 3,62 m<sup>3</sup>

#### > châtaignier

pare-soleil : 26 x 3,40m x (100x10mm) = 0,01 m<sup>3</sup>  
bardage (option) : 20m<sup>2</sup> x 15mm = 0,3 m<sup>3</sup>

TOTAL châtaignier : 0,4 m<sup>3</sup>



◀ Module  
4x3x5 m  
maquette Ech.1/50°

► *Expérimentation  
dans le cadre de  
l'exposition Grains  
d'Isère  
- mai 2003 -*

► *Expérimentation  
aux Grands  
Ateliers  
- février 2004 -*

## Expérimentation aux Grands Ateliers de L'Isle d'Abeau pour des architectures en terre et bois.

### Divers test de mise en oeuvre de remplissage terre dans une ossature bois.

> remplissage lourd - masse thermique :

granulats : 25-45 mm

liant : argile en barbotine

technique de coffrage : coffrage perdu en canisse

objectif :

=> utilisation de déchets de terre a pisé tamisée

=> recherche des taux d'humidité limites de pose.



> remplissage léger - isolant :

granulats : bois en plaquettes

liant : argile en barbotine

technique de coffrage : coffrage montant en bois

objectif :

=> recherche des taux d'humidité limites de pose

=> recherche de techniques de mise en oeuvre rapide.





Grenoble, le 05 mai 2004

<Organisme>  
<Titre> <Prénom> <Nom>  
<Adresse>  
<CP> <Ville>

Objet : recherche-développement EAG - demande de participation

<Titre>,

Je me permets de vous faire parvenir ci-joint pour solliciter votre participation, un dossier de recherche-développement porté par deux jeunes étudiants de l'Ecole d'Architecture de Grenoble en phase de préparation de leur diplôme.

Il s'agit d'un projet de construction à l'échelle 1, aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, d'une structure bois enrichie de matériaux de remplissage lourds (terre et plaquette bois).

L'objectif de cette démarche originale est la valorisation de produits locaux (bois et terre) et, en ce qui concerne plus particulièrement le bois, le test d'utilisation de produits de deuxième ou troisième choix (planches basiques de 27 mm).

Un retour d'informations sur des résultats du test sera porté à la connaissance des professionnels.

Compte-tenu de l'intérêt de la demande, nous vous demandons ici de réserver le meilleur accueil aux deux jeunes étudiants qui viendront, munis du double de cette lettre, vous demander la fourniture gratuite d'un m3 de planches de 27 mm (sapin, épicéa).

Les étudiants s'engagent en contre-partie à valoriser votre participation en la mentionnant sur un panneau à proximité du site d'édification (les Grands Ateliers) puis, dans le site, à l'occasion d'une exposition « Grain d'Isère » (en juin à l'Isle d'Abeau) et de la Semaine du Bois des Grands Ateliers, en novembre 2004.

Vos coordonnées figureront également sur le mémoire de fin d'études des étudiants, qui sera assez largement diffusé.

Vous serez bien entendu les bienvenus à tout moment sur le site des Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau, lieu d'expérimentation à la disposition des jeunes constructeurs.

Je vous remercie de l'effort que vous voudrez bien consentir ici et qui contribuera à long terme, nous l'espérons, au développement de l'utilisation du bois et à l'essor de notre filière locale.

Je vous prie de croire, <Titre>, en l'assurance de mes sentiments les meilleurs.

Le Directeur,

P. LAMBOUROUD

Copie à : J. Court - J. Chabanne

PJ : - « Apprendre à déconstruire pour mieux reconstruire »

## Annexes 7

### **L'ATEX (Appréciation Technique d'EXpérimentation), pour accompagner l'innovation architecturale**

Créée à l'initiative du CSTB, l'ATEX est une procédure rapide d'évaluation technique formulée par un groupe d'experts sur tout produit, procédé ou équipement ne faisant pas encore l'objet d'un Avis Technique. Soucieux de recueillir une opinion éclairée sur les techniques qu'ils créent, constructeurs et concepteurs recourent de plus en plus à cette procédure qui facilite l'exécution de premières réalisations dans les meilleures conditions. Elle est en cela l'«antichambre» de l'Avis Technique. Elle peut être favorable, réservée ou défavorable. Son domaine d'application est le même que l'Avis Technique. Le CSTB formule chaque année une centaine d'ATEX à l'origine desquelles se trouve le plus souvent l'architecte ou l'entreprise intervenant sur le chantier correspondant.

L'ATEX a pour les produits, matériaux, composants, équipements ou procédé pour lesquels il n'existe pas d'Avis Technique portant sur un système similaire. L'ATEX a est délivrée sur la base des éléments fournis par le demandeur et concernant :

Les caractéristiques de l'innovation nouvelle à expérimenter et son domaine d'emploi.

La nature et l'importance de l'expérimentation estimée nécessaire soit pour sa mise au point, soit pour constituer des références suffisantes avant le dépôt d'une demande d'Avis Technique.

L'ATEX b pour tout projet de réalisation mettant en œuvre, à titre expérimental, une ou plusieurs techniques non traditionnelles relevant de l'Avis Technique mais n'ayant pas encore fait l'objet de cette procédure. Le demandeur doit fournir les éléments suivants :

La nature, l'importance et la localisation des projets programmés soit pour la mise au point soit pour disposer de références.

Les techniques utilisées

La désignation du maître d'ouvrage et du contrôleur technique concernés par chacun des projets.

L'ATEX c pour l'application à de nouvelles réalisations expérimentales d'une

ou plusieurs techniques ayant déjà fait l'objet d'une ATEX b uniquement.

### **Principales familles de produits relevant de l'Appréciation Technique d'EXpérimentation :**

- Façades innovantes
- Verrières, puits de lumière, dalles de verre, planchers en verre
- Planchers réversibles (chauffants, rafraichissants)

source : <http://www.cstb.fr/produits/ATEX/>



# Bibliographie

## Livres

### **Architectures Durables 50 réalisations environnementales en France et en Europe : Allemagne, Angleterre, Italie, Hollande**

Pierre Lefèvre  
Ed. Edisud/Systèmes solaires, Cahors,  
France, 2002.

### **L'Architecture écologique**

Dominique Gauzin-Müller  
Ed. Le Moniteur, Paris, France, octobre  
2001.

### **Vers une écologie industrielle**

Suren Erkman  
Ed. Charles Léopold Mayer, Paris, France  
1998.

### **Rammed Earth/Lehm und Architektur/Terra Cruda**

Martin Rauch  
Otto Kapfinger  
Ed. Birkhäuser, Berlin, 2001.

### **Leichtlembau : alter Baustoff –**

### **neue Technik**

Franz Volhard  
Ed. C.F. Müller, Allemagne, 1995  
ISBN 3-7880-7511-2

### **Les clés de la maison écologique**

Ed. terre vivante, Mens, France, 2002  
ISBN : 2-904082-94-8

### **Enveloppes : concepts, peaux, matériaux**

Sous la direction de Christian Schittich  
Ed. Birkhäuser et Edition Detail,  
Allemagne, 2003.

### **RURAL STUDIO, Samuel Mockbee and an architecture of decency.**

Andrea Oppenheimer Dean and Timothy  
Hursley,  
Ed. Princeton architectural Press, New  
York, 2002.

### **L'isolation écologique**

Jean-Pierre Oliva  
Ed. Terre Vivante, Mens, France, 2001  
ISBN : 2-904082-90-5

## Rapports et recherche

### **Rapport « planète vivante » 2002**

Ed. Texte et graphiques, WWF  
Tous droits réservés  
ISBN : 2-88085-256-0

### **Sustainable Architecture Module: Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials**

Jong-Jin Kim,  
Ed. College of Architecture and Urban  
Planning- The University of Michigan  
National Pollution Prevention Center for  
Higher Education,  
[www.umich.edu/~nppcpub/](http://www.umich.edu/~nppcpub/)

## Expositions / catalogues

### **Le jardin planétaire : réconcilier l'homme et la nature**

Gilles Clément  
Ed. Albin Michel, France, août 1999.

### **Refuse/Reuse : le design d'aujourd'hui pour l'environnement de demain**

Journal de l'exposition itinérante présentée  
à la Biennale de Design de Saint-Etienne  
au cours du mois de novembre 2002  
Institut Néerlandais - 121, rue de Lille -  
75007 Paris

### **Une provocation constructive : Architecture contemporaine au Vorarlberg**

Otto Kapfinger  
catalogue de l'exposition de l'Institut  
Français d'Architecture, Paris  
Ed. Verlag Anton Pustet pour le Vorarlberger  
Architekturinstitut, Salzbourg, 2003.  
ISBN 3-7025-0476-1

## Revue et Presse

### **La Maison écologique**

Ed. Association La Maison écologique

### **Courrier International**

Ed. Courrier International SA

## Revue d'architecture

### Nueva materiali – News materials

MATERIA, sept./dec. 2003, n°45.

### L'exception culturelle du Vorarlberg

Dossier : Dominique Gauzin-Müller  
D'Architecture, juin/juillet 2003, n°130,  
p: 7-32.

### Pour en finir avec La « HQE » ? Il n'ya pas d'architecture sans démarche environnementales.

Dossier : Dominique Gauzin-Müller  
D'Architecture, novembre/décembre  
2003, n°133, p: 19-32.

### Actes environnement/Environmental actions

Techniques et architectures, n°465, p:  
20-100.

### Savoir Faire/Know How

Architecture d'Aujourd'hui, n°346, mai/  
juin 2003, p:46-109.

### Alternatives solutions

Techniques et Architecture n°458, 2002

### Stone/La pierre

Techniques et Architecture n°442, 1999

### Construire Bois

The European Wood Magazine, n°1,  
novembre 2003.

## Colloques / Expositions

### Formations organisées par le CNDB aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau

10 et 11 septembre 2003 : Module 1 -  
« le bois et ses dérivés »

23 et 24 septembre 2003 : Module 2 -  
« technologies courantes de construction  
bois »

### Colloque: Architecture contemporaine au Vorarlberg

Rencontre avec les acteurs du secteur du  
bâtiment en Vorarlberg le 9 octobre 2003,  
Conseil d'Architecture d'Urbanisme et  
d'Environnement du Rhône, à Lyon (69).

### Exposition «Une provocation constructive, architecture en Vorarlberg»

Conseil d'Architecture d'Urbanisme et  
d'Environnement du Rhône, à Lyon (69),  
octobre 2003. .

### Colloque : De structure en vêtements, quels bois pour quelles usages ?

Forum de Formation du 19 novembre  
2003 à Grenoble – St Ismier (38)  
Inter Forêt-Bois 42 et Créabois Isère.

### Rencontres autour de l'exposition Une provocation constructive, architecture en Vorarlberg

organisées par le CAUE de l'Isère, la ville  
de Grenoble, Les Parcs Naturels Régionaux  
de la Chartreuse et du Vercors :  
- Mercredi 25 février 2004  
L'expérience du Vorarlberg peut-elle

profiter au sillon alpin ?

Partenaires : IFA, Vorarlberger Architektur  
Institut, DRAC, Parc naturel régional de  
la Chartreuse, Parc naturel régional du  
Vercors, Conseil général de L'Isère.

- Mercredi 3 mars 2004

Le bois : de nouveaux métiers, une chance  
pour l'architecture

Partenaires : Créabois Isère, CAPEB,  
École d'Architecture de Grenoble, Les  
Grands Ateliers de l'Isle-d'Abeau.

- Mercredi 10 mars 2004

Innovation technique et création  
architecturale.

Partenaires : École d'Architecture de  
Grenoble, Maison de l'Architecture de  
l'Isère, Créabois Isère.

- Mercredi 17 mars

Énergie, ressources, développement  
durable... vers un nouvel art d'habiter ?

Partenaires : AGEDEN, ALE, INPG-ENSIEG  
(La maison de l'énergie), Conseil général  
de l'Isère.

## Sites internet

Les Grands Atelier de l'Isle d'Abeau

[www.lesgrandsateliers.fr](http://www.lesgrandsateliers.fr)

L'Ecocentre du Périgord

[www.ecocentre.org](http://www.ecocentre.org)

## Mémoire

### Portentiel d'une architecture recyclable

Juliane Court

Mémoire de cinquième année

Ecole d'architecture de Grenoble, 2002

## Illustrations

Couverture : prototype et texture terre-plaquettes - archive personnelle.

1 - Dessin de Mike Lane paru dans The Baltimore Sun - Courrier International 26 septembre 2003.

2 - Dessin de Chappatte paru dans Le Temps Globe Cartoon - Courrier International 25 mars 2003.

3 - Dessin de Larry Wright paru dans The Detroit News - Courrier International 14 janvier 2003.

4 - Empreinte écologique mondiale 1961-1999 - Rapport «Planète Vivante» 2002.

5 - Quelques exemples de consommations estimatives - Les clés de la maison écologique p 43.

6 - Cycle de vie des matériaux de construction - traduction de : Sustainable Architecture Module: Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials.

7 - Cycle de vie de l'acier - archive personnelle.

8 - Cycle de vie de la terre - archive personnelle.

9 - Cycle de vie du bois - archive personnelle.

10 - Vu de la carrière de pierre de Vers - photographie Patrice Doat

11 - Axonométrie du chai des Gallines - Technique & Architecture n° 442 p 65

12 - Vue intérieure du chai des Gallines - Technique & Architecture n° 442 p 65

13 - Pose des blocs de pierre à la grue - Technique & Architecture n° 442 p 68

14 - Bâtiment de la société «Les domaines qui montent» - archive personnelle

15 - Coupe sur un mur du chais des Gallines

- Technique & Architecture n° 442 p 67

16 - Vue intérieure de l'imprimerie GUGLER - Rammed Earth p 134, photographie Bruno Klomfar, Vienne.

17 - Coupe est-ouest de l'imprimerie GUGLER - Rammed Earth p 133

18 - Vue intérieure de l'imprimerie GUGLER - Rammed Earth p 139, photographie Bruno Klomfar, Vienne.

19 - Plan de l'imprimerie GUGLER - Rammed Earth p 132

20 - Coupe sur l'espace central de l'imprimerie GUGLER - Rammed Earth p 132

21 - Schéma d'un bloc de pisé préfabriqué - archive personnelle.

22 - Détail sur les éléments en pisé de l'imprimerie GUGLER - Rammed Earth p 136-137

23 - Détail sur les éléments en pisé de l'imprimerie GUGLER - Rammed Earth p 137

24 - Vue générale sur le bâtiment de logements à Dornbirn - Architecture écologique p 145

25 - Eléments standardisés du système K-Multibox - Architecture écologique p 146-147

26 - Coupe sur le bâtiment de logements à Dornbirn - Architecture écologique p 144

27 - Le pavillon terre crue de l'Ecocentre du Périgord - archive personnelle

28 - Plan montrant la conception bioclimatique - archive personnelle

29 - Le stage BTC de l'Ecocentre du Périgord - photographie Ecocentre

30 - Plan de l'ossature du pavillon terre crue de l'Ecocentre du Périgord - archive personnelle

31 - Elévation Est du pavillon terre crue de

l'Ecocentre du Périgord - archive personnelle

32 - Montage de l'ossature primaire du pavillon terre crue de l'Ecocentre du Périgord - photographie Ecocentre

33 - Axonométrie sur l'ossature du pavillon terre crue de l'Ecocentre du Périgord - archive personnelle

34 - Préparation du mélange terre-plaquettes à l'Ecocentre du Périgord en novembre 2003 - archive personnelle

35 - Mise en place du canisse à l'Ecocentre du Périgord en novembre 2003 - archive personnelle

36 - Remplissage de l'ossature à l'Ecocentre du Périgord en novembre 2003 - archive personnelle

37 - Le prototype réalisé pendant l'exposition «Grains d'Isère 2004» - archive personnelle.

38 - Les Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau - photographie aérienne Patrice Doat

39 - Les totems des enfants de l'exposition «Grains d'Isère» 2003 - archive personnelle

40 - Mise en œuvre de chanvre banché - La Maison Ecologique n°19 p 13, photographie Arlette Roger

41 - Photographie de maquette de l'ossature préconisée par le CNDB - archive personnelle

42 - Schéma de principe de l'ossature préconisée par le CNDB - archive personnelle

43 - Mise en œuvre de remplissage en terre - archive personnelle

44 - Maquette de l'ossature réalisée pour le pavillon en terre crue - archive personnelle

45 - Schéma de principe de l'ossature réalisée pour le pavillon en terre crue - archive personnelle

- 46 – Modélisation 3D de l’ossature à trame dédoublée décalée – archive personnelle
- 47 – Schéma de contreventement dans l’ossature préconisée par le CNDB - archive personnelle
- 48 – Schéma de contreventement dans l’ossature à trame dédoublée décalée - archive personnelle
- 49 – Schéma de passage des fluides dans l’ossature préconisée par le CNDB - archive personnelle
- 50 – Schéma de passage des fluides dans l’ossature à trame dédoublée décalée - archive personnelle
- 51 – Schéma du principe de remplissage dans l’ossature à trame dédoublée décalée - archive personnelle.
- 52 – Schéma du principe de remplissage dans l’ossature préconisée par le CNDB - archive personnelle
- 53 – Schéma de principe de l’ossature 1 de l’expérimentation : coffrage perdu - archive personnelle
- 54 – Maquette de l’ossature 1 de l’expérimentation : coffrage perdu - archive personnelle
- 55 – Principe de montage de l’ossature 1 de l’expérimentation : coffrage perdu - archive personnelle
- 56 – Schéma de principe de l’ossature 2 de l’expérimentation : coffrage montant - archive personnelle
- 57 – Maquette de l’ossature 2 de l’expérimentation : coffrage montant - archive personnelle
- 58 – Principe de montage de l’ossature 2 de l’expérimentation : coffrage montant - archive personnelle
- 59 – Plan du prototype expérimental - archive personnelle
- 60 – Coupe et élévation de l’ossature 1 du prototype expérimental - archive personnelle
- 61 – Série d’image de la construction du prototype - archive personnelle
- 62 – Coupe et élévation de l’ossature 2 du prototype expérimental - archive personnelle
- 63 – Transport d’un panneau à l’aide du pont roulant - archive personnelle
- 64 – Photographies de nos expériences antérieures - archive personnelle
- 65 – Préparation de la barbotine - photographie Patrice Doat
- 66 – Tamisage par voie humide - archive personnelle
- 67 – Préparation de la barbotine avec un malaxeur à peinture - photographie Patrice Doat
- 68 – Production de plaquettes forestière de la société SOFODA - archive personnelle
- 69 – Le mélange terre-plaquettes - archive personnelle
- 70 – Les plaquettes de bois - archive personnelle
- 71 – Mise en œuvre du remplissage dans l’ossature 2 de l’expérimentation : coffrage montant - archive personnelle
- 72 – photographie personnelle
- 73 – photographie personnelle
- 74 – photographie personnelle
- 75 – photographie personnelle
- 76 – site internet du label minergie, dessin de Staubi/oej
- 77 – site internet du standard «passiv hauss», version française.
- 78 – L’isolation écologique p 14
- 79 à 81 – L’isolation écologique p 19
- 82 et 83 – archives personnelles
- 84 à 87 – photographies CARACOL
- Merci à ceux qui nous ont suivis et aidés tout au long de la préparation de ce travail : Patrice Doat, Hubert Guillaud, à toute l’équipe des Grands Ateliers de l’Isle d’Abeau, à Créabois Isère et à la scierie Mocellin.
- A nos amis qui nous ont écoutés et conseillés et plus particulièrement l’équipe de CARACOL : Jorge, Juliane, Martin, Patrick et Tom.