

SKAT

it

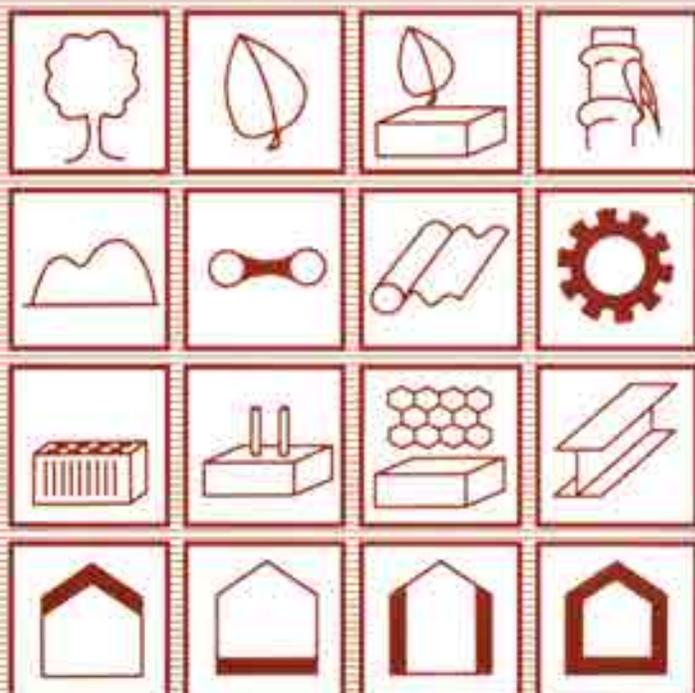
gola

CRATerre

Matériaux de construction appropriés

Un catalogue de solutions potentielles
Première édition française

Roland Stulz
Kiran Mukerji
Michel Klein



SKAT

it

gnt

CRATerre

Matériaux de construction appropriés

Un catalogue de solutions potentielles
Première édition française

Roland Stulz
Kiran Mukerji
Michel Klein

Pour nos enfants
Mathias Juan, Elena Anina, Natalia, Nikil et Jonas Samuel

Edition originale anglaise	1981, 750 exemplaires, SKAT
Seconde impression	1983, 3000 exemplaires, co-publication SKAT & IT Publications Ltd.
Seconde édition revue	1988, 2800 exemplaires, co-publication SKAT Publications, Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management, St Gallen / Suisse Intermediate Technology Publications Ltd., Londres/UK Gate, Echange Technologies Appropriées, Allemagne, Eschborn, RFA
Troisième édition revue	1993, 1500 exemplaires SKAT Publications & IT Publications
Première édition Française	1997, 500 exemplaires SKAT Publications, IT Publications, CRA Terre-EAG
Auteurs	Roland Stulz, Zürich / Suisse Kiran Mukerji, Starnberg / RFA Michel Klein, Wittenbach / Suisse
Traduit de l'anglais par	Michel Klein, Wittenbach / Suisse Mia et Claude Brasseur, Rochefort / Belgique
Illustrations	Kiran Mukerji et Roland Stulz (lorsqu'aucune autre source n'est mentionnée)
Copyright	SKAT Publications, Suisse, 1988, 1993, 1997
Remarques	Veillez envoyer tout commentaire à SKAT Publications Vadianstrasse 42 CH - 9000 St Gallen, Suisse
Distribué par	Intermediate Technology Publications 103-105 Southampton Row London WC1B 4HH, United Kingdom
ISBN	SKAT: 3 908001 54 4 (version française) SKAT: 3 908001 55 2 (version espagnole) SKAT: 3 908001 44 7 (version anglaise) ITP: 1 85339 225 1

Imprimé et relié en Suisse

PREFACE

«Appropriate Building Materials» a été publié pour la première fois en 1981. Il s'est rapidement imposé comme un des principaux ouvrages de référence dans le domaine des matériaux de construction pour le Tiers Monde. Jusqu'aujourd'hui, il reste très demandé et est utilisé par diverses personnes: ingénieurs, architectes, dessinateurs, praticiens, fonctionnaires, aussi bien qu'autoconstructeurs etc. Le SKAT reçoit encore de nombreuses lettres, commentaires et demandes d'information s'y rapportant. Depuis sa présentation par des journaux spécialisés, la plupart des publications qui traitent des matériaux de constructions appropriés s'y réfèrent et/ ou le mentionnent en bibliographie.

Compte tenu du succès rencontré et de l'évolution du secteur des matériaux de construction, l'ouvrage a été retravaillé et réimprimé en 1988 (seconde édition) et 1993 (troisième édition).

En 1988, une première édition espagnole a été publiée sous le titre «Construyendo con Materiales de Bajo Costo», co-publication SKAT-CETAL (Chili).

A présent, l'ouvrage est aussi disponible en Français sous le titre «Matériaux de construction appropriés» et en espagnol sous le titre «Materiales de Construccion Apropiados» (SKAT Publication).

L'occasion de cette édition française (1996) et de la nouvelle édition espagnole a été saisie pour procéder à une légère révision.

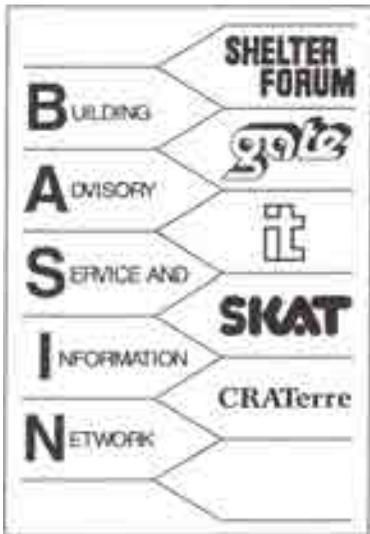
Un nouveau chapitre traitant de la bioclimatisation fournit des conseils pour adapter la conception des édifices aux climats tropicaux. De nouveaux produits (carrelages en microbéton et blocs en terre) sont présentés. Certains équipements (préparation et pressage de la terre) présentés dans les éditions précédentes ne sont plus fabriqués, ils ont donc été remplacés. Les points «Bibliographie» et «Adresses utiles» ont fait l'objet d'une actualisation spécifique au public francophone, pour la version française, et au public hispanophone pour la version espagnole.

Cet ouvrage est publié conjointement par le SKAT (Suisse), CRATerre (France), IT Publications (Royaume Uni) et le GATE (République Fédérale d'Allemagne), pour une diffusion optimale des informations contenues.

SKAT

Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management

St. Gallen, Juin 1996



BASIN

Building materials and construction technologies that are appropriate for developing countries, particularly in the low-income sector, are being developed, applied and documented in many parts of the world. This is an important prerequisite for providing safe, decent and affordable buildings for an ever-growing population.

But such new developments can do little to improve the building situation, as long as the information does not reach potential builders. The types and sources of information on standard and innovative building technologies are numerous and very diverse, making access to them difficult.

Thus, in order to remedy this drawback, Shelter Forum, GATE, ITDG, SKAT, CRATerre are cooperating in the Building Advisory Service and Information Network, which covers five principal subject areas and coordinates the documentation, evaluation and dissemination of information.

All five groups have a coordinated database from which is available on Documents, Technologies, Equipment, Institutions, Consultants as well as on Projects and Programs. In addition, printed material or individual advice on certain special subjects is provided on request. Research projects, training programs and other field work can be implemented in cooperation with local organizations, if a distinct need can be identified and the circumstances permit.

BASIN is a service available to all institutions and individuals concerned with housing, building and planning in developing countries, but can only function efficiently if there is a regular feedback. Therefore, any publications, information, personal experiences, etc. that can be made available to BASIN are always welcome and will help BASIN to help others.



Shelter

Advisory Service provided by SAS/BASIN
Shelter Forum
P.O.Box 39493
22 Chiromo Access Road
Off Riverside Drive
Nairobi, Kenya
Phone: + 254 - 2 - 442108
Fax: + 254 - 2 - 445166
e-mail: it.kenya@commsol.sprint.com

SHELTER FORUM

Shelter Forum (SF) is a coalition of non-governmental organizations, which deal with issues on affordable shelter in Kenya. The main goal of SF is to enhance access to affordable shelter for all, particularly the poorest, among whom the most vulnerable are women and children, through advocacy, extension and networking.



Advisory Service provided by

WAS/BASIN
GATE-GTZ
P.O.Box 5180
D-65 726 Eschborn
Federal Republic of Germany



Phone: + 49 - 6196 - 79 3190
Fax: + 49 - 6196 - 79 7352
e-mail: hannah.schreckenbach@GTZ.DE

GATE (German Appropriate Technology Exchange) a programme of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, acts as a centre for the dissemination and promotion of appropriate technologies for developing countries.



Binders

Advisory Service provided by CAS/BASIN

ITDG
Myson House
Railway Terrace
Rugby CV21 3HT
United Kingdom
Phone: + 44 - 1788 - 560631
Fax: + 44 - 1788 - 540270
e-mail: itdg@gn.apc.org



The Intermediate Technology Development Group (ITDG) is an independent British charity, founded by Dr. E.F. Schumacher, author of *Small is Beautiful*, to help increase the income-generating and employment opportunities of small-scale industrial activities in developing countries.



Advisory Service provided by RAS/BASIN

SKAT
Vadianstrasse 42
CH-9000 St.Gallen
Switzerland

SKAT

Phone: + 41 - 71 - 228 54 54
Fax: + 41 - 71 - 228 54 55
e-mail: info@skat.ch

SKAT (Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management) is a documentation centre and consultancy group which is engaged in promoting appropriate technologies in the Third World



Advisory Service provided by EAS/BASIN

CRATerre - EAG
Maison Levrat, Parc Fallavier
BP 53
F - 38092 Villefontaine Cedex
France
Phone: + 33 (0) 474 95 43 91
Fax: + 33 (0) 474 95 64 21
e-mail: cratterre-eag.villefontaine@grenoble.archi.fr

CRATerre

CRATerre, the International Centre for Earth Construction, is a specialised unit of the school of Architecture of Grenoble, dedicated to the promotion of earth as a building material.

ORGANISATION DE L'INFORMATION

Page introductive

(pages blanches)

Annexe

(triangle noir dans le coin supérieur droit)

Éléments de bâtiments

(Informations fondamentales: triangle noir dans le coin supérieur droit)
(Exemples: pages blanches)

Matériaux de construction

(Informations fondamentales: triangle noir dans le coin supérieur droit)
(Exemples: pages blanches)

Comment utiliser ce catalogue	!
Table des matières	C
Introduction	I

Machines et équipements	
Facteurs de conversion	
Adresses utiles	
Bibliographie	
Abréviations	
Index	

Fondations	
Planchers et plafonds	
Murs	
Toitures	
Systèmes de construction	
Mesures de protection	

	Déchets
	Soufre
	Plastiques
	Verre
	Métaux
	Bois
	Bambou
	Fibres naturelles, herbes, laines
	Monter de fibres et microplastique
	Béton armé
	Béton
	Matériaux troussolantiques
	Ciment
	Chaux
	Liaits
	Matériaux en terre cuite
	Stabilisants
	Terre, sol, latérite
	Plâtre

COMMENT UTILISER CE CATALOGUE

Ce catalogue est constitué de trois parties principales:

Première partie

INFORMATIONS FONDAMENTALES

Cette partie informe de façon générale sur les matières premières, les procédés et l'utilisation des

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION,

donne des directives pour la conception des

ÉLÉMENTS DE BÂTIMENTS

et des conseils pratiques en matière de

MESURES DE PROTECTION et de

CONCEPTION BIOCLIMATIQUE

Deuxième partie

ILLUSTRATIONS

Cette partie est un

CATALOGUE

d'applications traditionnelles et expérimentales des

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

destinés à chaque catégorie d'

ÉLÉMENTS DE BÂTIMENTS

Troisième partie

ANNEXES

Cette partie est destinée à faciliter la mise en oeuvre des technologies présentées dans ce catalogue

Plusieurs pistes peuvent être suivies pour cerner les informations recherchées, comme le montrent les questions au verso:



C
I



In.
cm



Questions	Réponses 1° Chercher le(s) repères(s)	Localisation 2° Chercher le(s) passage(s) ou le(s) point(s) traitant du sujet
Sur place, le sol recèle-t-il du matériau utilisable pour construire?		Test de laboratoire et sur le terrain
Que se passe-t-il lorsque le ciment se solidifie?		Hydratation du ciment
Quels sont les problèmes posés par l'emploi du bambou?		Problèmes et remèdes
Quel type de toiture convient aux climats chaud et sec?		Toitures pour climats chaud et sec
Comment réaliser des maçonneries résistant aux tremblements de terre?		Tremblements de terre: Mesures de protection
Quels sortes de toitures peuvent être construites en béton armé?	 	Toitures en ferrociment
Comment construire des maisons entièrement en briques de terre crue?	 	Voûtes et coupoles en briques de terre crue
Où obtenir des informations sur les matériaux de construction au Guatemala?		Guatemala
Quelles publications sont recommandées à propos des matériaux pouzzolaniques?		08. Matériaux pouzzolaniques
Que signifie «pfa» et à quelle page trouve-t-on l'explication?		Lettre «P»

Les lecteurs sont invités à lire les pages d'INTRODUCTION avant d'utiliser ce catalogue.

TABLE DES MATIERES

ORGANISATION DE L'INFORMATION	I
COMMENT UTILISER CE CATALOGUE	III
TABLE DES MATIERES	V
INTRODUCTION	IX
INFORMATION FONDAMENTALE SUR LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION 1	
LA PIERRE	3
TERRE, SOL, LATÉRITE	7
STABILISANTS	27
PRODUITS EN TERRE CUITE	35
LES LIANTS	45
LA CHAUX	49
LE CIMENT	59
LES MATÉRIAUX POUZZOLANIQUES	63
LE BÉTON	69
LE FERROCIMENT	75
LE FIBROMORTIER ET LE MICROBÉTON	81
FIBRES NATURELLES, HERBES, FEUILLES	89
LE BAMBOU	93
LE BOIS	99
LES MÉTAUX	109
LE VERRE	113
LES PLASTIQUES	115
LE SOUFRE	117
LES DÉCHETS	121
INFORMATION FONDAMENTALE SUR LES ÉLÉMENTS DE BÂTIMENTS 133	
LES FONDATIONS	135
LES PLANCHERS ET PLAFONDS	143
LES MURS	145
LES TOITURES	151
LES SYSTÈMES DE CONSTRUCTION	157
INFORMATION FONDAMENTALE SUR LES MESURES DE PROTECTION 159	
LES AGENTS BIOLOGIQUES	161
LE FEU	165
LE VENT ET LA PLUIE	167
LES TREMBLEMENTS DE TERRE	171



INFORMATION FONDAMENTALE SUR LA BIOCLIMATISATION.....	177
LA BIOCLIMATISATION	179
NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE PHYSIQUE	181
LE CONFORT THERMOHYGROMÉTRIQUE	185
LE CLIMAT	187
RECOMMANDATIONS POUR LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE	189
EXEMPLES DE MATÉRIAUX DE FONDATION.....	193
FONDACTIONS EN PIERRES NATURELLES	195
FONDACTIONS EN TERRE DAMÉE	197
FONDACTIONS EN BRIQUES CUITES	199
FONDACTIONS EN BÉTON	201
PIEUX EN SEGMENTS DE BAMBOU FENDU	205
FONDACTIONS À PIEUX EN BOIS	207
EXEMPLES DE MATÉRIAUX DE PLANCHER.....	211
PLANCHERS EN TERRE STABILISÉE	213
ÉLÉMENTS EN ARGILE CUITE ET/OU EN BÉTON	215
ÉLÉMENTS DE PLANCHER PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON	219
PLANCHERS EN BAMBOU	223
PLANCHERS EN BOIS	225
SOLS EN BÉTON DE SOUFRE	229
FINITIONS DE SOLS ORDINAIRES	231
EXEMPLES DE MATÉRIAUX POUR MURS.....	237
MURS EN BLOCS DE MOELLONS BÉTONNÉS	239
MURS EN TERRE DAMÉE OU PISÉ	241
MURS EN BRIQUES DE TERRE COMPRIMÉE	245
MURS EN TERRE RENFORCÉE DE BAMBOUS	249
MURS EN BRIQUES D'ARGILE CUITE	253
MURS EN BLOCS DE BÉTON CREUX	255
MURS EN BAMBOU	257
MURS EN PANNEAUX D'AVIVÉS	259
MURS EN BÉTON DE SOUFRE	263
MURS RÉALISÉS À PARTIR DE DÉCHETS VÉGÉTAUX	265
EXEMPLES DE MATÉRIAUX DE TOITURE.....	267
COUVERTURE EN ROULEAUX EN TERRE	269
COUVERTURE EN BRIQUES DE TERRE	271

COUVERTURES EN TUILLES D'ARGILE CUITE	273
COUVERTURE À COQUILLES CONOÏDES EN PLÂTRE-SISAL	275
COUVERTURE À CANAUX PREFABRIQUÉS EN BÉTON	277
COUVERTURES EN FERROCIMENT	279
COUVERTURE EN PLAQUES ONDULÉES EN FIBROMORTIER	283
TUILLES EN FIBRO- ET VIBROMORTIER	287
COUVERTURES DURABLES EN CHAUME (HERBACÉES À TIGES RIGIDES)	291
TOITURES À CHARPENTES EN BAMBOU	295
TOITURES AVEC CHARPENTES À POTEAUX EN BOIS	301
COUVERTURES À BARDEAUX EN BAMBOU OU EN BOIS	307
COUVERTURE EN TOLES ONDULÉES	311

EXEMPLES DE SYSTEMES DE CONSTRUCTION.....313

EDIFICES À VOÛTES ET COUPOLES EN BRIQUES DE TERRE CRUE	315
CONSTRUCTIONS TERRE-BAMBOU ANTISISMiques	319
MAISON EN BRIQUES D'ADOBE	323
CONSTRUCTION EN BLOCS DE TERRE À EMBOÏEMENT ET OSSATURE INTERNE	325
SYSTÈME LOK BILD	327
MAISON EN PANNEAUX DE BÉTON	331
SYSTÈME SBB	333
CONSTRUCTION LÉGÈRE EN FERROCIMENT	335
SYSTÈME DE CONSTRUCTION FIBRACRETO	337
CONSTRUCTION EN BÉTON ARMÉ DE BAMBOU	339
MAISONS EN BAMBOU	341
ABRI À PORTIQUES PRÉFABRIQUÉS EN BOIS	349
MAISON PRÉFABRIQUÉE EN BOIS	351
MAISONS EN TRONCS POUR ZONES INONDABLES	353
MAISON PROTOTYPE EN CSR-CHAUX	357

ANNEXES.....359

MACHINES ET ÉQUIPEMENTS	361
FACTEURS DE CONVERSION DES UNITÉS	387
ADRESSES UTILES	393
BIBLIOGRAPHIE	421
INDEX DES ABRÉVIATIONS ET DES NOMS	457



INTRODUCTION

Objectif de ce catalogue

Pour attirer l'attention du monde sur la situation désastreuse de l'habitat dans les pays en développement, les Nations Unies ont instauré l'année 1987, Année Internationale de l'Habitat pour les Sans Abris (IYSH 1987). Aux nombreux aspects politiques, sociaux et économiques du problème, s'ajoutent aussi le déficit en solutions techniques appropriées. L'objectif de ce livre est précisément d'apporter des réponses à ce dernier point.

Dans le monde on dispose aujourd'hui, de suffisamment d'informations relatives aux matériaux et technologies de construction adaptés aux pays en développement. Cependant, très peu de personnes y ont accès et particulièrement les constructeurs de ces pays. Ce catalogue a donc été rédigé pour les architectes, les ingénieurs, les institutions d'enseignement et scientifique, les producteurs et fournisseurs de matériaux de construction, mais aussi et surtout pour les constructeurs impliqués dans le secteur de l'habitat économique.

L'objectif de ce catalogue est de:

- résumer des données techniques et des informations pratiques d'un grand nombre de publications, pour permettre au lecteur de trouver les solutions appropriées à la plupart des problèmes de construction de l'habitat économique dans les pays en développement, sans qu'il soit obligé de consulter une volumineuse littérature dont la masse s'accroît d'année en année;
- faire un inventaire des matériaux et méthodes traditionnels, ainsi que de méthodes en phase expérimentale mais prometteuses pour le futur;
- fournir une information théorique de base, associée à de nombreuses illustrations

pratiques de l'utilisation de matériaux de construction, dans l'espoir de contribuer à l'émergence de nouvelles méthodes de construction permettant de réduire les coûts, le temps de construction, les besoins en énergie, les déchets et la pollution;

- contribuer à l'échange d'informations et d'expériences dans le monde entier, entre tous ceux qui sont impliqués dans la recherche, le développement et l'application de la construction de bâtiments dans les pays en développement.

Choix des Matériaux de Construction Appropriés

Un matériau ou une technologie de construction n'est jamais universel. Les questions suivantes mettent en relief quelques-unes des particularités qui font qu'un matériau ou une technologie de construction est approprié(e):

- Le matériau est-il produit localement ou bien est-il en partie, ou en totalité, importé ?
- Est-il économique, disponible en abondance, et/ou facilement renouvelable?
- A-t-il été produit dans une fabrique éloignée (coûts de transport!); sa production requiert-elle des machines et équipements spéciaux ou bien peut-il être produit à faible coût sur le site? (Une bonne qualité et une bonne durabilité prennent souvent le pas sur un faible coût d'approvisionnement).
- La production et l'utilisation requièrent-elles beaucoup d'énergie? Engendrent-elles déchets et pollution? Est-ce un matériau alternatif acceptable qui élimine de tels problèmes?



- Le matériau et la conception sont-ils acceptables d'un point de vue climatique?
- Le matériau et la conception sont-ils suffisamment sûrs face aux risques naturels (p. ex. feu, agents biologiques, fortes pluies, ouragans, tremblements de terre)?
- Le matériau et la technologie peuvent-ils être utilisés et compris par la population locale, ou bien une compétence et une expérience spécialisée sont exigées?
- Les problèmes de réparation et de pièces de rechange peuvent-ils être résolus localement?
- Le matériau est-il acceptable socialement? Est-il considéré comme bas de gamme, ou enfreint-il des croyances religieuses? Doit-il concurrencer des matériaux et des procédés de construction semblables?

Remarque importante

Les lecteurs sont priés de garder à l'esprit les points suivants:

- Pour être utilisable par le plus grand nombre, ce livre ne prétend ni à une présentation exhaustive du sujet, ni à une analyse scientifique des technologies de construction présentées.
- Toutes les données techniques présentées proviennent de publications ou de fiches techniques des producteurs. Par conséquent, ni l'auteur, ni l'éditeur ne peuvent être tenus pour responsables des éventuelles inexactitudes.
- Les matériaux de construction, les éléments de bâtiments et les informations générales présentées dans ce manuel, se réfèrent principalement au contexte des constructions économiques à un ou 2 niveaux. La construction de bâtiments à plusieurs étages nécessite une étude détaillée, pour satisfaire les exigences structurales, ce qui requiert l'intervention de spécialistes.
- La construction d'un bâtiment ne devrait pas être entreprise sans connaissance suffisante sur les matériaux et la construction. Malheureusement, les matériaux et technologies de construction appropriés sont quelque fois considérés comme suffisamment simples pour être mis en oeuvre par des personnes sans compétence ou expérience spécifique. Les pauvres résultats obtenus -voire même les échecs- qui découlent d'une telle pratique ont suscité beaucoup de critiques et conduit à la croyance généralisée que les technologies appropriées sont des technologies moins valables. Il est donc important d'insister sur le fait que si un matériau échoue ou déçoit, c'est de toute évidence soit qu'il n'était pas approprié pour cette application particulière, soit qu'il a été produit ou utilisé de façon incorrecte.

Des matériaux de construction qui sont produits avec des technologies appropriées doivent donc être fabriqués et utilisés avec les mêmes compétences et le même soin que les produits de haute technologie.

Remerciements

Beaucoup de lecteurs de l'édition antérieure ont envoyé de nombreux commentaires et suggestions qui ont grandement influencé la préparation de cette nouvelle édition. Les auteurs leur sont extrêmement reconnaissants pour la peine qu'ils se sont donnée afin de communiquer autant de précieuses informations et ils espèrent que cette nouvelle édition suscitera encore pareilles réactions.

Les auteurs remercient sincèrement le SKAT, ITDG et le GATE pour leur appui et leur collaboration, mais aussi, et plus particulièrement, pour leur compréhension et leur patience pendant la préparation de cet ouvrage qui a demandé plus de temps que prévu. Les auteurs remercient tout spécialement Hannah Schreckenbach du GATE et Karl Wehrle du SKAT pour leurs commentaires détaillés et suggestions, ainsi que pour la fourniture d'un grand nombre d'illustrations utiles.

Plusieurs experts internationaux ont généreusement fourni du matériel d'information et d'illustration, ainsi que des commentaires, des suggestions et des avis techniques, pour lesquels les auteurs leur sont profondément reconnaissants. Il est impossible de citer tous les noms, mais mention doit être faite de Victor Beck (SKAT, St. Gallen), Lilia Casanova (RENAS-BMTCS, Manila), Professeur Lutz Christians (TU Berlin), Thomas Gieth (CTA Asuncion), Nicolas Hall (Londre), Urs Heierli (SDC, Dhaka), Neville Hill (TERRE, Portsmouth), Hugo Houben (CRATerre, Villfontaine), Carlos Lola (ATI, Washington, D.C.), Kosta Mathéy (TRIALOG, Munich), G.C. Mathur (NBO, New Delhi), Professeur Gernot Minke (Gh Kassel), John Norton (DW, Fumel), Alvaro Ortega (Montreal), John Parry (ITW, Cradley Heath), Helmut Stiehler (GATE, Eschborn), Klaus Vorhauer (Karlsruhe),

Wolfgang Willkomm (Hanover), Werner Wilkens (DESWOS, Cologne), Ad Wouters (CICAT, Delft).

Les sources des informations et illustrations ont été mentionnées partout où cela se justifiait.

Les Illustrations sans origine précisée proviennent des auteurs.

Les auteurs rendent tout spécialement hommage à l'Unité des Etablissements Humains de l'ESCAP/UNIDO Division of Industry, Human Settlements and Technology, pour le compte de qui Kiran Mukerji menait une étude sur les matériaux et technologies de construction en Asie (janvier à avril 1987), pour leur autorisation d'utiliser certains des matériaux collectés durant cette mission.



INFORMATION FONDAMENTALE SUR LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION



LA PIERRE

Généralités

La pierre naturelle est peut-être le plus vieux, le plus abondant et le plus durable des matériaux de construction «prêt à l'emploi». Elle se rencontre principalement dans les régions montagneuses. Diverses variétés de pierres naturelles peuvent aussi servir à la production d'autres matériaux de construction.

Les pierres principalement employées dans la construction appartiennent à trois familles géologiques distinctes.

1. *Les roches ignées*, généralement cristallines. Elles se forment lors du refroidissement du magma en fusion, expulsé au travers des fissures de la croûte terrestre. Par conséquent, elles ne contiennent ni fossile, ni coquillage. Exemples les plus communs: granites et pierres volcaniques.
2. *Les roches sédimentaires*, ordinairement stratifiées. Elles proviennent de la décomposition ou de l'altération de roches ignées (suite aux actions conjuguées ou isolées de l'eau, du vent et de la glace) ou d'accumulations de matières organiques. Exemples les plus communs: grès et calcaires.
3. *Les roches métamorphiques*. Elles ont pour origines des roches ignées ou sédimentaires, dont la structure a subi des modifications suite à la combinaison de pressions et de températures très élevées. Exemples les plus communs: schistes (ils proviennent de l'argile), quartzites (ils proviennent du grès) et marbres (roches calcaires).

L'extraction de certaines roches est possible à partir d'un outillage simple (foreuses, coins et marteaux). Habileté et expérience sont cependant indispensables, pour réaliser des coupes précises. Les roches très dures, tel le granite, nécessitent un équipement méca-

nisé plus sophistiqué. La pierre naturelle peut être utilisée brute (c.-à-d. de forme irrégulière), ou équarrie. Selon l'utilisation prévue, l'équarrissage est réalisé avec un outillage simple, ou avec des machines. La pierre peut être employée en totalité, sans laisser de déchets.

Applications

- Moellons (pierres brutes ou grossièrement taillées): fondations, planchers, murs, ou même avant-toits, dans tous les cas, avec ou sans mortier.
- Pierre de taille (pierre équarrie ou d'appareil): maçonneries à assises régulières, appuis de fenêtre, linteaux, marches et dallage.
- Pierre imperméable (p. ex. le granite): barrière contre l'humidité; parement extérieur de murs, quoique moins approprié pour des constructions économiques.
- Ardoises pour la couverture de toits.
- Gravier et pierres concassées comme agrégats pour béton et granito.
- Gravier fins pour le garnissage de la surface de feutres bitumeux.
- Poudres pour allonger des peintures.
- Calcaires pour la production de chaux et de ciment.



PIERRES POUR LA CONSTRUCTION: MATÉRIAUX ET APPLICATIONS (Nations Unies: La Pierre au Népal, 1977)

Type	Calcaires	Grès	Granites
<i>Utilisation</i>	maçonnerie et parement		maçonnerie, parement (plinthes, terrasses, marches)
<i>Composition</i>	carbonate de calcium presque en totalité	grains de quartz, parfois mica et feldspath, liés presque excl. avec silice ou carbonate de calcium	principalement feldspath, quartz et mica
<i>Méthode de production</i>	extraction, coupe à dimension (taille et sciage), finition selon demande, p.ex., modèle, aspect de surface rocheux, finement piqueté, scarifications, en coquilles d'oeuf ou poli		
<i>Poids spécifique en kg/m³</i>	1900-2700	1950-2550	2400-2900
<i>Résistance à la compression MN/m²</i>	9-59	21-105	90-146
<i>Absorption en eau %</i>	2.5-11	2.0-8.5	0.1-0.5
<i>Comportement au feu</i>	la pierre est incombustible		
<i>Gonflement à l'eau</i>	environ 0.01	0.07	aucun
<i>Résistance aux produits chimiques</i>	attaqués par les acides	résistent à la plupart des acides sauf les grès calcaires qui sont attaqués	résistent à la plupart des produits chimiques
<i>Résistance aux sels solubles</i>	faible à très bonne	faible à bonne	faible à bonne
<i>Coefficient de dilatation thermique (par °C)</i>	4×10^{-6}	12×10^{-6}	11×10^{-6}
<i>Conductivité thermique (W/m. °C)</i>	1.5	1.5	3.0
<i>Résistance au gel</i>	faible à très bonne	faible à excellente	bonne à excellente
<i>Durabilité</i>	dépend du comportement thermique, de la résistance aux produits chimiques et de l'usage de la pierre		
<i>Dureté de la taille</i>	tendre à dure	très dure	dure
<i>Salissement</i>	se salissent en atmosphère urbaine		résistent à la salissure
<i>Facilité de nettoyage</i>	moyennement faciles	difficiles à nettoyer	difficiles à nettoyer

Marbres	Schistes	Quartzites
bordures de fenêtre, planchers et marches	bordures de parement, dallage d'es-calier et de plancher	plinthes de parement, planchers, dallage et marches
principalement carbonate de calcium	principalement silice, oxydes d'aluminium et oxydes de fer	principalement quartz
idem calcaires, grès, granites		fini nature, fendage
2725-2900	2400-2900	environ 2600
environ 60	75-200	environ 100
0.1-0.5	0.1	0.1-0.5
	négligeable	
attaqués par les acides	résistent généralement aux acides	résistent à la plupart des acides
bonne	bonne	bonne
4×10^{-6}	11×10^{-6}	11×10^{-6}
2.5	1.9	3.0
bonne à excellente	bonne à excellente	bonne à excellente
dépend du comportement thermique, de la résistance aux produits chimiques et de l'usage de la pierre		
moyennement dure	dure	dure
résistent moyennement à la salissure	résistent à la salissure	
	difficiles à nettoyer	

!
C
I



In./cm



Avantages

- Habituellement, disponible en abondance et d'accès facile en régions montagneuses; généralement l'extraction nécessite un faible investissement et consomme peu d'énergie.
- Durabilité et résistance extrêmement élevées de la plupart des variétés de pierre; exigences d'entretien négligeables.
- L'imperméabilité de la plupart des variétés de pierres, offre une bonne protection contre la pluie.
- Matériau approprié aux climats montagneux et de régions arides, du fait de son importante inertie thermique.

Problèmes

- La pollution atmosphérique peut provoquer des détériorations. Ainsi, des composés soufrés dissous dans l'eau de pluie produisent de l'acide sulfurique. L'attaque des carbonates et des calcaires par cet acide, entraîne l'apparition de boursoufflures et la formation d'une croûte.
- Efflorescence et effritements causés par certains sels ou l'embrun en région côtière.
- Dégradations dues aux dilatations thermiques de certaines pierres, tout particulièrement lorsqu'elles sont fixées rigidement à des matériaux dont le coefficient de dilatation est différent, p. ex. le béton.
- Dégradations de surface dues, soit à l'eau qui dissout progressivement les calcaires, soit à des cycles séchage-mouillage répétitifs (mal supportés par certains grès), soit encore au gel de l'eau piégée dans des fissures.
- Faible résistance aux tremblements de

terre, et mise en danger de vies humaines en cas d'effondrement.

Remèdes

- Eviter l'utilisation des calcaires et grès calcaires à proximité de sources de pollution atmosphérique (p. ex. émission de dioxyde de soufre; combustion de charbon ou de pétrole).
- Eviter les produits de traitement de surface qui contiennent des sels; le nettoyage occasionnel de pierres atteintes permet d'enlever les sels, surtout en régions côtières.
- Aménagement de joints de mouvement permettant d'associer des matériaux ayant des coefficients de dilatation différents.
- Conception du bâtiment prenant en compte l'évacuation des eaux de pluie (évaporation et/ou drainage) pour éviter des dégradations dues au gel ou le lessivage des calcaires.
- Conception soignée du bâtiment, prévoyant des renforts aux angles, le chaînage de la construction, etc., et dans les régions à risques sismiques éviter absolument les voûtes en pierre et les avant-toits.

TERRE, SOL, LATÉRITE

Généralités

Dans la construction, les termes terre et sol se réfèrent au même matériau. Le terme «boue» ou pâte mi molle se rapporte à de la terre humide et plastique avec ou sans additif(s). Ce matériau est utilisé pour façonner soit des briques d'adobe, soit directement des murs monolithiques.

Terre

La terre est un matériau meuble résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente. Cette transformation est due aux actions plus ou moins simultanées du soleil, du vent, de la pluie et du gel, ainsi qu'à des modifications chimiques. Ces dernières sont dues à la présence d'organismes vivants (flore et faune) et à la migration de substances chimiques, véhiculées par les eaux de pluie, l'évaporation, les eaux de surface et les eaux souterraines.

Latérite

Parmi les divers types de sol rencontrés dans les régions tropicales et subtropicales, les latérites sont particulièrement intéressantes pour la construction. Ce sont des terres fortement altérées, qui contiennent des proportions importantes, mais très variables, d'oxydes d'aluminium et de fer, ainsi que du quartz et d'autres minéraux. Ce type de sol se rencontre fréquemment dans la ceinture tropicale et subtropicale et généralement à faible profondeur, dans des régions de savane ou de savane arborée, soumises à de fortes précipitations. La couleur (de l'ocre au noir, en passant par le rouge, le brun et le violet) dépend fortement de la concentration en oxydes de fer.

Les latérites possèdent des caractéristiques propres qui les différencient des autres types de sols.

- Exposé à l'air, le matériau meuble a tendance à durcir. C'est pourquoi traditionnellement (p. ex. en Inde), les blocs de terre découpés sur la carrière sont ensuite stockés sur place pendant quelque temps. Ainsi durcis au contact de l'air, les blocs sont alors utilisés pour construire (d'où le nom de latérite, dérivé du mot latin «later» qui signifie «brique»).
- Plus elles sont sombres, plus les latérites sont dures, lourdes et résistantes à l'humidité.
- Certaines latérites mélangées à de la chaux développent une réaction pouzzolanique (cela peut s'expliquer du fait de l'importante teneur en argile), qui permet de fabriquer des matériaux de construction résistants et durables (p. ex. blocs stabilisés).

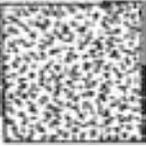
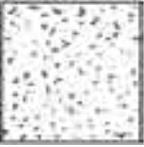
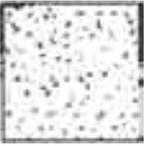
Quelle que soit la terre, celle-ci se compose toujours de particules de nature et de dimensions différentes, comme le montre le tableau qui suit.

A côté des particules solides, la terre renferme de l'air et de l'eau.

- L'air est un facteur d'affaiblissement indésirable dans la construction. De plus, il contient des micro-organismes et de la vapeur d'eau, qui tous deux peuvent provoquer la détérioration des éléments d'une construction.
- L'eau, sans laquelle la terre ne pourrait pas être employée pour bâtir, peut contenir des substances dissoutes (sels) susceptibles de créer des problèmes.

La plupart des terres peuvent être utilisées comme matériaux de construction. Cependant, l'addition ou l'élimination de certains constituants est souvent nécessaire pour



<i>Matériau</i>	<i>Caractère</i>	<i>Dimension des particules</i>	<i>Breve description</i>
Gravier		60 à 2 mm	Morceaux de roches tel que granite, calcaire, marbre, etc., de toutes formes (ronde, plate, angulaire). Le gravier constitue le squelette d'une terre, il limite la capillarité et le retrait.
Sable		2 à 0.06 mm (c.-à-d. la plus petite dimension de grain qui peut être discernée à l'oeil nu)	Essentiellement des particules de silice ou de quartz. Les sables de plage contiennent en plus du carbonate de calcium (fragments de coquillages). Les grains de sable manquent de cohésion en présence d'eau, ils limitent le gonflement et le retrait.
Silt		0.06 à 0.002 mm	Identique au sable des points de vue physique et chimique, mais beaucoup plus fin. Les particules de silt contribuent à la stabilité d'un sol, en augmentant la friction interne. Elles adhèrent les unes aux autres lorsque le matériau est humide et comprimé
Argile		inférieur à 0.002 mm (2 μ)	L'argile résulte de l'altération chimique des roches, principalement des silicates. Les particules hydratées de silicate d'aluminium se présentent sous forme de plaquettes minces dont la surface spécifique est extrêmement élevée, d'où l'importante cohésion en présence d'eau, ainsi que des retraits et gonflements excessifs.
Colloïdes		inférieur à 0.002 mm (2 μ)	Fines particules qui résultent de la décomposition des matières organiques et minérales (l'argile est le principal colloïde minéral), formant une substance collante.
Matières organiques		plusieurs mm à plusieurs cm	Micro-grains et fibres qui résultent de la décomposition de plantes et de micro-organismes. Matière filandreuse ou spongieuse, dont l'odeur est semblable à celle du bois humide en train de pourrir.

améliorer leur qualité. Divers tests permettent d'identifier les caractéristiques d'une terre, afin de vérifier son aptitude à être employée pour la construction de bâtiments. Ces tests sont décrits aux points «Essais de terrain» et «Essais de laboratoire».

Il faut insister sur le fait, que contrairement à ce qu'on pense généralement, bâtir en terre n'est pas si simple. Le seul fait que les autochtones de nombreux pays bâtissent leurs maisons avec de la terre depuis des milliers d'années, ne signifie pas que la technologie peut être développée et maîtrisée par tout un chacun. En réalité, le manque de compétence conduit à la réalisation de constructions de piètre qualité, qui donnent au matériau terre une mauvaise réputation. En revanche, bien encadré, quasiment n'importe qui peut apprendre à bâtir de façon satisfaisante avec de la terre, et contribuer ainsi à renouveler la confiance en l'un des plus anciens et des plus polyvalents matériaux de construction.

Applications

Les constructions en terre se rencontrent partout dans le monde, même si dans les régions où les précipitations sont très importantes leur nombre est plus réduit.

Les bâtiments peuvent être construits soit entièrement, soit partiellement en terre, selon leur emplacement, le climat, les compétences disponibles, le coût et leur usage. La construction peut être monolithique ou associer divers composants (briques, enduits, éléments coffrés).

Dans les régions où la variation journalière de température est importante (régions montagneuses ou arides), il est préférable de construire les murs et les toits, plus épais que dans les régions où la température est

plus uniforme (régions humides). L'inertie thermique d'un bâtiment permet, en effet, d'atténuer l'amplitude et la rapidité des variations extérieures.

La terre peut être employée pour la réalisation de toutes les parties importantes d'un bâtiment.

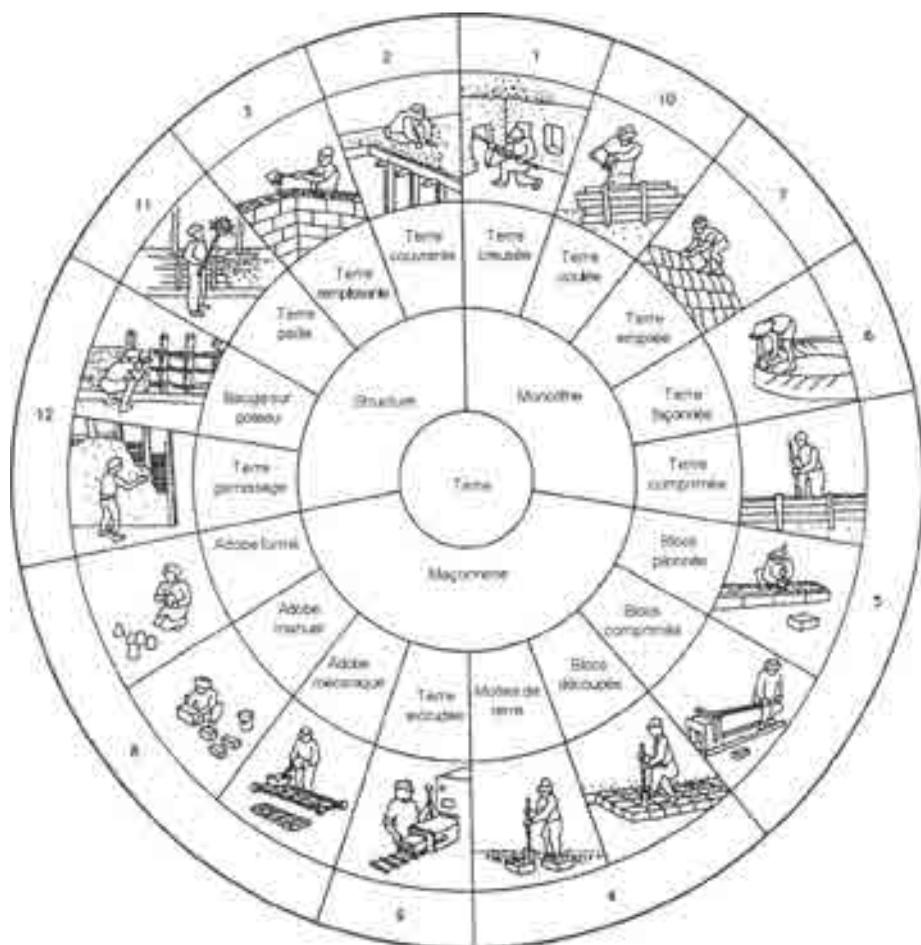
Fondations

- Variétés dures de latérite, de granularité adéquate (du sable au gravier), légèrement compactées, pour bâtiments de petite dimension; en régions sèches.
- De même la latérite comme agrégat pour le béton.
- Blocs en terre stabilisée (10 % de ciment), séchés à l'air et maçonnés au mortier latérite-ciment; uniquement en régions sèches.

Murs

- Premières assises: idem fondations.
- Façonnage direct: pas de coffrage, simple pressage à la main de la terre humide .
- Pisé (murs monolithiques en terre damée): compactage dans un coffrage (similaire aux coffrages à béton) de terre légèrement humide. Stabilisation: paille, ciment, chaux, bitume, bouse de vache, etc. selon nécessité.
- Murs en terre-paille: semblable à la terre damée, mais avec de la paille (toutes sortes) comme composant principal et de l'argile comme liant. (bonne isolation thermique, p. ex. pour régions montagneuses).
- Torchis (terre appliquée sur un support): p. ex. cadre en bois ou en bambou avec pailles tissées ou tressées (clayonnage et enduit).





Mode d'utilisation de la terre dans la construction (Bibl. 02.19)

- Construction de maçonneries en blocs d'adobe (terre pétrie), séchés à l'air et posés sur un mortier de terre (addition de sable). Nécessite un enduit de protection contre la pluie.
- Construction de maçonnerie de blocs de terre comprimée stabilisés, séchés à l'air et posés sur un mortier terre-ciment ou terre-chaux. Dans les régions à pluviométrie modérée, les enduits ne sont pas nécessaires.
- Enduits: terre avec ou sans additif(s), tels que liants (ciment, chaux, plâtre), agents hydrophobes (bitume, extraits de plantes, produits chimiques) matériaux fibreux (fibres végétales ou animales, bouse de vache), ou uniquement bouse de vache.
- Peintures: mélange de terres.

Planchers

- Dans des régions relativement sèches, avec un bon drainage et une nappe phréatique profonde. Couche de base en terre bien damée (terre riche en argile), recouverte de gravier de gros calibre (pour empêcher les remontées capillaires), recouverte à son tour de gravier de petit calibre et d'une couche de sable. Couche de surface: sol limoneux, mélangé à 5% d'huile de lin et compactage à la dame ou avec un vibreur.
- Même chose que précédemment, mais la couche de surface est réalisée avec des briques ou des carreaux de terre stabilisée, posés sur un lit de sable et jointoyés avec un mortier terre-ciment.
- Traditionnellement le sol des habitations rurales (Asie, Afrique) est fait de terre ou de pierres compactées. La surface est ensuite lissée soit avec un mélange de terre

et de bouse de vache, soit uniquement avec de la bouse de vache (meilleure résistance au frottement, aux insectes et à la fissuration).

- Autres durcisseurs de surface: urine d'animaux (cheval) mélangée à de la chaux; sang de boeuf mélangé à des cendres ou des scories broyées; colles animales; huiles végétales; termitières réduites en poudre; coquilles broyées; certains silicates et autres produits synthétiques.

Couvertures

- Toits plats traditionnels avec charpente en bois couverte de terre bien compactée (même nature que la terre utilisée pour la construction de murs en terre damée). Ne convient qu'aux régions sèches.
- «Fusées» de terre-paille posées humides entre des pannes en bois (couverture horizontale ou inclinée); nivellement de la surface extérieure avec une couche de terre-paille; application d'un feutre bitumineux ou d'un enduit à base de goudron. Système non recommandé dans les régions où il existe des termites.
- Toits de gazon: ils requièrent une membrane imperméable à l'eau et aux racines, du gravier pour le drainage de l'eau et l'aération des racines et une couche de terre sur laquelle pousse le gazon. Ils permettent d'obtenir un microclimat intérieur agréable, une bonne isolation phonique et ils purifient l'air. Ils conviennent à tous les climats.
- Coupoles et voûtes en briques de terre, construits avec ou sans coffrage. Chaque brique repose sur l'assise précédente et transmet un effort de compression. La descente de charge, qui décrit une courbe, s'inscrit dans l'épaisseur de la ma-



çonnerie. Système traditionnel que l'on rencontre dans la plupart des régions arides et semi-arides.

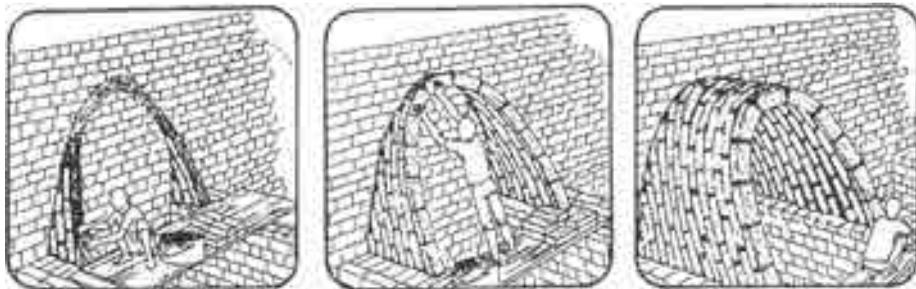
Avantages

- Disponible en grandes quantités dans la plupart des régions
- Matière première gratuite ou de coût réduit (essentiellement frais d'excavation et de transport), si la terre se trouve sur le site de construction.
- Facile à mettre en oeuvre, et généralement sans équipement spécialisé.
- Convient comme matériau de construction pour la réalisation de la plupart des parties d'un bâtiment.
- Excellente résistance au feu.
- Permet d'obtenir une bonne climatisation naturelle dans la plupart des régions, grâce à une importante inertie thermique, une faible conductibilité thermique et une porosité naturelle (d'où atténuation des variations de température extérieure et régulation naturelle du degré d'humidité de l'air ambiant).

- Faible consommation en énergie lors de la transformation et de l'utilisation (terre non stabilisée: seulement 1 % de l'énergie requise pour fabriquer et mettre en oeuvre une quantité identique de béton de ciment).
- Réutilisation illimitée de la terre non stabilisée (c.-à-d. recyclage de bâtiments démolis).
- Matériaux parfaitement appropriés d'un point de vue écologique (utilisation d'une ressource illimitée à son état naturel, aucune pollution, consommation énergétique négligeable, aucun déchet).

Problèmes

- Des cycles d'humidification-séchage excessifs et répétés (gonflement et retrait) d'éléments en terre non stabilisée, provoquent leur fissuration et leur détérioration, tout comme la pluie et des inondations les affaiblissent et conduisent à leur désagrégation.
- Faible résistance au frottement et aux impacts, si insuffisamment stabilisée ou renforcée, d'où détérioration rapide en cas



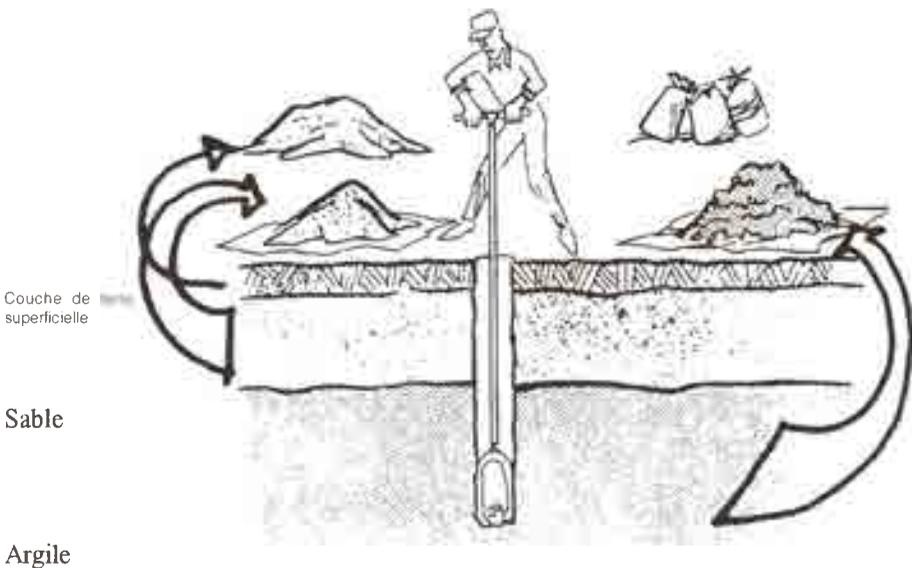
Construction d'une voûte en briques de terre (Bibl. 00.56)

d'utilisation intensive et possibilité de pénétration par des rongeurs et insectes.

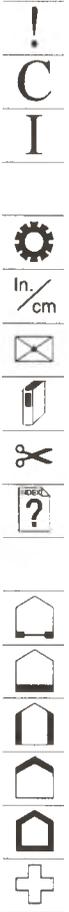
- Faible résistance à la traction, qui rend les constructions en terre non renforcées, très sensibles aux tremblements de terre.
- Faible degré d'acceptation de la plupart des groupes sociaux, due à de nombreuses réalisations de piètre qualité ou mal entretenues. Habituellement utilisée pour la construction de l'habitat des populations moins favorisées, la terre est aussi considérée comme le «matériau du pauvre».
- A cause de ces inconvénients, la terre ne bénéficie pas d'une reconnaissance institutionnelle dans la plupart des pays, ce qui explique souvent l'absence de normes de qualités et pour la construction.

Remèdes

- Pour éviter l'absorption excessive d'eau: sélection d'une terre appropriée et/ou correction de la granularité; ajout d'un stabilisant approprié et/ou d'un hydrofuge; bon compactage; et le plus important: bonne conception et mesures de protection.
- Généralement, les mesures citées ci-dessus améliorent aussi la résistance au frottement et aux impacts. Les hydrofuges n'améliorent pas nécessairement la dureté et la solidité; il peut donc être nécessaire d'utiliser des additifs et des traitements de surface spéciaux.
- Dans les régions sismiques, les constructions en terre requièrent une conception soignée, pour minimiser l'effet des forces



Prélèvement d'échantillons de terre avec une tarière (Bibl. 02.10)



destructives. Il est essentiel d'associer à la terre, des matériaux qui résistent bien à la traction (surtout pour les renforcements).

- La construction d'importants édifices publics, ainsi que de logements haut de gamme avec des matériaux en terre, peuvent être des démonstrations convainquantes des avantages de la technologie et donc améliorer son image de marque.
- En éliminant les principaux désavantages, le manque de reconnaissance institutionnelle peut être surmonté. Vu l'importance du matériau, des procédures d'essai et d'amélioration de la terre sont traitées ci-après de façon plus approfondie.

Tests d'identification

Que l'objectif soit de bâtir une seule maison ou de faire fonctionner une unité de production de blocs en terre stabilisée, il est essentiel de tester la terre employée. Or, les caractéristiques de la terre peuvent considérablement varier, même sur aire restreinte. Les tests doivent donc être pratiqués non seulement au début du chantier, mais aussi à intervalles réguliers et en tout cas à chaque fois qu'il y a une modification du lieu d'excavation.

Il existe deux catégories de tests.

- Les tests de terrains, qui sont relativement simples et rapides.
- Les tests de laboratoire, qui sont plus sophistiqués et plus longs.

Dans certains cas, l'identification d'une terre basée sur l'expérience acquise peut suffire s'il s'agit d'un petit chantier, mais normalement l'exécution de certains tests de terrain est indispensable. Ils permettent de déterminer s'il est nécessaire de recourir à des tests

de laboratoire (p. ex. lorsque les résultats des tests de chantier sont contradictoires). Il n'est pas nécessaire d'exécuter tous les tests. Seuls ceux qui permettent de se faire une idée claire de la nature de l'échantillon doivent être exécutés. Si les résultats sont négatifs, la terre est soit rejetée, soit améliorée. En plus de permettre d'optimiser la qualité du produit, les tests permettent d'économiser de l'argent, de la matière première, du stabilisant, de la main-d'oeuvre et de l'énergie.

Il faut toujours se rappeler que, seule, l'identification de la terre ne suffit pas à garantir une mise en oeuvre correcte. Les essais permettent aussi d'évaluer les performances mécaniques des matériaux de construction.

Collecte des échantillons

- Il est préférable d'extraire la terre directement sur le site de construction. Plusieurs prélèvements doivent être effectués sur une superficie suffisamment étendue pour garantir la fourniture d'une quantité de terre suffisante.
- Pour commencer, on élimine la couche de terre superficielle. Elle ne convient pas, parce qu'elle contient des matières végétales et des micro-organismes.
- Les échantillons de sol sont alors prélevés à une profondeur d'environ 1,5 m si l'excavation est manuelle, et de 3 m si l'excavation est mécanisée.
- Un outil spécial, appelé «tarière», permet d'extraire des échantillons à diverses profondeurs. Si le type de terre varie, les échantillons sont regroupés sur des tas séparés.
- Une étiquette attachée à chaque sac de terre prélevée pour analyse, porte les ren-

seignements suivants: épaisseur de chaque couche de sol, couleur et type de terre, description exacte de l'emplacement du trou.

Tests de terrain

L'exécution de ces tests simples devrait de préférence *suivre l'ordre présenté ici.*

Test de l'odeur

Equipement: aucun

Durée: quelques minutes

Sentir la terre aussitôt après prélèvement, pour détecter la présence de matières organiques (odeur de moisi plus marquée si l'échantillon est humidifié ou chauffé). Les sols qui contiennent des matières organiques ne peuvent pas être employés sans tests plus poussés.

Test du toucher

Equipement: aucun

Durée: quelques minutes

Après avoir enlevé les plus gros éléments (gravier), frotter l'échantillon de terre entre les doigts et la paume de la main. Une terre sablonneuse est rêche au toucher, et humide, elle n'a aucune cohésion. Une terre limoneuse est moins rêche au toucher, et humide, elle a une cohésion modérée. Des mottes dures qui, sèches, résistent à l'écrasement, mais deviennent plastiques et collantes lorsqu'elles sont humidifiées, indiquent une forte teneur en argile.

Des essais similaires peuvent être faits en écrasant légèrement une pincée de terre entre les dents (La terre est habituellement assez propre!)

Test de l'éclat

Equipement: couteau

Durée: quelques minutes

Une boulette de terre légèrement humide, tout juste tranchée avec un couteau, révèle soit une surface terne (prédominance de limon), soit une surface brillante (plus forte proportion d'argile).

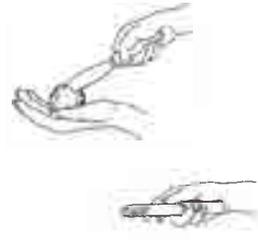


Test d'adhérence

Equipement: couteau

Durée: quelques minutes

Quand un couteau pénètre aisément une boulette de terre semblable à celle de l'essai précédent, la proportion d'argile est habituellement faible. Les terres argileuses tendent à résister à la pénétration de la lame et y adhèrent lorsque le couteau est retiré.



Test du lavage

Equipement: un bol d'eau ou un robinet

Durée: quelques minutes

Le nettoyage des mains après ces tests, informe aussi sur la composition de la terre: sable et limon sont faciles à enlever, tandis qu'il est nécessaire de frotter pour enlever l'argile.

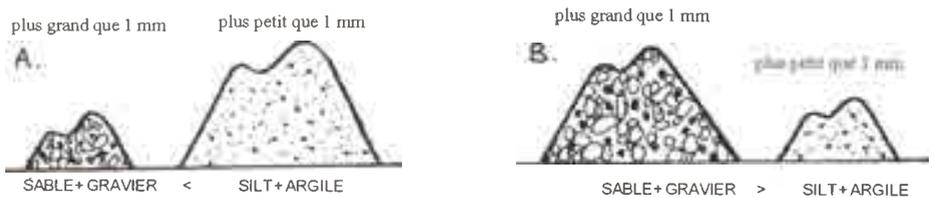


Examen visuel

Equipement: deux tamis avec une maille de 1 et 2 mm

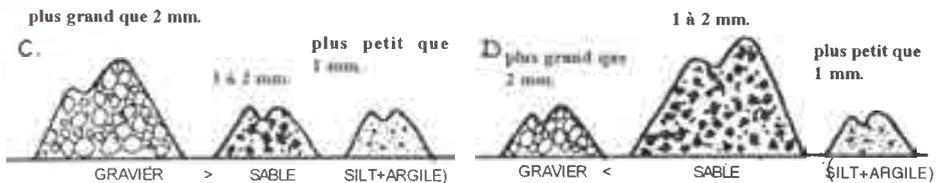
Durée: une demi heure

Utiliser le tamis de 1 mm, pour tamiser de la terre sèche sur une surface propre. Sable et gravier refusés au tamisage sont rassemblés en un tas. Idem pour silt et argile qui ont traversé les mailles du tamis. Il peut être nécessaire d'écraser préalablement les concrétions argileuses. En comparant l'importance des tas une classification grossière de la terre testée est possible.



A. Le sol est soit silteux soit argileux si le tas «silt + argile» est plus grand; une classification plus précise nécessite des tests complémentaires.

B. Le sol est sablonneux ou graveleux, si le tas «sable + gravier» est plus grand.



C. et D. Le tamisage sur le tamis de 2 mm révèle si la terre est graveleuse ou sablonneuse.

Si la terre est graveleuse ou sablonneuse, on façonne une boule de terre avec une pleine poignée du matériau original (avant tamisage) humide. Si cette boule se désagrège en séchant, elle est appelée «propre». Cette terre ne convient pas à la construction, à moins de la mélanger à d'autres.

S'il ne s'agit pas de terre «propre», le tas d'argile et de silt fournit le matériau pour les tests de chantier qui suivent (excepté le test de sédimentation).

Test de ressuage

Equipement: aucun

Durée: 2 minutes

On forme une boule de la dimension d'un oeuf à partir du «mortier fin» (passant au tamis de 1 mm), en ajoutant juste assez d'eau pour que la boule ne colle pas aux mains. La boule, calée dans le creux d'une main, est secouée horizontalement en frappant de l'autre main, celle qui porte la boule.

- Si 5 à 10 frappes sont nécessaires pour amener l'eau en surface (apparence lisse, brillante), la réaction est dite *rapide*. Sous

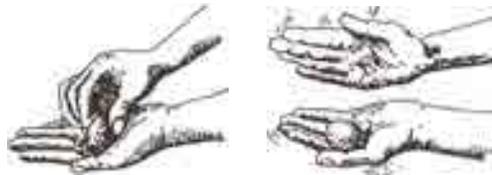
5 à 10 coups = *rapide*

20 à 30 coups = *lent*

plus de 30 coups = *très lent*

une pression du pouce, l'eau disparaît et la boule s'effrite. Il s'agit alors d'un *sable très fin* ou d'un *silt grossier*.

- Si 20 à 30 frappes sont nécessaires pour amener l'eau en surface, la réaction est dite *lente*, et la boule ne s'effrite pas, mais s'aplatit sous le pressage. Il s'agit alors d'un *silt légèrement plastique* ou d'une *argile silteuse*.
- Une réaction *très lente* ou une absence de réaction, et aucun changement d'apparence lorsque la boule est pressée, indiquent une *teneur élevée en argile*.



Test de résistance à sec

Equipement: four ou soleil

Durée: quatre heures de séchage

Préparer 2 à 3 pastilles (1 cm d'épaisseur, 5 cm de Ø) à partir du matériau de l'essai précédent. Dessécher totalement les pastilles soit au soleil, soit dans un four. La dureté de la terre sèche est évaluée en essayant d'écraser un morceau de pastille entre le pouce et l'index. Le résultat de ce test permet d'affiner l'identification de la terre.

- Si les pastilles sont très difficiles à casser et qu'il est impossible d'écraser un morceau entre le pouce et l'index, il s'agit d'*argile presque pure*.
- Si les pastilles ne sont pas trop difficiles à casser et qu'un morceau ne peut être ré-

duit en poudre entre le pouce et l'index, il s'agit d'une *argile sablonneuse* ou *silteuse*.

- Si les pastilles cassent facilement et qu'un morceau peut sans effort être réduit en poudre entre le pouce et l'index, il s'agit d'un *silt* ou d'un *sable fin* avec une *faible teneur en argile*.

Test de consistance

Equipement: plateau lisse, environ 30 x 30 cm

Durée: 10 minutes

Rouler une boulette humide de la dimension d'une olive, sur le plateau lisse et propre, de manière à former un rouleau. Si le rouleau casse avant d'atteindre un diamètre de 3 mm, la terre est trop sèche et la procédure est reprise, après avoir reformé la boulette avec plus d'eau. La procédure est ainsi ré-

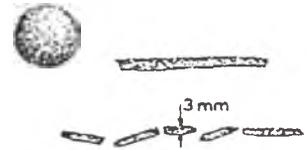


pétée jusqu'à ce que la rupture du rouleau se produise pour un \varnothing de 3 mm. A ce moment la teneur en eau de l'échantillon de terre est correcte pour effectuer l'essai. Le rouleau est remodelé pour former la boulette et celle-ci est pressée entre le pouce et l'index.

- Si la boulette est difficile à écraser, qu'elle ne se fissure, ni ne se désagrège, la *teneur en argile est élevée*.



- Si la boulette se fissure et se désagrège, la teneur en argile est faible.
- Si la boulette se désagrège avant d'être formée, la *teneur en sable ou silt est élevée*.
- Si la boulette est molle et spongieuse au toucher, cela indique la présence de *matières organiques*.



Test de cohésion

Equipement: aucun

Durée: 10 minutes

Modeler un échantillon de terre selon la forme d'un cigare de 12 à 15 mm d'épaisseur, avec une teneur en eau identique à celle du test de consistance. Ensuite, aplatir progressivement le matériau mis en forme entre le pouce et l'index, pour former un ruban, le plus long possible, de 3 à 6 mm d'épaisseur (manipuler avec précaution).

- Une longueur de 25 à 30 cm indique une *teneur élevée en argile*.
- Une longueur de 5 à 10 cm indique une *faible teneur en argile*.
- Pas de ruban indique une *teneur en argile négligeable*.



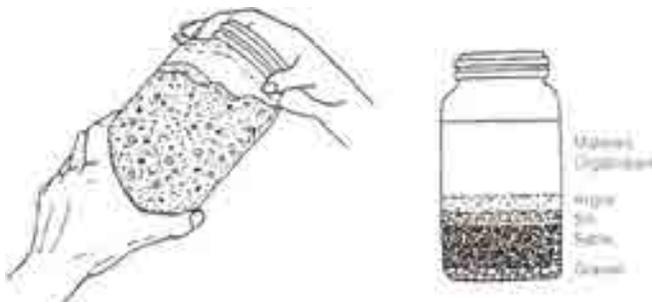
Test de sédimentation

Equipement: un bocal en verre, cylindrique et à fond plat, d'une capacité minimale de 1 litre et doté d'une ouverture pouvant être obturée avec la paume de la main; un mètre

Durée: 3 heures

Remplir le bocal en verre au quart de sa hauteur avec de la terre et ensuite presque jusqu'au sommet avec de l'eau propre. Pendant la première heure, laisser le bocal au repos pour permettre à l'eau d'imbiber la terre. Ensuite, obturer l'ouverture du bocal de la main et secouer vi-

goureusement le bocal, avant de le poser sur une surface horizontale. Cette opération est répétée une nouvelle fois une heure plus tard et le bocal est à nouveau laissé au repos.



Après 45 minutes, les particules solides se sont déposées sur le fond et les proportions relatives de sable (couche la plus basse), de silt et d'argile peuvent être mesurées avec une assez bonne précision. Toutefois, les valeurs obtenues par mesure sont légèrement faussées, du fait que les fractions silteuses et argileuses ont tendance à s'expanser dans l'eau.

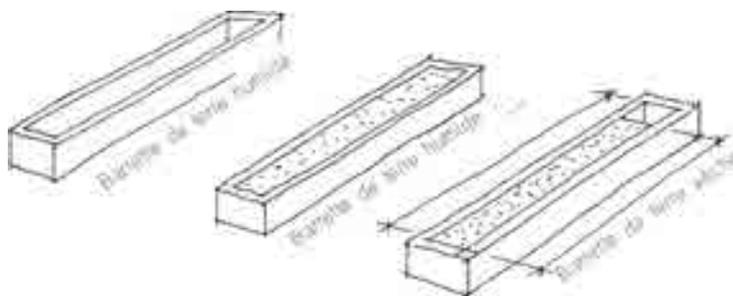
Tests de laboratoire

Retrait linéaire

Equipement: boîte allongée en métal ou en bois ouverte au sommet (dimensions internes en cm: l=60, b=4, h=4); huile ou graisse; spatule

Durée: 3 à 7 jours

Graisser les surfaces internes de la boîte pour empêcher la terre d'y adhérer. Préparer un échantillon de terre à teneur en eau optimum (c.-à-d.: une boule de terre pressée dans la main doit maintenir sa forme sans salir la main, et lâchée d'une hauteur d'environ 1 m, elle doit se rompre en plusieurs petits morceaux). Cet échantillon est mis en place dans la boîte en veillant à bien remplir coins et arêtes. Lissée soigneusement la surface du matériau avec la spatule, pour qu'il remplisse exactement le volume du moule. La boîte remplie est exposée au soleil pendant 3 jours ou à l'ombre pendant 7 jours.



Après ce délai, la barrette de terre a séché et rétréci. La barrette se présente soit en une seule pièce, soit en plusieurs morceaux. Pousser le matériau sec à l'une des extrémités de la boîte et mesurer la longueur de la barrette sèche. Le retrait linéaire est calculé comme suit:

$$\frac{\text{longueur barrette mouillée} - \text{longueur barrette sèche}}{\text{longueur barrette mouillée}} \times 100$$

Pour obtenir de bons résultats en construction, les retrait et gonflement devraient être les plus faibles possibles. Plus le retrait est important, plus la teneur en argile est élevée. Une addition de sable et/ou d'un stabilisant (de préférence de la chaux) permet de remédier à un retrait trop prononcé.

Test du tamisage humide

Equipement: un jeu de tamis standard (p. ex. 6.3 mm, 2.0 mm, 0.425 mm et 0.063 mm); un récipient plat pour récupérer l'eau sous les tamis; 2 petits seaux, dont l'un rempli d'eau; un réchaud ou un four pour sécher les échantillons; une balance de 2 à 5 kg avec une précision d'au moins 0.1 g

Durée: 1 à 2 heures

Peser un échantillon de 2 kg de terre sèche, placer le matériau dans le seau vide et mélanger avec de l'eau propre. Verser le contenu du seau bien mélangé, sur la pile de tamis (empilement dans l'ordre décroissant des mailles), posée sur le récipient plat. Rincer proprement le seau avec l'eau restante, qui est aussi versée sur les tamis.



Chaque tamis recueille une certaine quantité de matériau. Le contenu de chaque tamis est séché sur le réchaud ou dans le four et pesé avec précision. Enregistrer les poids. Les fines particules contenues dans le récipient plat sont un mélange de silt et d'argile, qui ne peuvent pas être séparées par tamisage. L'essai suivant permet d'effectuer cette séparation.

Test du siphonnage

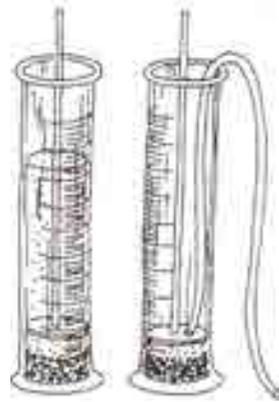
Equipement: une éprouvette graduée, cylindrique en verre, d'un diamètre intérieur d'environ 65 mm; un disque métallique circulaire fixé sur une tige, qui peut être poussée à l'intérieur du cylindre, un tube en caoutchouc et un récipient (résistant à la chaleur) pour le siphonnage; une montre; une pincée de sel; un réchaud ou un four et une balance, tels que pour l'essai précédent.

Durée: 1 à 2 heures

Un échantillon sec de 100 g de matériau fin, provenant de l'essai précédent, est pesé avec précision, avant d'être introduit dans l'éprouvette graduée. La remplir d'eau jusqu'à la marque de 200 mm et ajouter la pincée de sel (améliore la dispersion des particules d'argile). Obtenir

l'ouverture de la mesure avec la paume de la main et secouer vigoureusement le contenu, jusqu'à l'obtention d'une suspension homogène. Poser ensuite la mesure sur une surface stable et horizontale (enregistrement de l'heure).

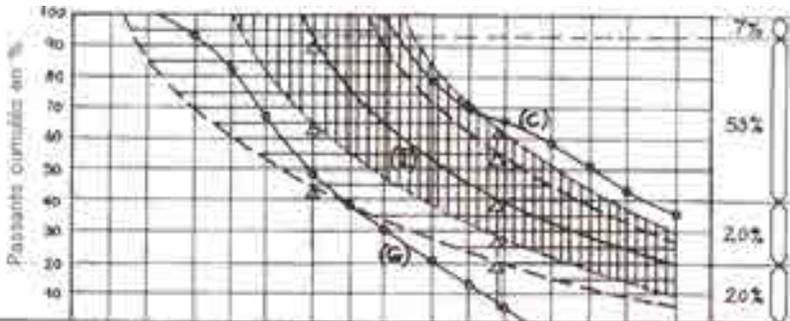
Après 20 minutes, enfoncer le disque métallique avec précaution, jusqu'à recouvrir le matériau déposé au fond de l'éprouvette, sans le déranger. Récupérer l'argile encore en suspension en siphonnant le liquide. Après évaporation complète du liquide par chauffage, le résidu est pesé. Le poids, en grammes, est aussi le pourcentage d'argile contenu dans cet échantillon.



Courbe granulométrique

Les tests du tamisage humide et du siphonnage permettent de déterminer les proportions des fractions granulométriques d'un échantillon de terre. En reportant dans un diagramme, la valeur de chaque fraction granulométrique et en reliant ces points par une courbe, on obtient la «courbe granulométrique» qui illustre la distribution de la dimension des particules d'un échantillon de terre. Le traçage de la courbe granulométrique d'autres échantillons peut être porté sur un même tableau.

Le tableau ci-dessous montre un exemple d'une terre graveleuse (G) et d'une terre argileuse (A). Pour la construction en pisé, les terres doivent de préférence présenter une granulométrie s'inscrivant dans la zone hachurée horizontalement. Les terres destinées à la production de blocs de terre comprimée doivent, elles, présenter une granulométrie s'inscrivant dans la zone hachurée verticalement. Les terres ayant une granulométrie s'inscrivant dans la zone de recouvrement des zones hachurées horizontalement et verticalement, conviennent donc à la plupart des applications en matière de construction en terre. La courbe (I) passant au milieu des 2 zones, symbolise une terre de granulométrie idéale.



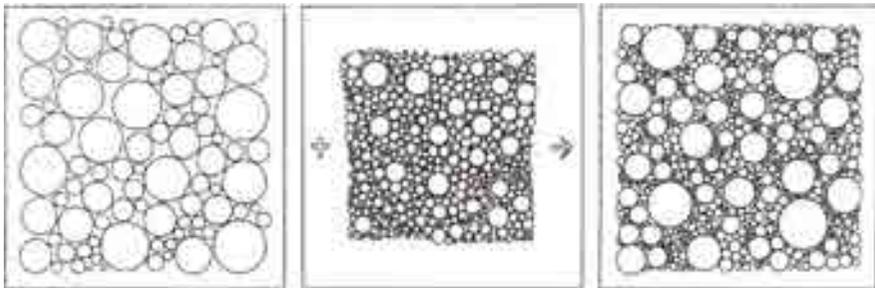
Dimension particules (mm)	200	100	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001
	Pierre		Gravier			Sable			Silt				Argile				



La courbe granulométrique permet de déterminer si la terre disponible convient pour la construction. Si elle est trop graveleuse, les écarts entre les particules ne sont pas correctement remplis, la terre manque de cohésion et elle est par conséquent très sensible à l'érosion. Si la terre est trop argileuse (déficit en gros grains lesquels assurent la stabilité), elle est susceptible d'accuser des gonflement et retrait importants. Une distribution granulométrique optimale présente une proportion équilibrée de gros et de petits grains (ce qui permet un agencement compact) et suffisamment d'argile pour donner de la cohésion au matériau.

Si les essais révèlent une distribution granulométrique inadéquate, il est possible de la corriger en:

- diminuant la fraction graveleuse par tamisage, si la terre contient trop de gros éléments;
- lavant partiellement la fraction argileuse, si la proportion d'argile est trop forte;
- mélangeant des terres de granulométrie complémentaire.



(Bibl. 02.34)

Test des limites d'Atterberg

Ces essais, développés par Atterberg (scientifique Suédois), permettent de déterminer les teneurs respectives en eau, aux frontières entre les différents états de consistance d'une terre: passage de l'état liquide (visqueux) à l'état plastique (moulable), et de l'état plastique à l'état solide mou (qui se désagrège sans changer de forme, mais se ressoude à la pression) et de cet état à l'état solide dur. Alors que les essais qui précèdent, déterminent l'importance des différentes fractions granulométriques d'une terre, les limites d'Atterberg déterminent le type d'argile présente, ce qui permet le choix d'un stabilisant approprié.

En pratique, on se contente de déterminer les «limite de liquidité» et «limite de plasticité». Les autres limites d'Atterberg sont moins importantes. Les limites d'Atterberg se mesurent sur la fraction fine de la terre (passant au tamis de 0.4 mm), parce que l'eau a peu d'effet sur la consistance des grosses particules.

Test de la limite de liquidité

Équipement: une coupelle d'environ 10 cm de diamètre et de 3 cm de profondeur, dont la surface intérieure est grenée ou lisse; un outil à rainurer (voir illustration); un récipient en métal avec un couvercle étanche (p. ex. grande boîte à pilule); un four de séchage réglable à une température de 110°C; une balance avec une précision minimale de 0.1 g, ou mieux de 0.01 g.

Durée: environ 10 heures

Mélanger un échantillon de la fraction fine de la terre (environ 80 g) avec de l'eau propre, jusqu'à obtention d'une consistance semblable à celle d'une pâte épaisse. Étaler le matériau uniformément dans la coupelle (épaisseur d'environ 8 mm au centre et diminuant graduellement vers le bord).

Partager le matériau mis en place dans la coupelle en deux parties égales, en creusant une rainure centrale en «V» (angle de 60°, largeur au fond: 2 mm), avec l'outil à rainurer tenu perpendiculairement à la surface du matériau. Un couteau peut éventuellement être employé en remplacement du racloir profilé.

La coupelle fermement tenue dans une main est frappée contre la paume de l'autre main, distant de 30 à 40 mm. Le mouvement doit être horizontal et perpendiculaire à la rainure. La limite de liquidité est atteinte, lorsque la rainure se referme sur une longueur de 13 mm pour dix coups.

Si la rainure se referme pour moins de 10 coups, la terre est trop humide; si elle se referme pour plus de 10 coups, la terre est trop sèche. La teneur en eau doit alors être corrigée. Un échantillon trop humide peut être séché par addition de terre sèche ou en prolongeant le malaxage de l'échantillon. La procédure est répétée jusqu'à obtention de la limite de liquidité.

Si on dispose d'une balance précise (0,01 g), le prélèvement d'une petite quantité d'échantillon suffit pour déterminer la teneur en eau. Le matériau à peser est prélevé dans la zone où la rainure s'est refermée, il est mis dans le récipient en métal, fermé de façon étanche et pesé avant que l'humidité n'ait eu le temps de s'évaporer. Après la pesée, introduire le récipient contenant le prélèvement dans le four porté à 110°C, jusqu'à assèchement total. Cela peut durer 8 à 10 heures. Des pesées successives permettent de vérifier qu'il n'y a plus de pertes de poids.



Essai de la limite de liquidité



Connaissant les poids humide (W1) et sec (W2) du prélèvement, ainsi que le poids du récipient sec et propre (Wc), la limite de liquidité, exprimée comme le pourcentage de la teneur en eau du prélèvement, se calcule comme suit:

$$\text{Limite de liquidité} = \frac{\text{poids d'eau}}{\text{poids de terre séchée au four}} \times 100$$

$$L = \frac{W1 - W2}{W2 - Wc} \times 100\%$$

Quelques ordres de grandeur de limites de liquidité:

Sable:	L = 0 à 30
Silt:	L = 20 à 50
Argile:	L = plus de 40

Test de la limite de plasticité

Équipement: une surface plane et lisse, p. ex. une plaque de verre de 20 x 20 cm; un récipient en métal, un four et une balance, comme pour le test de la limite de liquidité.

Durée: environ 10 heures

Mélanger environ 5 g de la fraction fine de la terre avec de l'eau, pour former une boulette malléable mais pas collante. Rouler ensuite cette boulette entre la paume des mains jusqu'à ce qu'elle commence à sécher et à se craqueler. Le test se poursuit alors, sur une moitié du matériau, à partir duquel l'opérateur forme un rouleau d'une longueur de 5 cm et d'une épaisseur de 6 mm.

Posé sur la surface lisse, le rouleau est amené à un diamètre de 3mm (voir illustration de l'essai de consistance). Si le rouleau casse avant d'atteindre un diamètre de 3 mm, il est trop sec. S'il casse pour un diamètre inférieur à 3 mm, il est trop humide. La li-

mite de plasticité est atteinte, lorsque le rouleau casse en deux morceaux de 10 à 15 mm de longueur. Lorsque ce résultat est atteint, les morceaux sont placés sans tarder dans le récipient en métal et pesés (W1).

La suite de la procédure relative au séchage et au pesage du matériau et du récipient est identique à celle pour la limite de liquidité, et permet de déterminer les valeurs W2 et Wc. Toute la procédure est ensuite reprise sur la deuxième moitié de la boulette. Si les résultats diffèrent de plus de 5 %, le test doit être recommencé.

La limite de plasticité est calculée de la même façon que la limite de liquidité:

$$\text{Limite de plasticité} = \frac{\text{poids d'eau}}{\text{poids de matériau séché au four}} \times 100$$

$$P = \frac{W1 - W2}{W2 - Wc} \times 100\%$$

Indice de plasticité

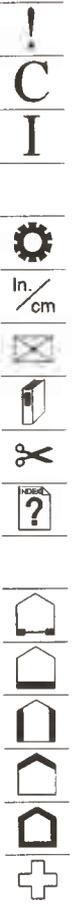
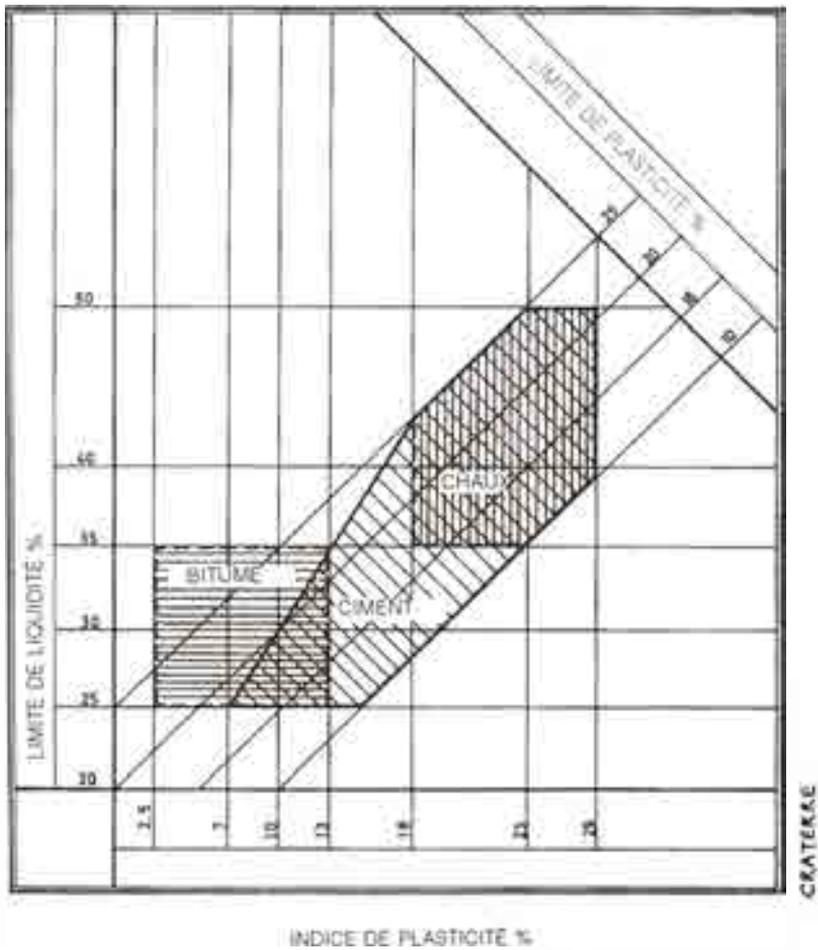
L'indice de plasticité (Ip) est la différence entre la limite de liquidité (Ll) et la limite de plasticité (Lp):

$$Ip = Ll - Lp$$

La relation mathématique simple entre ces valeurs peut être présentée dans un diagramme. Cela a l'avantage de permettre la délimitation de zones dans lesquelles les stabilisants sont le plus efficaces.

Il faut cependant noter que ce diagramme doit être utilisé avec prudence en ce qui concerne les terres latéritiques. En fait, rien ne vaut l'expérimentation pratique (utilisation du stabilisant recommandé, en commençant avec un faible dosage).

Le choix du stabilisant est traité en détail dans le prochain chapitre.



Production de briques traditionnelles de terre en Egypte (Photos: K. Mathéy)



Humidification du moule en bois



Remplissage du moule avec la terre



Après lissage de la surface supérieure la brique est démoulée



Briques de terre (adobe) séchées au soleil et prêtes pour utilisation

STABILISANTS

Généralités

Les terres, qui ne possèdent pas les caractéristiques désirées pour une application particulière, peuvent être améliorées en ajoutant un ou plusieurs stabilisants.

Chaque stabilisant remplit une (ou tout au plus deux) des fonctions suivantes :

- Augmenter la résistance aux impacts et la résistance à la compression des constructions en terre, ainsi que réduire la tendance au gonflement et au retrait, en *liant* entre elles les particules de terre.
- Réduire ou éliminer complètement l'absorption d'eau (causant gonflement, retrait et érosion) en *colmatant* vides et pores, et en entourant les particules d'argile d'un film imperméable.
- Réduire la fissuration en donnant une certaine *flexibilité*, laquelle permet alors, dans une certaine mesure, à la terre de se dilater et de se contracter.
- Réduire les contractions et dilatations excessives en *armant* la terre de fibres.

Habituellement, l'effet stabilisant est augmenté lorsque la terre est comprimée. Dans certains cas, le compactage seul suffit à stabiliser la terre, mais sans un stabilisant approprié, l'effet de stabilisation du compactage n'est pas durable. Ceci particulièrement lorsque la terre est fortement exposée à l'eau.

Avant d'aborder la question de l'emploi des stabilisants, *il est nécessaire de se poser les questions suivantes* :

- La terre disponible satisfait-elle aux principales exigences, même sans stabilisant? La réponse dépend fortement des données climatiques locales, des risques naturels (séismes, etc.) et du type de construction.

- La conception du bâtiment a-t-elle pris en compte les caractéristiques et limitations du matériau? Exemples de conception appropriée: bâtir à un endroit surélevé et incorporer des protections contre l'humidité (pour minimiser les dommages en cas d'inondation); cons-truire des toitures à larges débordements (protection contre la pluie et les radiations solaires).
- La stabilisation de l'ensemble de la construction est-elle réellement nécessaire, ou une bonne protection de surface (p. ex. enduit stabilisé) est-elle suffisante?

La réduction des besoins en stabilisant peut conduire à des économies considérables d'argent, de temps et de travail.

Types de stabilisants

Bien des produits peuvent être employés pour la stabilisation de la terre, et beaucoup de recherches sont menées pour trouver le stabilisant le plus approprié à chaque type de terre. Cependant, malgré ces recherches, il n'y a pas de stabilisant «miracle» pouvant être utilisé dans tous les cas. La stabilisation n'est pas une science exacte, de sorte qu'il appartient au constructeur, de faire des blocs d'essai pour tester diverses sortes et dosages de stabilisants.

Les *stabilisants naturellement disponibles* les plus communs, employés dans les constructions traditionnelles sont :

- sable et argile
- pailles et fibres végétales
- sucres végétaux (sèves, latex, huiles)
- cendres de bois
- excréments d'animaux (principalement bouse de vache, urine de cheval)



- autres produits animaux (sang, poils, colle, terre de termitière).

Les *stabilisants manufacturés* les plus communs, (c.-à-d. produits ou sous-produits d'industries locales villageoises ou d'importantes installations industrielles) sont:

- chaux et matériaux pouzzolaniques
- ciment portland
- plâtre
- bitume
- stabilisants commerciaux
- silicate de sodium («verre soluble»)
- résines
- petit-lait (caséine)
- mélasse

Ces stabilisants sont brièvement décrits ci-dessous. Le choix du stabilisant le plus approprié dépend principalement du coût et de la disponibilité locale, mais aussi de la façon dont il est perçu socialement.

Sable et argile

- Ils sont employés pour corriger des granulométries défectueuses: addition de sable aux terres trop argileuses ou addition d'argile aux terres trop sableuses.
- Les matériaux doivent être mélangés à l'état sec, pour obtenir un mélange homogène.
- L'argile sèche se présente habituellement sous forme de mottes durcies, qu'il faut soigneusement écraser avant de mélanger.

Pailles, fibres végétales

- Elles renforcent la terre, et évitent principalement l'apparition de fissures lorsque la teneur en argile est élevée.

- Elles allègent aussi la terre, ce qui améliore ses propriétés isolantes (intéressant dans des régions montagneuses ou arides) et accélère le séchage (en créant des canaux de drainage).

- La paille est, universellement, le stabilisant le plus commun; presque toutes les variétés de pailles conviennent (blé, seigle, orge, etc.), de même que le son de la plupart des céréales.

- Comme autres fibres végétales, il y a le sisal, le chanvre, l'herbe à éléphant, le coir (fibre de noix de coco), la bagasse (fibres de canne à sucre), etc.

- Pour obtenir des résultats satisfaisants, la proportion minimale de fibres végétales est de 4 % en volume; il est courant de mélanger 20 à 30 kg de fibres par m³ de terre.

- Parce que les fibres végétales ont tendance à affaiblir le produit fini et à augmenter l'absorption d'eau, leur quantité doit rester limitée.

- Pailles et fibres doivent être hachées (longueur inférieure à 6 cm), et mélangées uniformément à la terre en évitant la formation de nids.

Sucs végétaux

- Le suc de feuilles de bananier, précipité avec de la chaux, améliore la résistance à l'érosion et ralentit l'absorption d'eau.

- L'ajout du latex de certains arbres (p. ex. euphorbe, hévéa) ou de suc concentré de sisal, sous forme de colle organique, permet aussi de réduire la perméabilité de la terre.

- Les huiles et graisses végétales doivent sécher rapidement pour être efficaces et améliorer la résistance à l'eau. Les huiles

de noix de coco, de lin et de coton sont des exemples; l'huile de castor est très efficace, mais chère.

- L'huile de kapok peut aussi être efficace. Elle est obtenue par torréfaction des graines de kapok, ensuite moulues en une fine poudre mélangée à de l'eau (10 kg de poudre pour 20 à 25 l d'eau).

Cendres de bois

- La cendre des bois durs est habituellement riche en carbonate de calcium et a des propriétés stabilisantes. Elle ne convient cependant pas toujours, aux terres argileuses. Certaines cendres peuvent même nuire au comportement de la terre.

- L'addition de 5 à 10 % (en volume) de fines cendres blanches, provenant de la combustion complète de bois durs, semble donner de bons résultats en matière d'amélioration de la résistance à la compression sèche.
- Les cendres n'améliorent pas la résistance à l'eau.

Excréments d'animaux

- Ils sont principalement employés pour la stabilisation des enduits.
- La bouse de vache est le stabilisant le plus commun. Elle est principalement appréciée pour son effet d'armature (grâce aux particules fibreuses) et son aptitude à repous-



Une maison en terre fraîchement décorée au Ghana. Les murs sont traités avec une décoction de gousses de graines de caroubier et polis avec une pierre plate (Photo: H. Schreckenbach, Bibl. 00.43)



ser les insectes. La résistance à l'eau n'est pas améliorée de façon significative, et la résistance à la compression est réduite.

- Le crottin de chameau ou de cheval est une solution alternative moins répandue.
- L'urine de cheval, remplaçant l'eau de massage, élimine efficacement la fissuration et améliore la résistance à l'érosion. L'addition de chaux permet encore d'améliorer les résultats.
- Malgré leurs avantages, ces matériaux sont socialement mal acceptés dans la plupart des régions, tandis que dans d'autres régions (principalement rurales en Asie et en Afrique) ce sont des matériaux traditionnels bien acceptés.

Autres produits animaux

- Du sang frais de taureau combiné à de la chaux peut fortement réduire la fissuration, mais cette méthode est également socialement mal acceptée.
- Fourrure ou poils d'animaux sont souvent employés pour renforcer les crépis.
- Les colles animales, produites à partir de cornes, d'os, de sabots et de peaux, améliorent la résistance à l'humidité.
- La terre de termitière, connue pour résister à la pluie, peut être pulvérisée et employée comme stabilisant pour des terres sablonneuses.

Chaux et pouzzolanes

(voir aussi chapitres *La Chaux* et *Les matériaux pouzzolaniques*)

- La chaux convient à la stabilisation des terres argileuses (limites de liquidité autour de 40 % ou plus), car elle réagit avec les particules d'argile pour donner naissance à un liant.
- L'ajout à la chaux, de matériaux pouzzolaniques appropriés (p. ex. cendre volante ou cendre de balle de riz) donne un liant analogue au ciment, lequel convient à la stabilisation de terres faiblement argileuses.
- La chaux vive (CaO), produite par la cuisson de roches calcaires, peut être employée comme stabilisant, mais elle a plusieurs désavantages: elle doit être correctement broyée avant emploi; l'extinction dégage beaucoup de chaleur (jusqu'à 150°C) et peut occasionner des brûlures; la chaleur dégagée tend à sécher la terre rapidement, d'où le risque d'une interruption de l'hydratation et d'une reprise plusieurs mois plus tard.
- L'utilisation de chaux éteinte (Ca[OH]₂), provenant de l'extinction de la chaux vive avec de l'eau, présente moins d'inconvénients. Elle peut se présenter sous forme de poudre sèche (disponible en sacs), de lait de chaux (chaux éteinte avec un excès d'eau) ou de pâte de chaux (masse plastique).
- La détermination de la quantité nécessaire de chaux (avec ou sans matériaux pouzzolaniques) requiert une série d'essais. Le dosage optimal peut varier de 3 à 14 % en poids sec, dépendant principalement de la teneur en argile (plus il y a d'argile, plus il faut de chaux).
- La terre sèche doit être écrasée (les terres argileuses contiennent habituellement des mottes durcies) et mélangée uniformément avec la chaux. La chaux vive permet de sécher et de désagréger la plupart des terres.
- A ce stade, il est conseillé de laisser reposer le mélange humide terre-chaux pendant 1 ou 2 jours sous bâche. Pendant ce

délai, la chaux désagrège les mottes d'argile qui restent. Le mélange est à nouveau remué (si nécessaire addition d'un matériau pouzzolanique, proportion Chaux : matériau pouzzolanique, de 1 : 1 à 1 : 3) pour obtenir une masse homogène, qui peut alors être employée sur-le-champ.

- La cure des terres stabilisées à la chaux dure environ six fois plus longtemps que celle des terres stabilisées au ciment. Humidité et température élevées améliorent la résistance à la compression finale. Ces conditions peuvent être obtenues en menant la cure sous une bâche plastique, ou dans une enceinte couverte de tôles ondulées, pendant un minimum de 2 semaines. La résistance finale est atteinte après deux à six mois.
- La cure peut être accélérée en ajoutant du ciment juste avant d'utiliser le mélange.
- Les roches calcaires, à forte teneur en argile, produisent une chaux spéciale appelée chaux hydraulique. Celle-ci durcit comme le ciment. La stabilisation à la chaux hydraulique réduit la période de cure, mais la résistance est peut être inférieure à celle obtenue avec du CPO.

Ciment portland

(voir aussi chapitre *Le Ciment*)

- Le ciment convient mieux à la stabilisation de terres faiblement argileuses. Il lie grains de sable et gravier comme dans un béton. Dans le mélange, le ciment réagit avec l'eau, et donne une substance qui remplit les écarts entre particules, formant une enveloppe continue autour de chacune d'elles, qui se fige lors du durcissement.
- La réaction du ciment avec l'eau (appelée *hydratation*) libère de l'hydroxyde de calcium (chaux éteinte), lequel réagit avec les

particules d'argile pour donner naissance à une sorte de liant pouzzolanique. Si la teneur en argile est faible, une partie de cette chaux reste libre. Pour remédier à cela, une certaine quantité de ciment (15 à 40 % en poids) peut être remplacée par un matériau pouzzolanique, lequel est habituellement moins cher que du ciment.

- Tout comme c'est le cas pour les mortiers sable-ciment, l'ajout de chaux améliore aussi l'ouvrabilité des mélanges terre-ciment. Si la teneur en argile est élevée, la chaux contribue à augmenter la stabilisation de tels mélanges.
- Tel qu'exposé plus haut, la teneur appropriée en ciment varie selon le contexte. Alors qu'il n'est pas recommandé de descendre en dessous de 5 %, plus de 10 % est en général difficile à justifier d'un point de vue économique (prix élevé du ciment).
- Terre et ciment doivent être mélangés à sec. L'eau est ajoutée et mélangée de façon homogène, juste avant l'emploi du mélange, car la réaction d'hydratation du ciment commence dès le contact avec la première goutte d'eau.
- Une fois que le ciment commence à se figer, il devient inutilisable. La terre stabilisée au ciment n'est pas recyclable.
- Plus le mélange terre-ciment est homogène, plus élevée sera la résistance finale. Le moulage sous pression (p. ex. damage ou pressage) augmente aussi la résistance.
- Le ciment portland est le stabilisateur qui permet d'atteindre la plus grande solidité, ainsi que la meilleure résistance à l'infiltration d'eau, au gonflement et au retrait.



Plâtre

- La stabilisation de la terre avec du plâtre n'est pas une pratique courante et les informations relatives à ses performances sont très limitées.
- Le plâtre est fabriqué à partir de gypse, et ce dernier est disponible en abondance dans beaucoup de pays, soit sous forme naturelle, soit en tant que sous produit industriel. Le plâtre est plus économique que la chaux ou le ciment (production requérant moins d'énergie et des équipements plus simples).
- Le durcissement du plâtre mélangé à de l'eau étant rapide, la cure de blocs en terre stabilisée au plâtre est rapide. De tels blocs peuvent être utilisés pour la construction de murs, peu après leur fabrication. Il est recommandé d'adopter un dosage en plâtre de l'ordre de 10 %.
- Les avantages d'une stabilisation au plâtre sont: retrait limité, apparence lisse et résistance mécanique élevée. En outre, le plâtre se lie bien avec des fibres (particulièrement le sisal), il est hautement résistant au feu et n'est pas attaqué par les insectes et rongeurs.
- Le principal inconvénient du plâtre est sa solubilité au contact de l'eau, d'où d'indispensables mesures de protection adaptées: protection des murs extérieurs de la pluie par un enduit, un parement ou de larges débordements de toiture; protection contre le développement de l'humidité intérieure en évitant la buée (dans les cuisines) et la condensation; protection contre les remontées capillaires en posant des membranes imperméables.

Bitume

(voir aussi chapitre *Les Liants*)

- Pour la stabilisation de la terre, le bitume est préalablement dissous (c.-à-d. mélangé avec un solvant tel qu'essence, kérosène ou naphte), ou employé en émulsion (c.-à-d. mélangé à de l'eau).
- Après malaxage de la terre avec du bitume dissous et avant d'utiliser le mélange pour la fabrication de blocs, le mélange doit être étalé en plein air pour permettre au solvant de s'évaporer. Il est préférable de commencer à mélanger le bitume dissous avec une petite quantité de terre, et ensuite d'y mélanger le reste de la quantité de terre à stabiliser.
- Les émulsions de bitume sont habituellement très fluides et se mélangent facilement à de la terre humide. Un mélange excessif doit être évité, car il risque de provoquer la rupture de l'émulsion, ce qui conduirait à diminuer l'efficacité de l'imperméabilisation. Les émulsions doivent être diluées dans l'eau de malaxage.
- Les mélanges destinés à être compactés ne doivent pas être trop humides. La quantité de stabilisant ne doit donc pas être trop importante.
- La teneur en bitume devrait être comprise entre 2 et 4 %. Des dosages plus forts risquent d'affaiblir dangereusement la résistance à la compression.
- La cure de terres stabilisées au bitume doit être menée en air sec et sous une température d'environ 40°C.
- Alors qu'une stabilisation au bitume n'améliore pas la solidité de la terre, elle réduit considérablement l'absorption d'eau. En d'autres termes, bien que la résistance sèche de la terre stabilisée n'est pas très éle-

Petit-lait

- Le petit-lait (caséine) est un liquide riche en protéines, qui s'obtient lors de la production de lait caillé. Son utilisation en construction est très limitée dans la plupart des pays en développement, étant donné sa valeur nutritive. Cependant, dans les régions où il existe un excédent de production, l'utilisation de ce produit, comme stabilisant de surface pour les constructions en terre, est fort appréciée.
- Le petit-lait ajouté, à un mortier terre-chaux ou à un lait de chaux, permet de réaliser une protection de surface imperméable à l'eau, tout en préservant la perméabilité à l'air.
- Pour obtenir une bonne adhésion et éviter des fissures, le lait de chaux doit être appliqué en deux ou trois fines couches. L'emploi de petit-lait comme couche de fond donne aussi de bons résultats.

Mélasses

- Les mélasses sont des sous-produits de l'industrie du sucre.
- La mélasse mélangée à de la terre améliore la résistance à la compression du produit fini et réduit la capillarité de la terre.
- Les mélasses conviennent bien à la stabilisation de terres sablonneuses et limoneuses. Dans le cas de terres argileuses, de petites quantités de chaux doivent être ajoutées à la mélasse.
- La proportion de mélasse est normalement d'environ 5 % en poids de la terre.

Comment employer les stabilisants

- Bien que des recommandations relatives à l'utilisation des stabilisants ont déjà été données ci-dessus, quelques règles générales sont résumées ci-dessous.

- La pleine efficacité d'un stabilisant n'est atteinte que s'il entre en contact avec chacune des particules de la terre. Un mélange intime et homogène est donc indispensable.
- Pour une terre donnée, de multiples préparations et essais sont nécessaires, afin de choisir le stabilisant le plus efficace et d'en déterminer la proportion idéale. Ces recherches préalables en valent certainement la peine, quand bien même elles peuvent durer un ou deux mois.
- La seule façon de déterminer la proportion correcte de stabilisant est de réaliser 5 à 7 blocs d'essai par dosage et de les soumettre à une série de tests (résistance à la compression après différentes durées de séchage, humidification et séchage prolongés et immersion dans de l'eau).
- Les blocs stabilisés au ciment portland ou à la chaux requièrent une cure humide minimale de 7 jours, pour gagner en solidité.
- Les programmes d'essais doivent tenir compte des conditions climatiques locales, telles que possibilités de gel et autres. Le choix de stabilisant diffère aussi selon que la région est aride ou humide.
- Il ne faut pas perdre de vue que si des blocs d'essai ne requièrent qu'une petite quantité de terre, facile à mélanger, en construction ou production massive réelle, le mélange de grandes quantités de terre est plus compliqué. Il est donc opportun d'adopter un dosage en stabilisant légèrement supérieur à l'optimum déterminé par les essais (excepté dans le cas du ciment).
- Les essais doivent permettre de trouver la quantité la plus faible de stabilisant permettant de satisfaire aux exigences imposées. Très souvent les exigences spécifiées sont trop sévères, ce qui conduit à d'importantes dépenses inutiles.

PRODUITS EN TERRE CUITE

Généralités

La technique de cuisson de l'argile, pour produire des matériaux de construction (briques et tuiles), est vieille de plus de 4000 ans. Elle se base sur le principe que lorsqu'elles sont chauffées entre 850 et 1000°C, les terres argileuses (proportion d'argile comprise entre 20 et 50%) subissent des transformations irréversibles. A ces températures les terres argileuses adoptent une structure céramique vitrifiée (combinaison stable et solide des particules).

Les terres qui conviennent à la cuisson sont nombreuses; l'essentiel est qu'elles soient plastiques pour la facilité du moulage. La plasticité dépend de la quantité d'argile présente. Une proportion d'argile trop élevée peut être la cause d'un retrait fort accentué, d'où développement de fissures, ce qui n'est pas souhaitable. La qualité des produits en argile cuite ne dépend pas seulement de la nature et des proportions des autres composants du sol, mais aussi de la nature minérale de l'argile. Pour fabriquer des briques et carreaux de bonne qualité, un contrôle approfondi des terres utilisées est indispensable.

La production de briques cuites a atteint un degré de mécanisation poussé, dans de nombreux pays, mais des productions traditionnelles à petite échelle sont encore très largement répandues dans la plupart des pays en développement. Il existe donc une grande variété de méthodes, mécanisées ou non, pour l'extraction, la préparation, le moulage, le séchage et la cuisson de l'argile, qui ne peuvent qu'être brièvement abordées dans le cadre de cet ouvrage.

Extraction de l'argile

- Les dépôts d'argile se rencontrent au pied des collines ou aux abords des rivières,

dans des zones agricoles (cela engendre naturellement des conflits d'intérêts, relatifs à l'utilisation du terrain, soit pour la fabrication de briques, soit pour l'agriculture).

- Les critères déterminant le caractère favorable d'un site sont: la qualité de l'argile, l'accessibilité de la couche exploitable et la proximité de voies carrossables pour les transports.
- Jusqu'à des profondeurs de 2 m, un terrassement manuel convient normalement à des unités de petite et moyenne importance. Après exploitation de grandes étendues, celles-ci peuvent être réaffectées à l'agriculture.
- Les méthodes mécanisées, faisant intervenir des grues à benne trainante et des excavateurs à godets, sont utilisées dans le cadre d'unités de production de grande envergure. Ce type d'exploitation requiert proportionnellement moins de surface à excaver, mais creuse de profondes dépressions dans le paysage.

Préparation de l'argile

La préparation comporte les opérations suivantes: triage, émottage, tamisage et éventuellement dosage, ensuite la terre est malaxée, humidifiée et laissée mûrir.

- Triage: élimination des racines, pierres, nodules calcaires, etc., ou dans certains cas lavage de la terre.
- L'émottage est nécessaire parce qu'habituellement les argiles se présentent en mottes durcies. Le pilonnage manuel est fréquent mais laborieux. Des machines simples à haute intensité de main d'oeuvre ont été développées (voir ANNEXES).
- Tamisage: éliminer les particules de dimension supérieure à 5 mm pour les bri-



ques et supérieure à 0,6 mm pour les tuiles.

- Dosage : L'amendement de la composition d'une terre est nécessaire lorsque la teneur en argile ou la granulométrie du matériau de base n'est pas satisfaisante. Dans certains cas des balles de riz, qui serviront aussi de combustible, sont mélangées à l'argile pour obtenir des briques plus légères et une cuisson plus homogène.
- Un mélange soigné, de même qu'une teneur en eau adéquate sont nécessaires. Les malaxeurs motorisés sont appréciés parce que le malaxage manuel (traditionnellement en piétinant la terre pieds nus) est laborieux et souvent insatisfaisant. Le malaxage de la terre est grandement facilité (d'où moins de fatigue), si préalablement on permet à l'eau de s'infiltrer dans la structure de l'argile, pendant quelques jours ou même quelques mois. Cette période, appelée «mûrissement», permet des modifications chimiques et physiques, lesquelles améliorent l'aptitude au moulage de l'argile. L'argile doit être recouverte pour éviter qu'elle ne se dessèche.

Moulage

- Le moulage peut être manuel ou mécanisé.
- Le moulage manuel fait appel à de simples moules en bois: une motte d'argile est projetée dans le moule et l'excédent est ensuite arasé.
- Deux techniques traditionnelles sont utilisées pour extraire la brique du moule. a) La méthode du moulage humide: le moule est maintenu humide et la terre est malaxée avec plus d'eau. b) La méthode de moulage au sable: la motte d'argile est roulée dans du sable pour éviter l'adhérence de l'argile au moule.
- Les briques fabriquées selon la méthode du moulage humide risquent davantage de s'affaisser et de se déformer, tandis que le moulage au sable fournit des briques plus solides et bien formées. Lorsque la disponibilité en sable pose problème, de la poudre d'argile peut lui être substitué selon une technique développée à ITW (Intermediate Technology Workshop au Royaume-Uni).
- Des moules sur cadre (tels que développés par ITW, Royaume-Uni, et le Central Building Research Institut, Inde), permettent, avec un effort moindre, de produire des briques de formes précises et avec un rendement élevé. Alors que le moulage est réalisé de la même façon, qu'avec de simples moules en bois, les briques sont extraites à l'aide d'un levier manoeuvré du pied.
- Les tuiles sont fabriquées de façon semblable aux briques, mais avec des moules de forme spéciale. La différence principale provient du fait que la matière première doit posséder d'autres caractéristiques concernant: l'homogénéité, la granulométrie et la proportion d'argile.
- Dans les briqueteries industrielles, des machines extrudent l'argile au travers d'une filière. A la sortie de la filière, la colonne d'argile est coupée par un fil, en morceaux de la taille des briques. Cette technique permet de fabriquer des briques compactes et solides qui peuvent aussi être creuses.
- Une solution intermédiaire consiste à mouler tuiles et briques sous un effort de compression mécanique. Deux machines produites en Belgique (CERAMAN et TERSTARAME) sont spécialement conçues à cet effet. Ces machines sont aussi utili-

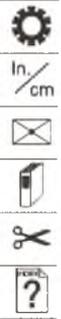
sées pour produire des briques de terre stabilisée et séchées à l'air. La compression mécanique implique de travailler avec une faible teneur en eau, ce qui raccourcit le temps de séchage.

Séchage

- Sans un séchage préalable, les briques crues seraient écrasées par la charge de l'empilement constituant le four; elles pourraient se fissurer et se rompre durant la cuisson; l'eau évacuée pourrait se condenser sur les briques froides éloignées de la source de chaleur, de la vapeur pourrait



Producteurs de briques au Ghana: Préparation des mottes, l'excédent d'argile est arasé, démoulage des briques pour entreposage dans des étagères de séchage; briques cuites terminées. (Photos: H. Schreckenbach, Bibl. 00.43)



se développer à l'intérieur des briques, faisant apparaître des pressions internes excessives et enfin, la consommation en carburant serait plus importante du fait de l'énergie supplémentaire nécessaire à l'évaporation de l'eau en excédent. Pour toutes ces raisons, un séchage préalable soigné est vital.

- Le séchage doit être relativement lent. En clair, la vitesse à laquelle l'humidité est évacuée par les surfaces ne devrait pas être supérieure à la vitesse de diffusion de l'humidité au travers des fins pores internes de la brique crue. L'air doit avoir accès à toutes les faces de la brique crue. Lors du séchage, les écarts séparant les briques doivent donc être suffisants.
- Pour le séchage naturel, les briques sont entreposées en plein air. Une protection contre le rayonnement solaire (feuillage, herbe ou feuille de plastique) est toutefois conseillée pour éviter un séchage trop rapide. Traditionnellement les briques sont uniquement produites en saison sèche, mais si des pluies sont à craindre le séchage doit avoir lieu sous un toit.
- Le séchage artificiel (tel que pratiqué dans des unités industrielles) est conduit dans des chambres de séchage spéciales, lesquelles utilisent la chaleur récupérée soit des fours, soit des zones de refroidissement.
- Au cours du séchage, le retrait est inévitable. Si le rétrécissement linéaire reste infé-



Four de campagne typique en Inde: Du charbon broyé, tamisé à l'avant plan de la photo, est utilisé comme combustible. Sur la droite les briques crues sont stockées pour séchage. (Photo: K. Mukerji)

rieur à 7 %, il ne cause pas de problèmes particuliers. Afin de ne pas dépasser un retrait linéaire de 10 %, il peut s'avérer nécessaire de diminuer la proportion d'argile en ajoutant du sable ou de la brique pilée (rejets broyés de briques).

Cuisson

- Il existe deux types de four pour la cuisson de briques: les fours intermittents et les fours continus.
- Sont à classer parmi les fours intermittents: les fours de campagne et les fours scellés à l'argile (fours traditionnels dans les campagnes), ainsi que les fours à tirage par le haut et les fours à tirage par le bas. Le rendement de la combustion de ce type de four est très faible, mais ils sont adaptés à une demande variable de briques. Leur capacité varie de 10"000 à 100"000 briques.
- Les fours continus sont des versions modifiées du four Hoffmann (en particulier le four annulaire de Bull) et du four à tirage renforcé. Le rendement de la combustion de ce type de four est très élevé. Les fours tunnel, dans lesquels les briques traversent un foyer stationnaire, sont trop sophistiqués et exigent des investissements trop importants pour être pris en considération ici.
- Les fours de campagne consistent en un empilement de briques crues entre lesquelles est répandu le combustible (p ex.: charbon broyé, balle de riz, bouse de vache). Des ouvertures prévues à la base de l'empilement, permettent d'allumer le feu. Une fois le feu allumé, ces ouvertures sont obturées. La combustion peut durer de quelques jours à plusieurs semaines. Les briques proches du centre du four sont les plus résistantes. Le tri des pro-

duits finis est nécessaire, car 20 à 30 % de ceux-ci ne peuvent pas être commercialisés. Ces produits sont recuits ou bien utilisés pour réaliser la base, les côtés et le sommet du prochain four.

- Les fours scellés à l'argile sont assez semblables aux fours de campagne. Outre le fait que leurs faces extérieures sont enduites de boue, ils se distinguent de ces derniers par la présence de tunnels à la base de l'empilement, lesquels permettent d'alimenter la combustion. Il s'agit de la technique la mieux adaptée lorsque le combustible est du bois.
- Les fours à tirage par le haut (aussi appelés fours Scotch) fonctionnent comme les fours scellés à l'argile, mais ils s'en différencient par des tunnels et murs permanents.
- Les fours à tirage par le bas ont un plafond voûté permanent. Les gaz chauds résultant de la combustion longent les parois du four. Ils s'élèvent ensuite vers le plafond et sont aspirés vers le bas, entre les briques, et au travers du plancher perforé, par l'effet de succion de la cheminée qui les évacue à l'extérieur.
- Le four Hoffmann, qui à l'origine était circulaire, mais qui maintenant est généralement ovale, est un four à chambres multiples. Avant d'atteindre la zone où a lieu la combustion, l'air est préchauffé en traversant les chambres abritant les briques en cours de refroidissement et les briques crues sont préchauffées par l'évacuation des gaz chauds provenant de la combustion. Pendant qu'à l'une des extrémités du cycle les briques refroidies sont évacuées, à l'autre extrémité les briques crues sont empilées. Le combustible est introduit par le haut à travers des orifices prévus dans

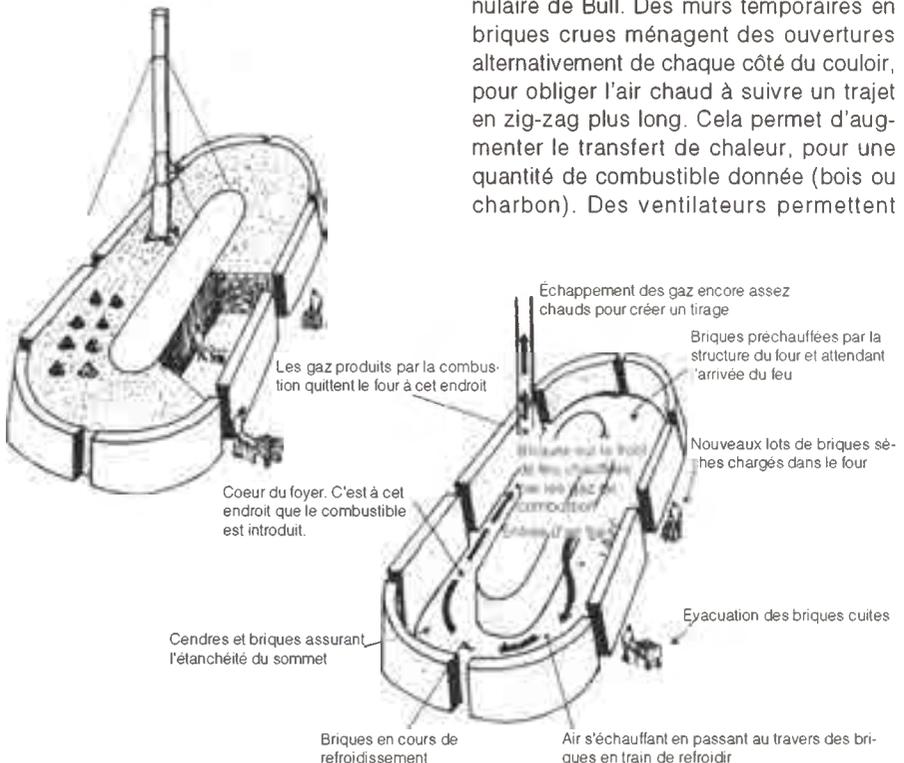


le toit voûté permanent. La production journalière de ce type de four peut atteindre 10'000 briques.

- Le four annulaire de Bull (briques empilées dans des tranchées) est similaire au four Hoffmann. Il se différencie de ce dernier par la suppression du toit voûté, pour des raisons d'économie, et par une cheminée métallique qui aspire et évacue les gaz résultant de la combustion. Cette cheminée est mobile, sa base est élargie, et sa hauteur peut atteindre 16 m. Elle s'adapte sur

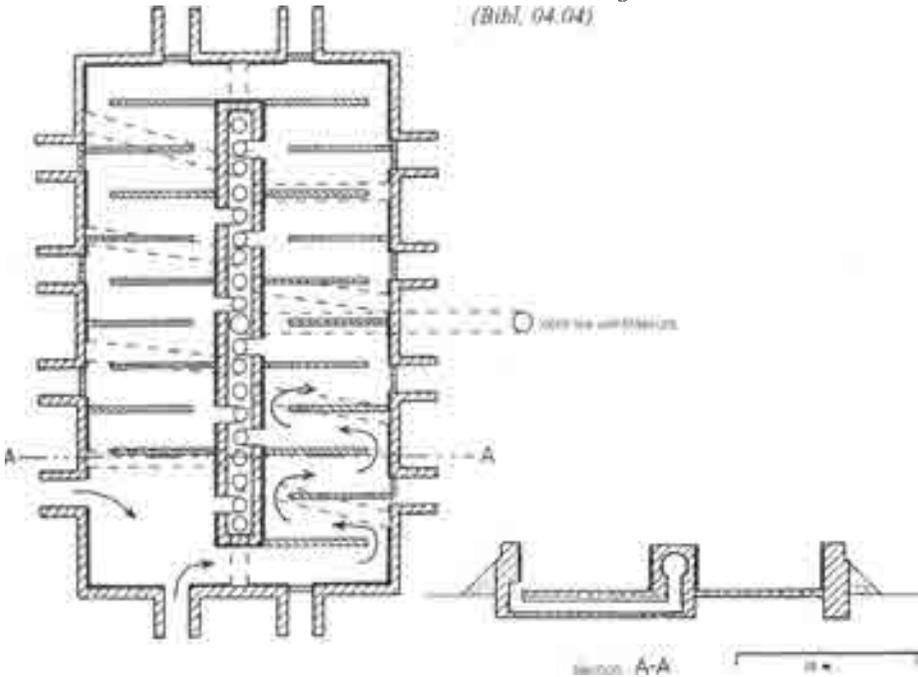
des ouvertures de ventilation laissées dans la couverture réalisée au sommet du four (briques serrées recouvertes d'une couche de cendre). Le combustible, généralement du charbon broyé, est introduit depuis le sommet, au travers des ouvertures de ventilation. Selon la dimension du four, le débit journalier peut aller de 10'000 à 28'000 briques, dont 70 % sont d'excellente qualité.

- Le four à tirage renforcé provient d'un développement supplémentaire du four annulaire de Bull. Des murs temporaires en briques crues ménagent des ouvertures alternativement de chaque côté du couloir, pour obliger l'air chaud à suivre un trajet en zig-zag plus long. Cela permet d'augmenter le transfert de chaleur, pour une quantité de combustible donnée (bois ou charbon). Des ventilateurs permettent



Fonctionnement des fours continus annulaires de Bull, utilisés au Pakistan et en Inde (Bibl.04.11)

*Four à tirage renforcé développé par le
Central Building Research Institute, Inde
(Bibl. 04.04)*



Echelles de production dans la fabrication de briques (Bibl. 04.04)

échelle de production	production journalière (moyenne)	procédé utilisé	marché cible
petite	1 000	production manuelle, fours de campagne	village, milieu rural
moyenne	10 000	presses mécanisées, four annulaire de Bull	périphérie urbaine
grande	100 000	four tunnel entièrement automatisé, produits extrudés coupés au fil métallique	régions industrielles avec une forte demande et une infrastructure développée



Consommation caractéristique en combustible des fours (Bibl. 04.04)

Type de four	Energie nécessaire	Quantité de combustible consommé (tonnes/1000 briques)		
		bois	charbon	fuel
<u>Intermittent</u>				
Four de campagne	très élevée	(0.44)	0.26	(0.16)
Four scellé à l'argile	élevée	1.00	0.59	0.36
FourScotch	élevée	1.00	0.59	0.36
Four à tirage par le bras	élevée	0.97	0.57	(0.35)
<u>Continu</u>				
Hoffmann (Original)	moyenne	0.13	0.07	0.05
Hoffmann (Moderne)	faible	0.31	0.19	0.11
Four annulaire de Bull	moyenne	0.28	0.17	(0.10)
Habla (à tirage renforcé)	moyenne	0.19	0.11	(0.07)
Tunnel	faible	(0.25)	(0.15)	0.09

Nota: Les valeurs entre parenthèses signifient que le combustible et le four dont il est question ne sont pas compatibles.

Applications

- Briques pleines ou évidées de toutes formes et dimensions, pour des ouvrages maçonnés courants, incluant fondations, planchers, murs porteurs, arches, voûtes et dômes.
- Tuiles de formes et dimensions variées pour des toitures dont la pente est comprise entre 33 % (soit 18°30') et 100 % (soit 45°).
- Carreaux de pavement et briques de parement pour finitions de surfaces durables, résistantes à l'eau et d'apparence spécifique.
- Produits spéciaux tels que briques porteuses de forte densité et de résistance à la compression élevée; briques réfractaires (bonne résistance aux températures élevées), pour revêtement intérieur de fours et fourneaux; briques résistant aux acides et carreaux résistant aux attaques chimiques; éléments de tuyaux et de conduits pour applications variées.
- Blocs d'argile creux de forme spéciale pour dalles composites à poutre en béton armé (pour planchers et plafonds).
- Les rebuts peuvent être utilisés pour construire les murs des fours, comme matériaux de remplissage dans des cavités de murs ou du sol, comme agrégat dans les

bétons. La réduction en poudre des rebuts sous-cuits produit un matériau aux propriétés pouzzolaniques (Surkhi) et autres additifs utilisables en briqueterie.

Avantages

- Les produits cuits en argile peuvent atteindre des résistances en compression élevées, même humides. Ils sont donc résistants aux chocs et à l'érosion.
- La porosité de l'argile cuite permet la diffusion de la vapeur d'eau, sans variations dimensionnelles significatives. Les ouvrages maçonnés avec des produits cuits « respirent ».
- Les briques pleines ont une importante inertie thermique, ce qui est favorable pour la plupart des climats, excepté pour les régions à climat humide; des briques creuses (évidements verticaux) peuvent être utilisées pour la construction de murs creux qui sont plus performants du point de vue isolation thermique, ou (évidements perpendiculaires à la surface du mur) pour la construction de murs ventilés ou ajourés.
- Les produits en terre cuite assurent une excellente protection contre le feu.
- Les produits en terre cuite résistent aux facteurs météorologiques, même sans protection de surface, ce qui permet de réaliser des économies. Des maçonneries brutes sont cependant souvent considérées comme inachevées et ne sont donc pas toujours acceptées.
- Des briques de mauvaise qualité ou cassées peuvent être destinées à d'autres usages, elles n'engendrent donc pas de déchets.

- Le processus de production peut exiger beaucoup de main d'oeuvre et donc créer beaucoup d'emplois et cela tout particulièrement pour de la main d'oeuvre non spécialisée.

Problèmes

- Consommation relativement importante de combustible. Dans de nombreux pays qui utilisent le bois comme combustible, de grandes étendues forestières ont disparu, causant de sérieux dégâts écologiques. Là où le bois de feu est encore disponible, il est généralement très cher, mais c'est aussi le cas des autres combustibles. Des produits en terre cuite de bonne qualité ont donc tendance à être chers.
- Les simples fours de campagne ne produisent pas toujours des briques de qualité uniforme et acceptable. Généralement l'efficacité de la combustion de tels fours est très faible. Cependant, les capitaux à investir pour construire des fours, à combustion efficace et produisant des briques de qualité, sont souvent trop élevés pour de petits producteurs. De plus de tels investissements ne se justifient pas si un débouché continu ou important n'est pas garanti.
- Un défaut fréquent des briques est le gonflement ou l'éclatement dû au calcaire, ce qui se traduit par une faiblesse ou la rupture de la brique. Ce problème apparaît à cause de l'hydratation de particules de chaux vive, qui apparaissent en cours de cuisson, si l'argile contient du calcaire.
- L'efflorescence est un second défaut qui se manifeste de façon temporaire à la surface des briques. Il est causé par la présence de sels solubles dans l'argile ou l'eau.



Remèdes

- L'efficacité de la combustion dépend principalement de la conception du four. Les fours continus retiennent la chaleur plus longtemps, ils utilisent la chaleur des briques en cours de refroidissement pour préchauffer l'air, tandis que les briques crues sont préchauffées par l'échappement des gaz brûlés. Les fours intermittents doivent, eux, chauffer l'entièreté de la masse des matériaux à chaque cuisson d'un nouveau lot.
- Le bois de feu ne devrait pas être utilisé plus vite qu'il ne se régénère. Des plantations de variétés à croissance rapide sont donc vitales. Vu leur pouvoir calorifique inférieur à celui de la plupart des arbres à croissance lente, le volume de bois nécessaire est plus grand. De plus, il est plus difficile d'entretenir des plantations d'arbres à croissance rapide dans des régions sèches, ainsi que lorsque les pluies manquent.
- Des déchets agricoles et autres biomasses, telles que balle de riz et de café, ainsi que papyrus sont des combustibles de substitution (partielle) efficaces et économiques. Mélangés à l'argile, ils permettent d'obtenir une cuisson plus homogène, évitant la production de briques non cuites à coeur.
- Les fours annulaires de Bull ainsi que les fours à tirage renforcé ont une combustion d'efficacité comparable à celle des fours industriels sophistiqués. Leur construction est aussi moins chère que celle d'un four Hoffmann. Il peut donc être intéressant de réaliser une première cuisson de briques avec un four de campagne et utiliser ce lot de briques pour la construction d'un four dont la combustion est plus efficace. La dimension du four doit cependant être adaptée à la demande du marché local. Il est indispensable que la dimension du four dépasse un seuil critique, en dessous duquel on ne peut obtenir un tirage suffisant.
- Le gonflement dû au calcaire peut être atténué en réduisant la dimension des particules du mélange brut et en cuisant à 1'000°C. L'addition de 0.5 à 0.75% de sel de cuisine (chlorure de sodium) avant la cuisson a aussi fait ses preuves. Après la cuisson les briques peuvent être trempées dans de l'eau pendant 10 minutes pour éteindre la chaux (pas toujours efficace).
- Des améliorations concernant toutes les étapes de la production de briques sont possibles et grandement souhaitables. Des recherches sont encore nécessaires pour trouver des méthodes de préparation correcte de l'argile qui soient simples et économiques, un moulage rapide et uniforme et, le plus important de tout, une combustion efficace.

LES LIANTS

Généralités

Les liants sont des substances employées pour agglomérer des particules organiques et inorganiques et des fibres, dans le but de produire des éléments résistants, durs et/ou flexibles. Ce résultat découle généralement d'une réaction chimique qui s'opère en présence soit de chaleur, soit d'eau et/ou d'autres substances, soit encore par simple exposition à l'air.

Les liants se répartissent en 4 groupes principaux.

- Liants minéraux
- Liants bitumeux
- Liants naturels
- Liants synthétiques

Liants minéraux

Ce groupe se subdivise en 3 catégories:

- Les liants hydrauliques: ils ont besoin d'eau pour durcir et acquérir leur résistance.
- Les liants non hydrauliques: ils ne durcissent qu'en présence d'air.
- Les liants thermoplastiques: durs quand ils sont froids, ils se ramollissent lorsque la température augmente.

Liants hydrauliques

- Le liant hydraulique le plus commun est le ciment (voir chapitre *Le ciment*).
- Les chaux hydrauliques et semi-hydrauliques (voir chapitre *La chaux*) sont obtenues par calcination de roches calcaires, dont la teneur en argile est moyenne à élevée. Calcaire et argile étant les principales

matières premières qui entrent dans la fabrication du ciment, il est logique que la calcination de roches calcaires riches en argile confère un caractère hydraulique à la chaux produite.

- Le mélange de chaux aérienne (non hydraulique) et de matériaux pouzzolaniques (voir chapitre *Les matériaux pouzzolaniques*) produit aussi un ciment hydraulique.
- Les liants hydrauliques sont habituellement disponibles sous forme de poudre fine. Plus la mouture est fine (habituellement grâce au broyage dans un broyeur à boulets), plus grande est la surface spécifique du produit (somme de la surface spécifique de chaque particule), et plus intense et complète est la réaction chimique au contact de l'eau.
- Pour éviter une prise et un durcissement prématurés, il est impératif de stocker les liants hydrauliques au sec, car leur affinité pour l'eau est importante. L'humidité de l'air suffit déjà à déclencher le processus d'hydratation.

Liants non hydrauliques

- Le plus commun des liants non hydrauliques est l'argile. L'argile, présente dans la plupart des terres, est responsable de leur durcissement au soleil et de leur ramollissement lorsqu'on les humidifie. Ses usages principaux sont la construction de bâtiments et la fabrication de produits en argile cuite.
- La chaux, à forte teneur en magnésium ou en calcium (voir chapitre *La chaux*), est un autre liant non hydraulique très répandu. Le durcissement est lié à sa combinaison avec le dioxyde de carbone présent dans l'air (recarbonatation), qui provoque la



retransformation de l'hydroxyde de calcium, en carbonate de calcium (calcaire). En pratique, ce type de chaux est rarement employé seul comme liant. Habituellement la chaux aérienne est associée à de l'argile ou à un matériau pouzzolanique, car il se forme alors un ciment hydraulique.

- Le plâtre est un liant non hydraulique qui provient du gypse. Dans les gisements de gypse, le matériau se présente sous forme de masses compactes et grenues ou en cristaux. La formule chimique du gypse (dihydrate de sulfate de calcium) est la suivante: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Chauffé modérément à près de 160°C , le gypse se transforme en semihydrate de sulfate de calcium ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), plus communément connu sous le nom de «Plâtre de Paris». Celui-ci mélangé à de l'eau, durcit en 8 à 10 minutes. La production de plâtre à partir d'énergie solaire a déjà été réalisée. Chauffé légèrement au-delà de 200°C (pas réalisable à partir d'énergie solaire), le gypse se transforme en anhydrite de

gypse (CaSO_4), qui, mélangée à de l'eau, durcit très lentement.

- Le gypse est aussi un abondant sous-produit de la production du sel de cuisine (évaporation de l'eau de mer), ainsi que de la fabrication d'engrais phosphatés (traitement de roches phosphatées). Dans ce dernier cas, le produit s'appelle phosphogypse. Il contient plus d'eau que le gypse naturel, est plus acide et moins pur, ce qui implique de coûteux traitements. Dans une certaine mesure, il est aussi radioactif et son utilisation dans la construction n'est, alors, pas recommandée.
- En construction, le gypse est principalement employé comme retardateur de prise, pour ajuster le temps de prise de divers types de ciments hydrauliques. Mélangé à d'autres matériaux (p. ex. chaux, sable, sciure, jute, sisal, huile de lin, papier), il permet de réaliser des enduits, des panneaux et des blocs de construction.



*Cuisson de gypse à l'énergie solaire
(Photo: N. Nolhier)*

- Le plâtre a plusieurs avantages. Sa production nécessite peu d'énergie (cuisson du gypse à faible température). Le séchage et le durcissement du plâtre sont rapides et accompagnés d'un retrait négligeable (pas besoin de coffrage). Il adhère bien aux matériaux fibreux et autres, il reflète bien le son (si sa mise en oeuvre est dense et rigide), il résiste bien au feu, ainsi qu'aux insectes et rongeurs. Le plâtre permet de réaliser d'excellentes finitions de surface.
- Le principal désavantage du plâtre est sa solubilité (2 g de plâtre par litre d'eau). L'humidité de l'air peut réduire la résistance du plâtre et le gel, ainsi que des changements soudains de température, peuvent causer des dommages.
- A cause de ces désavantages, le plâtre ne devrait pas être employé en extérieur dans des régions humides, à moins d'être bien protégé par de larges débordements de toiture et un enduit résistant à l'eau (p. ex. huile de lin chauffée).

Liants thermoplastiques

- La mise en oeuvre de matériaux thermoplastiques requiert de la chaleur, et le durcissement s'opère au refroidissement. Les états (solide = froid; mou = chaud) sont réversibles, de sorte que ces matériaux peuvent être plusieurs fois régénérés et réutilisés.
- Il semble que le seul liant minéral thermoplastique employé en construction soit le soufre (voir chapitre *Le soufre*).

Liants Bitumineux

- Les bitumes sont des mélanges de plusieurs hydrocarbures (composés de carbone et d'hydrogène) et de quelques

autres substances. Il s'agit d'un résidu de la distillation du pétrole brut. Il provient des raffineries de pétrole, ou de gisements naturels (extrait de roches poreuses ou de lacs souterrains, situés à proximités de gisements de pétrole). Les bitumes sont généralement des substances thermoplastiques noires, huileuses, fluo-res-centes et hautement visqueuses, voire presque solides aux températures normales. Sont appelés bitumes, les composés qui contiennent au moins 40 % d'hydrocarbures lourds.

- Les asphaltes sont définis comme étant des mélanges contenant du bitume et une importante proportion de matières minérales inertes (sable, gravier, etc.). Aux USA, le bitume est appelé asphalte, ce qui provoque certaines confusions.
- Le goudron est une substance noire et épaisse, produite lors de la distillation destructive (ou carbonisation) de matières organiques, telles que bois ou charbon.
- Le brai est le résidu provenant de la distillation du goudron de charbon.
- La lumière, l'air ou l'eau, agissant séparément, n'ont pas d'influence sur le bitume, mais, combinés, ces éléments rendent le bitume cassant, poreux et sensible à l'oxydation, faisant apparaître des boursoufflures et des fissures. Le bitume se ramollit entre 30° et 100°C (pas de point de fusion très précis), il faut donc le protéger de la chaleur. Il est insoluble dans l'eau et passablement résistant à la plupart des acides. Bien que le bitume soit combustible, les produits composites, tel l'asphalte coulé, ne s'enflamment pas facilement. Les produits au goudron et au bitume peuvent être toxiques, il faut éviter qu'ils n'entrent en contact avec de l'eau potable.



- Les produits bitumineux ont de multiples usages. Citons entre autres: hydrophobants pour la terre stabilisée, peintures, membranes imperméables, feutres de toiture, produits de colmatage pour joints, matériaux de revêtement de sols (routes, planchers), adhésifs (pour planchers en blocs de bois; feutres et revêtements isolants).
- Pour être mis en oeuvre, le bitume doit être soit chauffé, soit mélangé à des solvants (p. ex. essence, kérosène ou naphte; le produit s'appelle alors cut-back), soit encore mélangé avec de l'eau (le produit s'appelle alors «émulsion de bitume»).

Liants naturels

- Plantes et animaux fournissent toute une variété de liants, lesquels peuvent être employés dans leur forme naturelle ou après traitement.
- Exemples de liants naturels: sève de plante (p. ex. jus de feuilles de bananier; latex de certains arbres; sève de sisal; huiles de noix de coco, de coton et de lin); excréments d'animaux (p. ex. bouse de vache; urine de cheval) et autres produits provenant des animaux (p. ex. sang de taureau; colles animales produites à partir de cornes, de sabots ou de peaux; caséine ou petit-lait produit à partir du lait).
- Depuis les temps préhistoriques, les liants naturels jouent un rôle important dans la construction traditionnelle, mais aujourd'hui ils sont moins bien acceptés socialement. Ceci dit, des recherches actuelles attribuent à ces matériaux une importance toujours plus grande, surtout du fait de leur coût abordable et de leur compatibilité avec l'environnement.

Liants synthétiques

- Ces liants sont généralement produits par des procédés industriels et sont donc souvent coûteux. Certains liants synthétiques sont toxiques.
- Ils peuvent être employés comme adjuvants, comme adhésifs ou comme enduits de surface et sont appliqués, soit chauds, soit en émulsion, ou encore avec un solvant.
- Les substances synthétiques agglutinant des particules lâches, sont principalement des résines dérivées de matériaux végétaux ou d'huiles minérales. La variété des produits commerciaux est très étendue et le choix dépend des performances attendues (développement de la résistance, étanchéité à l'eau, élasticité, etc.).
- Les colles sont employées pour coller de grandes particules, des composants, des membranes, des tôles, des panneaux, des carreaux, etc. sur une autre surface. Certaines colles sont conçues spécifiquement pour une seule application, alors que d'autres ont plusieurs usages. Il existe des colles à un composant et des colles à deux composants.
- Les enduits de surface peuvent être utilisés comme couche de protection, comme décoration ou aussi comme surface d'accrochage. La variété de produits est trop grande pour être détaillée ici.

LA CHAUX

Généralités

La production de chaux dans des fours est une technologie, vieille de plus de 2000 ans, probablement développée par les Romains environ 300 ans avant J.C. La calcination du calcaire (température supérieure à 900°C) produit de la chaux vive. Celle-ci éteinte avec de l'eau produit de la chaux hydratée ou chaux éteinte. La production de chaux étant une pratique traditionnelle dans la plupart des pays, la chaux est un des matériaux les plus courants. La chaux est employée dans de nombreux procédés industriels et agricoles, ainsi que pour la protection de l'environnement et dans la construction de bâtiments.

La chaux est aussi un sous-produit de la fabrication du sucre et des industries de l'acétylène et du papier. Elle se présente alors sous forme de boues (composées de carbonate de calcium et de diverses impuretés).

Les réactions chimiques lors de la cuisson de la chaux sont:

Première réaction: (900°C, selon le type de calcaire)



ou

Deuxième réaction: (environ 750°C):



suivie de la première réaction (environ 1100°C)



Matières premières

- Les réactions chimiques montrent que le constituant principal des matières premières (calcaire) est nécessairement le carbonate de calcium (CaCO_3). Le calcaire peut avoir une teneur en CaCO_3 dépassant 98 % (craie et divers types de coquillages et de corail) ou aussi faible que 54 % (minerai de dolomie pur).
- Chaque type de calcaire donne une qualité de chaux différente, selon le type et la quantité des impuretés présentes. Les formes de chaux les plus pures sont requises pour des applications industrielles et chimiques. Au contraire, pour la construction routière et le bâtiment, certaines impuretés peuvent être souhaitées. Ainsi en Inde, les calcaires appelés «kankar» (teneur en argile de 5 à 25 %) servent à la production d'une *chaux hydraulique*, laquelle durcit en présence d'eau, comme un ciment.
- Lorsque la chaux se présente sous forme de boue (sous-produit), elle est préalable-

ment moulée en briques ou briquettes avant d'être portée aux fours.

- Pendant la calcination, le comportement du calcaire est influencé par sa teneur en impuretés. La conception du four et le choix du carburant dépendent donc beaucoup de la matière première et du type de produit fini désiré. Les conseils d'un expert, dès les tout premiers stades d'un projet de construction d'un four à chaux, sont donc indispensables pour obtenir des résultats satisfaisant le producteur de chaux et ses clients.
- La préparation de la matière première est extrêmement importante. Ainsi, pour faciliter un flux régulier des gaz et une cuisson uniforme, les pierres doivent toutes avoir à peu près la même dimension (environ la grosseur d'un poing). Des essais de cuisson à petite échelle permettent d'étudier le comportement de la matière première et la qualité de chaux vive produite. Ils permettent aussi de vérifier la solidité des pierres qui ne peuvent pas se casser avant d'être extraites du four.



Four pour essais de cuisson à petite échelle (Bibl. 06.08)

Combustibles

- Le bois et le charbon sont les combustibles traditionnels les plus communs. La calcination au bois produit une chaux de très bonne qualité, car le bois brûle avec de longues flammes régulières et génère de la vapeur (humidité du bois). Cette vapeur abaisse la température à laquelle se produit la dissociation (séparation du CO₂ des carbonates), ce qui réduit le danger de sur cuisson.
- Le bois doit être sec (séché à l'air) et débité en morceaux relativement petits. Il doit être disponible à proximité du four, pour éviter de coûteux transports. La production d'une tonne de chaux hydratée consomme environ 2 m³ de bois, ce qui pose problème vu la diminution rapide des ressources en bois. Un remède possible consiste à créer des plantations, pour remplacer le volume de bois récolté.
- Le charbon de bois est un combustible très efficace, mais la chaux produite n'est pas d'aussi bonne qualité que celle calcinée au bois.
- Du charbon à forte teneur en carbone produit également une chaux de bonne qualité et peut conduire à une économie de combustible, même pour des fours de dimensions réduites. Le coke est plus conseillé vu sa faible teneur en composés volatils (hydrocarbures susceptibles de se vaporiser), mais il est difficile à enflammer, et est souvent mélangé à du charbon.
- Les combustibles liquides et gazeux, quoique plus coûteux, sont plus faciles à utiliser que les combustibles solides. De plus, ils brûlent sans produire de cendre, laquelle salit la chaux.
- Les combustibles liquides sont généralement des fuels lourds et ils sont souvent

mélangés à de l'huile de vidange. Le combustible est vaporisé, mélangé avec de l'air et enflammé dans des chambres situées autour du four, ceci pour obtenir une combustion complète du combustible, avant qu'il entre en contact avec le calcaire.

- Les gaz de pétrole liquéfiés, essentiellement propane (C₃H₈) et butane (C₄H₁₀), entrent également dans la catégorie des combustibles liquides. La combustion des gaz naturels, tels que méthane (CH₄) et gaz produits à partir de bois, de charbon ou de matériaux végétaux, est conduite de la même façon.
- Lorsque le combustible est liquide ou gazeux, les fours sont nécessairement plus sophistiqués que ceux conçus pour les combustibles solides.
- Les tourbes et schistes bitumineux, ainsi que la biomasse, incluant déchets agricoles et forestiers, sont des combustibles alternatifs envisageables qui peuvent être employés de plusieurs façons.
- Il semble improbable que dans un proche avenir, les énergies solaire et éolienne puissent être utilisées pour la cuisson de la chaux.

Conception et conduite du four

- Un four à chaux est une enceinte, dans laquelle le calcaire est porté à une température permettant la libération de CO₂ par les carbonates. La pierre se transforme alors en chaux vive. La chaleur est produite par la combustion de combustibles appropriés. Le combustible est inséré en couches intercalaires aux pierres calcaires, ou mélangé à ces dernières. S'il s'agit de combustibles gazeux ou liquides, ils sont injectés depuis les côtés du four, ou



brûlés dans des chambres adjacentes (les gaz chauds traversant ensuite le four).

- Pour que la calcination de la pierre soit complète, il faut maintenir la température suffisamment longtemps, ce qui requiert un contrôle attentif. Si le calcaire est sous cuit, il ne s'hydratera pas, tandis que s'il est sur cuit, il s'hydratera très lentement car il est trop dur et trop compact.
- Vu la grande diversité des fours, la description restera générale. Les plus sophistiqués (p. ex. fours rotatifs et fours sur lit fluidisé) ne sont pas traités ici, bien que dans certains cas, ils présentent un intérêt certain.
- Les *fours à empilement* ou *fours intermittents* sont généralement utilisés dans des endroits retirés et lorsqu'une production continue ne se justifie pas (p.ex. petits projets de construction de bâtiments ou de construction routière). Une fois le calcaire chargé, la combustion est conduite jusqu'à calcination complète de toutes les pierres. Après refroidissement, la chaux vive est extraite, une nouvelle charge de calcaire est empilée et le four est à nouveau allumé. Le rendement thermique de ce type de four est très faible, car il faut réchauffer les murs à chaque fois, mais ils ne nécessitent qu'une attention réduite pendant la cuisson. Le combustible brûle sous le calcaire (fours à tirage par le haut ou fours à cheminée) ou au sein de l'empilement lui-même (fours à empilements alternés).
- Les *fours à puits vertical* sont généralement conçus pour une production continue. La pierre, introduite par le sommet, descend progressivement vers la zone de combustion. Elle atteint ensuite la zone de refroidissement et est finalement extraite au pied du four, laissant place au chargement sui-

vant. Au sommet du four, les pierres sont préchauffées par les gaz d'échappement, tandis qu'au pied du four, l'air frais est préchauffé par la chaux vive sortant de la zone de combustion. L'utilisation de la chaleur produite est donc optimale.

Principales caractéristiques de la construction des fours à puits vertical et à alimentation mixte et considérations relatives à leur utilisation:

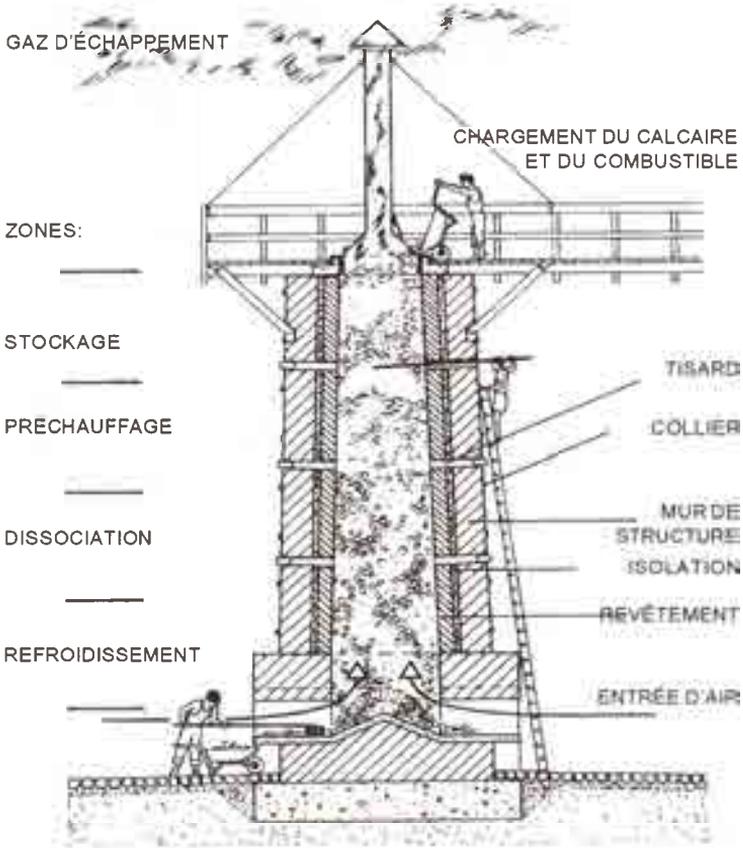
- *Fondations et soubassement du four*: construction sur une base stable capable de porter l'ouvrage et son chargement; la collaboration d'un ingénieur est nécessaire.
- *Dimensions et formes du puits*: la section radiale est déterminée par le débit désiré (règle empirique: une section de 1 m² permet une production journalière d'environ 2,5 tonnes); une section circulaire permet une meilleure répartition de la chaleur; pour une circulation optimale des gaz, le rapport hauteur/diamètre doit être au moins de 6 : 1; la hauteur doit tenir compte du type de calcaire (des pierres tendres peuvent s'écraser sous le poids de l'empilement, limitant ainsi la circulation des gaz; la hauteur d'un four ne doit pas excéder 5 m pour la cuisson de craie tendre); diminution progressive du Ø du puits vers le haut (angle d'environ 3°) pour éviter la formation de bouchons (pierres adhérant aux côtés et formant des voûtes).
- Les *murs de structure*: ils doivent résister à la pression latérale exercée par l'empilement de pierres (plus grande épaisseur du mur à la base, ou contreforts, ou colliers en acier à intervalles de 80 cm, tels que ceux développés par le Khadi et le Village Industries Commission, Bombay); ils doivent résister à la traction engendrée par la dilatation due à l'élévation de tempé-

rature (utilisation de petites briques plutôt que de grands blocs, et de joints étroits en mortier chaux-sable); épaisseur d'au moins 50 cm pour un bon comportement thermique; maçonnerie en matériaux résistants aux conditions climatiques (pierre naturelle ou briques bien cuites) surtout pour les niveaux supérieurs du mur.

- *Revêtement intérieur du four:* revêtement d'au moins 22 cm d'épaisseur dans la partie supérieure du four et résistant à l'abra-

sion (p. ex. pierre dure ou briques très résistantes); dans la zone de cuisson et en dessous, revêtement résistant à la chaleur et aux produits chimiques dégagés (briques réfractaires dures de texture fine avec des joints très fins et un mortier en argile réfractaire).

- *Isolation:* habituellement épaisseur de 5 à 10 cm, entre le mur et le revêtement intérieur pour retenir la chaleur dans le four, surtout autour de la zone de cuisson; diffé-

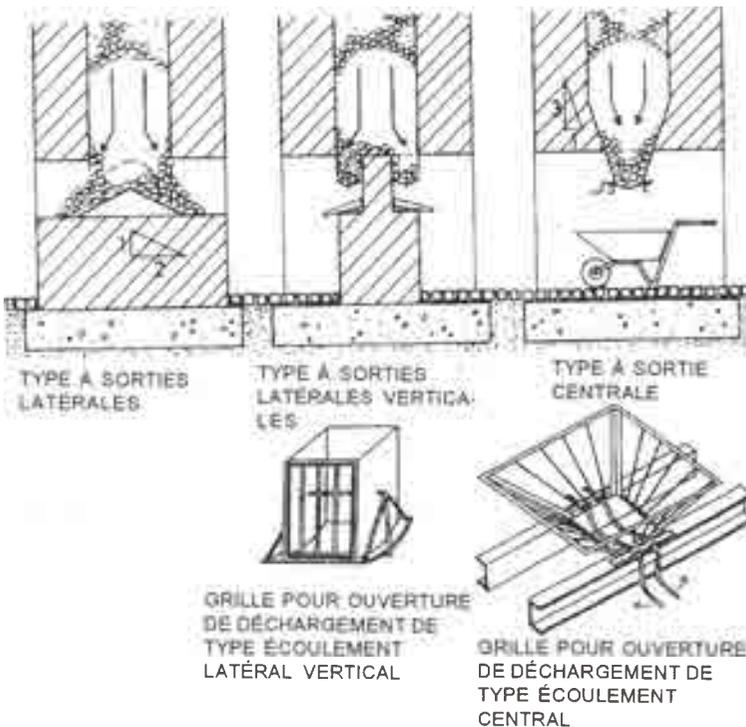


rents matériaux peuvent être employés (p. ex. lame d'air, cendre de balle de riz ou autres matériaux pouzzolaniques, agrégats légers, laine de roche).

- *Ouvertures*: au sommet du four pour le chargement (de préférence avec un couvercle si une cheminée surmonte l'ouverture), à la base du four pour l'entrée d'air et l'évacuation de la chaux vive refroidie. Une seule ouverture centrale (type à «décharge centrale») permet un contrôle du tirage plus facile que des ouvertures multiples (type à «décharge latérale»);

tisards et trous d'inspection sur le pourtour du four et à différents niveaux (habituellement de la dimension d'une brique, laquelle est utilisée pour fermer l'ouverture) permettent de prélever régulièrement des morceaux de pierre calcaire et de contrôler la température dans le four.

- *Cheminée*: entre 2,5 et 6 m de haut, pour améliorer le tirage et fournir ainsi suffisamment d'oxygène pour la combustion, pour refroidir la chaux vive, et pour diriger les gaz d'échappement loin des opérateurs chargeant le four.



de Bibl. 06.07: Différents types d'ouvertures de déchargement, de fours à puits vertical

Hydratation

- La chaux, employée entre autres en construction, est de la *chaux hydratée ou encore appelée chaux éteinte*. L'extinction est obtenue en mettant de l'eau chaude ou de la vapeur en contact avec de la chaux vive. La réaction entre l'eau et de la chaux vive pure est intense et dégage beaucoup de chaleur. Si la chaux vive n'est pas pure, l'hydratation est plus lente, ou ne se produit qu'après broyage des blocs de chaux vive.

Troisième réaction:



La chaux éteinte (hydratée) peut se présenter sous trois formes:

a. L'*hydrate sec*: poudre fine et sèche, produite en ajoutant juste assez d'eau pour éteindre la chaux vive et la chaleur dégagée par la réaction assèche le produit;

b. Le *lait de chaux*: produit par l'extinction de chaux vive, avec un important excès d'eau, tout en agitant le mélange pour former une suspension laiteuse;

c. La *pâte de chaux*: masse plastique, obtenue par décantation des particules en suspension dans un lait de chaux.

- La forme la plus commune est l'hydrate sec. Il convient bien pour un stockage en silos ou en sacs imperméables à l'air et il est facile à transporter. La pâte de chaux est un excellent matériau de construction qui, humide, se conserve indéfiniment. Le lait de chaux est généralement un sous-produit industriel.
- Dans de petites exploitations produisant de la chaux, l'extinction, habituellement manuelle, est pratiquée soit sur des plates-formes pour produire l'hydrate sec, soit dans des réservoirs peu profonds pour produire de la pâte de chaux.

- Bien que l'hydratation de la chaux vive soit un procédé simple, cette opération doit être conduite avec un soin particulier. Il est important de s'assurer que toutes les particules de chaux vive sont complètement hydratées. Des morceaux de chaux vive s'hydratant plus lentement et de façon incomplète provoquent, par la suite, de sérieux problèmes.

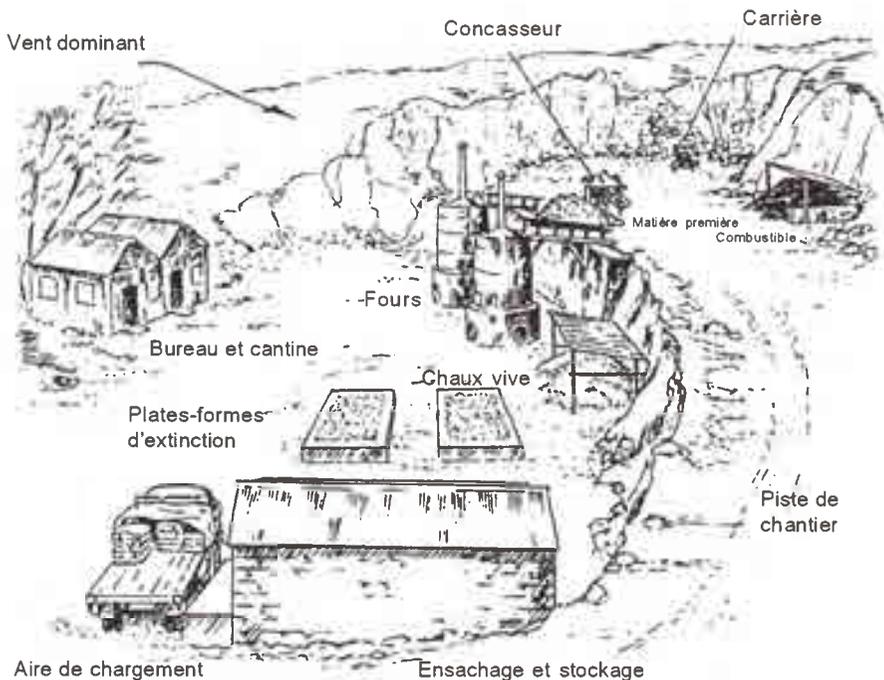
- Si l'eau est ajoutée trop lentement, la température de la chaux monte trop vite, et il se forme des grumeaux blancs et inactifs (chaux «brûlée»). Si l'eau est ajoutée trop rapidement, il se forme une peau d'hydroxyde qui empêche l'hydratation de progresser (chaux «noyée»).



En Inde, le Central Building Research Institute a développé une petite installation pour l'hydratation de la chaux vive. Cette installation occupe peu d'espace et élimine la plupart des problèmes d'hydratation. L'hydrate sec fabriqué est de qualité homogène et la production est relativement rapide.

Organisation du site de production

L'emplacement et l'organisation d'une unité de production de chaux sont des facteurs vitaux qui influencent le coût et la qualité du produit fini. L'illustration (tirée de Bibl. 06.08) présente une unité de production bien organisée. Les distances qui séparent les différents postes de l'exploitation sont relativement courtes.



Applications

- La chaux est utilisée comme stabilisateur lorsque la terre employée pour construire est argileuse, car elle réagit avec l'argile pour former un liant.
- La chaux mélangée avec un matériau pouzzolanique (cendre de balle de riz, cendres volantes, laitier de haut fourneau, etc.) donne naissance à un liant hydraulique. Celui-ci peut partiellement ou complètement se substituer au ciment, selon les performances attendues des mortiers et bétons réalisés.
- La chaux produite à partir de calcaire riche en argile est appelée chaux hydraulique, car même utilisée sans matériau pouzzolanique, elle durcit au contact de l'eau.
- La chaux non hydraulique ou chaux aérienne (= chaux éteinte classique: hydroxyde de calcium pur ou presque pur) peut aussi être utilisée comme liant, dans la composition de crépis. Le durcissement provient alors, de la réaction avec le dioxyde de carbone présent dans l'air, qui retransforme la chaux en calcaire (carbonate de calcium). Ce procédé peut durer jusqu'à 3 ans, selon les conditions climatiques.
- La chaux est employée dans des mortiers et enduits au ciment pour en améliorer l'ouvrabilité.
- Le blanchissage à la chaux (lait de chaux dilué) se pratique aussi bien en extérieur qu'en intérieur.

Avantages

- La production de chaux consomme moins d'énergie que la production de ciment, elle est donc plus économique et nuit moins à l'environnement.
- L'utilisation de la chaux est de loin préférable à celle du ciment portland, pour des travaux de maçonnerie et de crépissage. Elle tolère de petites déformations sans se fissurer car elle est moins rigide, et elle permet une meilleure régulation naturelle de l'humidité de l'air (réduction du danger de condensation).
- Parce qu'il n'est pas toujours nécessaire d'atteindre la résistance que le ciment portland permet d'obtenir (une résistance très élevée peut parfois être néfaste), un liant chaux-matériau pouzzolanique peut fournir une solution meilleure marché et structurellement plus appropriée. Le ciment est alors préservé pour des utilisations plus spécifiques.
- Les blanchissages à la chaux ne sont pas seulement des peintures économiques, ils ont aussi un léger pouvoir germicide.

Problèmes

- Le temps de cure des terres stabilisées à la chaux est deux fois supérieur à celui du ciment.
- De la chaux vive stockée dans un endroit humide s'hydrate (l'humidité de l'air est déjà suffisante).
- La chaux éteinte réagit graduellement avec le dioxyde de carbone présent dans l'air. Stockée pour de longues périodes elle perd donc progressivement de son efficacité.



- L'expansion de la chaux (hydratation différée de nodules de chaux vive non éteinte) peut se produire longtemps après le séchage, causant alors des boursouflures, et des fissures qui endommagent les surfaces.
 - De simples blanchissages à la chaux durcissent lentement et ne sont pas très résistants.
 - La cuisson traditionnelle de la chaux dans des fours intermittents consomme d'importantes quantités de combustible (habituellement bois de feu) et produit souvent un matériau non homogène et de faible qualité (sur cuit ou sous cuit).
 - La valeur de la chaux est largement sous-estimée, surtout depuis que le ciment portland est devenu presque partout, une sorte de liant «miracle».
- de la pâte de chaux s'améliore avec le temps. Sous cette forme, même les particules de chaux vive réagissant plus lentement, finissent par s'hydrater, évitant ainsi l'expansion ultérieure de la chaux.
- Pour arriver à la construction de fours plus efficaces (en termes de consommation en combustible et de débit du four), il est essentiel de faire circuler l'information et d'assister les producteurs locaux.
 - De tels efforts devraient aussi permettre de réhabiliter la chaux, comme étant l'un des matériaux de construction les plus importants.

Remèdes

- Le temps de cure de terres stabilisées à la chaux peut être raccourci, soit en utilisant des chaux hydrauliques, soit en ajoutant un matériau pouzzolanique aux chaux aériennes.
- Pour la construction, puisque la chaux vive doit de toutes les façons être hydratée avant d'être employée, elle devrait être éteinte dès sa sortie du four. En effet, une fois hydratée elle se conserve et se transporte beaucoup plus facilement.
- La chaux hydratée sèche doit être stockée dans des sacs imperméables à l'air, pour empêcher une rapide détérioration.
- Il est avantageux de stocker la chaux sous forme de pâte de chaux car sous cette forme, un stockage de longue durée n'est pas préjudiciable. Au contraire, la qualité

LE CIMENT

Généralités

De nos jours, il existe une grande variété de ciments. Le plus courant est le ciment portland ordinaire (CPO) et lorsqu'on parle de ciment, habituellement on se réfère à un ciment de ce type. Il s'agit d'une fine poudre grise qui sert à la préparation de mortiers (ciment + sable + eau) ou de bétons (ciment + sable + gravier + eau) résistants et durables.

Le ciment portland a été mis au point au 19^{ème} siècle et est ainsi nommé parce qu'il ressemble à une pierre couramment utilisée en construction, dans la région de Portland en Angleterre. Depuis, il est associé à résistance élevée et durabilité, et il a acquis une réputation prestigieuse.

Le ciment est habituellement produit dans de grandes installations centralisées, qui d'une part nécessitent d'importants capitaux et d'autre part entraînent de longues distances de transport du produit fini jusqu'aux sites d'utilisation. Dans la plupart des pays en développement, les capacités de production sont, de loin, inférieures à la demande. A cause des pertes et détériorations en cours de transport et pendant le stockage, le prix du ciment est généralement élevé et sa disponibilité limitée.

Pour remédier à ces inconvénients, de plus petites unités de production ont été développées (appelées aussi «mini cimenterie»), ceci particulièrement en Chine et en Inde.

Production de ciment à grande échelle

- Près de 95 % de la production mondiale de ciment provient de fours rotatifs. Ceux-ci ont des débits journaliers variant de 300 à plus de 5000 tonnes.
- Une boue, composée de calcaire (carbonate de calcium) et d'argile (silice, oxyde d'aluminium et oxyde de fer) broyés et mé-

langés à de l'eau est introduite en partie supérieure d'un four rotatif légèrement incliné. Le four est garni d'un revêtement réfractaire et sa longueur peut dépasser 100 m. De l'air chaud (entre 1300° et 1400°C) est soufflé à la base du four, desséchant la boue qui fond et s'agglomère pour former des nodules durs, connus sous le nom de «clinker». A la sortie du four, ces nodules sont refroidis et broyés dans un broyeur à boulets avec environ 3 % de plâtre, pour retarder la prise du ciment. Plus fine est la mouture, plus rapides sont les réactions de prise et de durcissement.

- Le procédé par voie humide décrit ici, a été presque complètement supplanté par le procédé par voie sèche, qui requiert moins d'énergie pour sécher les matières premières introduites dans le four.
- Le CPO est vendu en sacs de 50 kg. Il est préférable d'utiliser des sacs en papier multicouches. Cependant dans certains pays (p. ex. en Inde), le ciment est conditionné dans des sacs de jute usagés. Cela entraîne beaucoup de gaspillage et compromet la qualité.

Production de ciment à petite échelle

- Dans ce cas, le ciment est produit à partir de petits fours à puits vertical. En Chine, plus de la moitié de la production annuelle de ciment est ainsi fabriquée.
- Calcaire concassé, argile et charbon sont dosés, finement broyés dans un broyeur à boulets et formés en nodules à l'aide d'un disque ad hoc.
- Les nodules sont introduits dans la portion conique supérieure du four. A cause de la température élevée de l'air préchauffé qui règne dans cette partie du four, le combustible contenu dans les nodules s'en-



flamme et transforme les matières en clinker.

- Les nodules de clinker descendent graduellement dans la portion cylindrique du four, où ils sont refroidis par l'air introduit à la base.
- Une grille rotative décharge le clinker, qui est alors broyé avec du plâtre dans un broyeur à boulet. Les nodules étant poreux, le broyage requiert moins d'énergie.
- Un four à puits vertical peut produire journalièrement, de 2 à 30 tonnes de ciment portland ordinaire.

Variétés de ciments

- Il existe différentes variétés de ciment qui sont obtenues, soit en modifiant le type et les proportions des matières premières à cuire, soit en mélangeant ou en broyant le ciment portland avec d'autres produits. Quelques variétés courantes:
 - *Ciment portland à durcissement rapide* (moulu plus finement que le CPO; la résistance finale est cependant la même que celle du CPO).
 - *Ciment portland résistant aux sulfates* (modification de la composition chimique des matières premières).
 - *Ciments portland à la pouzzolane* (mélange ou broyage simultané de matériaux pouzzolaniques, p. ex. cendre de balle de riz ou cendres volantes, en proportion de 15 à 40 % en poids, économisant ainsi une quantité équivalente de ciment et améliorant certaines propriétés).
 - *Ciments portland de haut fourneau* (mélange de laitier broyé de haut fourneau; ciments à durcissement lent et résistants aux sulfates).

- *Ciment magnésien ou ciment à la magnésie* (obtenu par cuisson de carbonate de magnésium; atteint une résistance beaucoup plus élevée que le CPO, mais est attaqué par l'eau).
- *Ciment alumineux* (obtenu par cuisson de calcaire et de bauxite, atteint rapidement une résistance élevée, bonne résistance aux sulfates et aux acides et résistant à des températures supérieures à 1300°C; mais 3 fois plus cher que le CPO et ne convenant pas à la préparation de béton pour la construction).

Hydratation du ciment

- Les grains de ciment s'hydratent dès qu'ils entrent en contact avec des molécules d'eau. La réaction progresse au fur et à mesure que l'eau diffuse à l'intérieur des grains. Donc, plus les grains de ciment sont petits, plus la réaction est rapide, car l'eau atteint rapidement le cœur des grains.
- Les produits de l'hydratation des grains de ciment diffusent dans l'eau qui remplit les interstices entre les grains. Plus il y a d'eau, plus les interstices sont larges et plus il faut de produits d'hydratation pour que leur concentration soit forte. Si leur concentration est insuffisante, au terme de la réaction demeurent des pores capillaires qui affaiblissent la résistance. Pour obtenir une résistance suffisante, il est donc important de respecter un *rapport eau-ciment* correct.
- Pendant l'hydratation, il y a production de chaux libre. Celle-ci durcit très lentement (combinaison avec du CO₂) et son durcissement est accompagné d'une expansion en volume, provoquant fissuration et rupture du béton. L'adjonction d'un matériau

pouzzolanique évite ce problème, car il réagit avec la chaux libre pour donner naissance à un liant hydraulique, dont la prise et le durcissement se développent de façon semblable à ceux du ciment.

- La prise (raidissement de la pâte) se développe au cours des 45 premières minutes, mais le durcissement (développement de la résistance) dure plusieurs semaines. C'est pour cela que les spécifications en matière de solidité sont basées sur la résistance atteinte au bout de 28 jours.
- Parce que leur prise est rapide, les mélanges au ciment doivent être consommés aussi vite que possible.
- Dans les régions chaudes, mortiers et bétons dessèchent trop rapidement. Ils doivent donc être humidifiés pendant un minimum de deux semaines.

Applications

- Le ciment est utilisé comme liant, en mélange à divers matériaux organiques et inorganiques, p. ex. blocs en terre-ciment ou sable-ciment, panneaux de fibres liées au ciment.
- Principalement employé en mélange avec du sable et du gravier (et des armatures), pour la fabrication du béton (armé).
- Employé avec du sable et du treillis à poulailler (ou avec des fibres) pour la fabrication du ferrociment (ou de bétons de fibres).
- Mortiers et enduits sont composés de ciment et de sable, souvent mélangés à de la chaux pour une meilleure ouvrabilité. Avec du sable très fin, il est utilisé pour lisser.

- Du ciment mélangé avec de l'eau en excès permet de composer de la peinture au ciment.

Avantages

- Les ciments peuvent atteindre des résistances très élevées, ils sont généralement insensibles à l'eau, et ont un retrait et un gonflement insignifiants.
- Les ciments sont résistants au feu et agressions biologiques, s'ils sont maintenus propres.
- Une importante valeur de prestige est associée aux constructions en ciment.
- Les avantages des unités de production décentralisées à petite échelle sont: investissement moins élevé; consommation de charbon ou de coke bon marché; faibles frais de transport plus faibles du fait de l'éloignement moindre des utilisateurs; peu de sophistication technique permettant l'emploi d'une main-d'oeuvre non qualifiée; adaptabilité à la demande du marché; possibilité d'utiliser différentes matières premières et de produire différentes sortes de ciments; développement d'industries diverses autour de l'usine.

Problèmes

- Dans la plupart des pays en développement, le ciment est encore trop coûteux pour la majorité de la population, et la disponibilité est insuffisante.
- Le stockage nécessite des soins attentifs pour éviter un début de prise.
- Dans des conditions chaudes et sèches, des fissurations peuvent apparaître au moment de la mise en oeuvre, à cause de



la rapidité de la prise ou de fluctuations de températures.

- Les sulfates et les sels peuvent provoquer de rapides détériorations.
- La réputation d'efficacité du ciment, amène souvent l'utilisateur à surdoser les mortiers, les rendant au contraire fragiles et poreux, ce qui nuit à leur durabilité.

Remèdes

- Augmenter l'offre et diminuer le coût en introduisant des unités de production de ciment décentralisées et à petite échelle.
- Améliorer les méthodes d'ensachage et de stockage (environnement sec et rotation rapide du stock) pour éviter les pertes par début de prise prématuré.
- Une cure humide adéquate pour éviter la fissuration et emploi de ciments spéciaux lorsqu'il existe des risques de contacts avec des sulfates et des sels.
- Intensifier les efforts d'information et promouvoir l'emploi de la chaux (p. ex. pour améliorer la qualité des mélanges au ciment) pour réduire les utilisations inutiles et erronées du ciment.

LES MATÉRIAUX POUZZOLANIQUES

Généralités

Matériaux naturels ou produits par l'homme, ils contiennent de la silice et/ou des oxydes d'aluminium. Isolés, ils n'ont pas de propriétés hydrauliques, mais finement broyés et mélangés à de la chaux, le mélange développe prise et durcissement, tout comme le ciment, à température ambiante et au contact de l'eau.

Ces matériaux peuvent remplacer 15 à 40 % de la quantité de ciment portland, sans réduction sensible de la résistance à long terme d'un béton.

La plupart des matériaux pouzzolaniques décrits ici sont des sous-produits agricoles ou de l'industrie. Si, fabriqués en grande quantité, ces sous-produits ne trouvent pas d'application, ils deviennent des déchets dont le stockage pose problème. Même si le recyclage de déchets était le seul bénéfice lié à l'utilisation des matériaux pouzzolaniques, il justifierait déjà le développement de cette filière. Or, comparé à la production et l'utilisation de ciment portland, l'emploi de ces matériaux contribue en plus à des économies de coûts et d'énergies, aide à réduire la pollution de l'environnement et, dans la plupart des cas, améliore la qualité du produit fini.

Types de matériaux pouzzolaniques

- Il existe deux types de matériaux pouzzolaniques : les matériaux pouzzolaniques naturels et les matériaux pouzzolaniques artificiels.
- Les matériaux pouzzolaniques naturels sont principalement des *cendres volcaniques* provenant d'une activité volcanique récente.
- Les matériaux pouzzolaniques artificiels sont habituellement des sous-produits de

diverses activités agricoles et industrielles. Les plus importants sont l'*argile brûlée*, les *cendres de combustible pulvérisé (ccp)*, le *laitier broyé de haut fourneau (lbhf)* et la *endre de balle de riz (CBR)*.

Cendres volcaniques

- Les premiers matériaux pouzzolaniques naturels utilisés dans la construction sont les cendres volcaniques du Mt. Vésuve (Italie), qui se trouvaient dans la ville voisine de Pozzuoli, laquelle leur donna leur nom.
- Bien que les compositions chimiques soient similaires, les matériaux vitrifiés qui se forment lors de *violentes projections* de magma dans l'atmosphère sont *plus réactifs mélangés à de la chaux*, que la cendre volcanique produite lors d'éruptions moins violentes.
- La disponibilité de matériaux pouzzolaniques naturels appropriés est donc limitée à quelques régions du monde.
- Les matériaux pouzzolaniques de bonne qualité sont souvent des cendres fines, mais ils peuvent aussi se présenter sous forme de grosses particules (tuf: cendre volcanique cimentée) à broyer préalablement. La qualité de tels matériaux peut cependant varier assez fort, y compris dans un même gisement.
- Les matériaux pouzzolaniques naturels s'emploient de la même façon que les matériaux pouzzolaniques artificiels.

Argile cuite

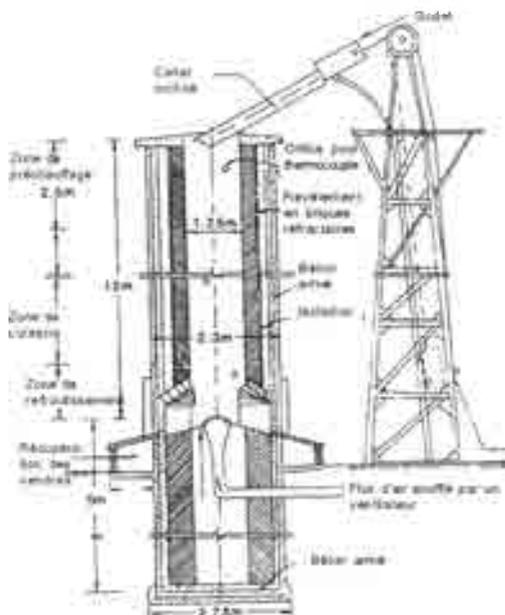
- La cuisson de terres argileuses provoque l'élimination des molécules d'eau, ce qui transforme la terre en une matière quasi



amorphe, laquelle devient réactive lorsqu'elle est mélangée à de la chaux. Ce phénomène s'observe aussi pour des terres schisteuses, des terres contenant de la bauxite et des terres latéritiques et fut découvert dans les temps anciens (les premiers matériaux pouzzolaniques artificiels étaient produits à partir de fragments de poterie écrasés). Il s'agit d'une technologie traditionnelle, encore largement pratiquée dans le sous-continent Indien, en Indonésie et en Egypte, qui utilise des briques sous-cuites ou rebutées. (En Inde ce matériau porte le nom de «surkhi», en Indonésie «semen merah», et en Egypte «homra»).

- Un projet, mené en Inde, rapporte qu'une solution alternative consiste à utiliser des terres ayant une trop faible proportion d'argile et une trop forte proportion de sable pour la fabrication de briques cuites. Ce type de terre est excavé de manière à former des fosses circulaires, en découpant la matière en blocs. Ces blocs sont ensuite replacés dans les fosses, en intercalant des couches de bois de feu. Le produit obtenu après cuisson est très friable et n'a pas besoin d'être pulvérisé. Il est utilisé comme mortier de maçonnerie en le mélangeant simplement à de la pâte de chaux (ni sable, ni ciment; Bibl. 05.10).
- Une technique similaire est pratiquée à Java, en Indonésie. Des blocs d'argile mis en tas sont cuits et ensuite désagrégés, tamisés et utilisés en mélange avec de la chaux et du sable, parfois aussi avec du ciment (Bibl. 05.11).

- La fiabilité de ces méthodes traditionnelles est très variable, mais des méthodes de cuisson améliorées ont été développées pour produire des matériaux pouzzolaniques performants et homogènes.
- L'illustration présente un four à puits vertical développé en Inde (d'après Thatte and Patel). Le matériau introduit dans le four consiste en un mélange de blocs d'argile (50 à 100 mm) et de charbon déclassé (comportant 48 % de cendre, 31 % de carbone et 20 % de gaz). La température de cuisson, qui atteint 700°C, est maintenue pendant 3 heures. Elle est contrôlée par des thermocouples, par une soufflerie et par le débit à l'enfournement. La capacité journalière est de 10 tonnes. Un pro-



cédé à lit fluidisé a été développé par la National Building Organisation de New Delhi. Dans ce cas, la cuisson de l'argile ne dure que quelques minutes, ce qui permet d'atteindre des débits élevés et un fonctionnement continu (Bibl. 08.07).

Cendres de combustible pulvérisé (cendres volantes)

- La comparaison entre les processus aboutissant à la production, d'une part des cendres de combustible pulvérisé (ccp; ou cendres volantes), et d'autre part du ciment portland ordinaire (CPO), permet de comprendre pourquoi les ccp peuvent être utilisés comme substitut partiel du ciment.
- Du charbon finement broyé, porté par un courant d'air brûlant (environ 1500°C) est injecté à haute vitesse dans la chaudière d'une centrale électrique. Les éléments carbonés sont brûlés instantanément, tandis que le résidu de matière (silice, oxydes d'aluminium et oxydes de fer) fond et reste en suspension dans les gaz d'échappement. Refroidies brutalement à la sortie de la chaudière, ces particules prennent la forme de petites sphères.
- Dans la production de CPO, calcaire et argile, finement broyés et mélangés, sont introduits dans un four rotatif incliné. Dans ce four, se forme le clinker sous une tem-

pérature de 1400°C. Le clinker refroidi est finement broyé et mélangé avec du plâtre pour produire le CPO.

- En fonction du type de charbon, la teneur en chaux des ccp peut être faible (ccp ayant des propriétés pouzzolaniques) ou élevée (ccp ayant elles-mêmes des propriétés hydrauliques). Lorsque des ccp sont incorporées dans la composition d'un mortier ou d'un béton, la chaux libérée par le CPO en cours d'hydratation, se combine avec ces ccp pour donner naissance à un liant ayant des propriétés hydrauliques.
- Les particules de ccp, sphériques, vitrifiées et lisses, ayant la même finesse que le CPO, il n'est pas nécessaire de les broyer. L'addition de ccp améliore l'ouvrabilité du béton frais (probablement grâce à la forme sphérique des particules de ccp), ainsi que son homogénéité (dispersion des flocons de ciment et distribution uniforme de l'eau).

Autres avantages liés à l'utilisation des ccp:

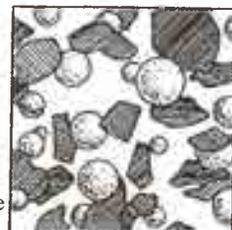
- A terme, développement d'une résistance supérieure à celle du béton sans ccp.
- Les ccp ne nuisent pas aux performances des éléments de constructions en béton.
- Comparés aux bétons en CPO, les bétons avec des ccp sont plus légers, moins per-



Béton de ciment portland ordinaire fraîchement mélangé

10 mm

Dispersion des grains de ciment par l'ajout de ccp



méables (arrangement plus dense) et ont une meilleure finition de surface.

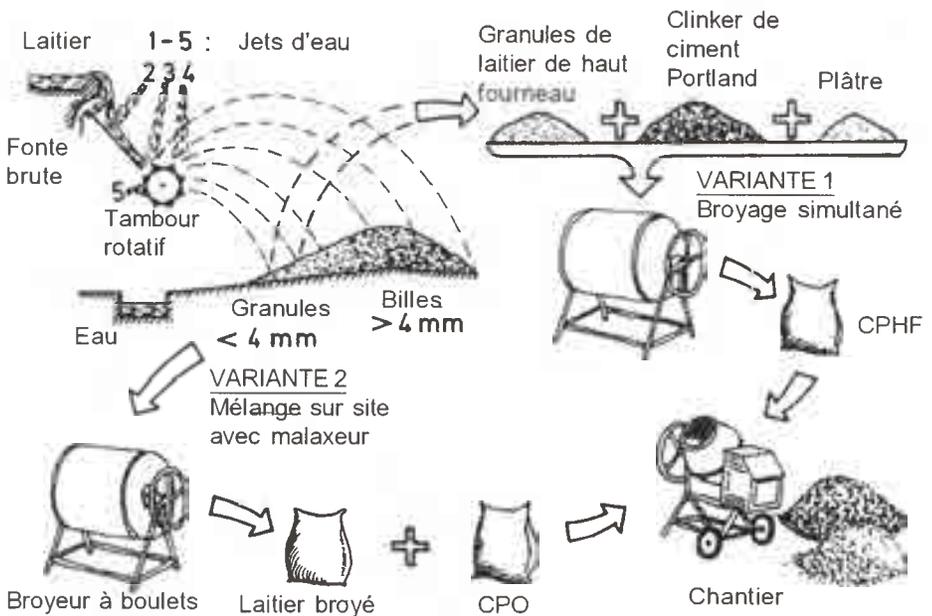
- Les bétons aux ccp sont aussi plus résistants aux sulfates et aux réactions alcali-silice.
- Les bétons dans lesquels 35 - 50 % de CPO en poids sont remplacés par des ccp atteignent des performances satisfaisantes.
- Des agrégats dérivés de cendres volantes se lient très bien dans des bétons aux ccp, contribuant favorablement à leurs performances et à leur durabilité.

des matériaux introduits dans le four, lorsque ce dernier atteint 1400° à 1600°C.

- Le refroidissement lent du laitier donne naissance à un matériau cristallin, qui est employé comme granulat. Le refroidissement rapide -jet d'air ou d'eau sous pression- donne lieu à la formation de billes vitrifiées (laitier expansé > 4 mm, utilisé comme agrégat léger) et de granules inférieurs à 4 mm (lesquels possèdent des propriétés hydrauliques lorsqu'ils sont finement moulus).
- Le ciment portland de haut fourneau (CPHF; la teneur en laitier peut atteindre 80 %) est obtenu en mélangeant du laitier broyé avec du CPO. Le CPHF réagit moins vite que le CPO et cette particularité se marque d'autant plus que la teneur en laitier est élevée.

Laitier broyé de haut fourneau

- Le laitier de haut fourneau est le matériau fondu qui flotte sur la fonte brute dans le haut-fourneau. Le laitier est composé de différents constituants, qui proviennent



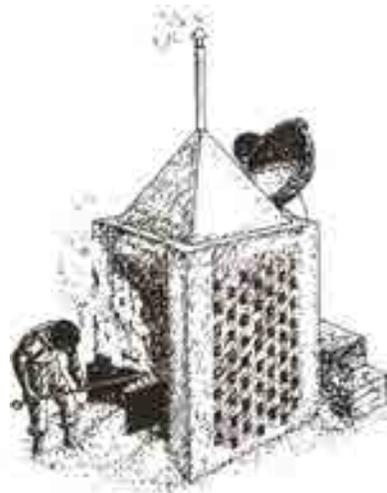
- Bien que la résistance des bétons au CPHF se développe moins vite que celle des bétons au CPO, leur résistance finale est plus élevée. La réaction plus lente de CPHF dégage aussi moins de chaleur, ce qui peut être avantageux lorsque des fissures thermiques sont à craindre.
- Outre qu'il améliore l'ouvrabilité du béton frais, le CPHF résiste bien aux agressions chimiques, et vu son aptitude à protéger les armatures en acier, son usage est recommandé pour le béton armé ou précontraint.

Cendre de balle de riz

- La combustion de résidus agricoles élimine les matières organiques et produit, dans la plupart des cas, une cendre riche en silice. Parmi les déchets agricoles communs, c'est la balle de riz qui produit le plus de cendres (environ 20 % en poids) et qui a aussi la teneur en silice la plus élevée (environ 93 % en poids). C'est cette teneur élevée en silice qui confère à la cendre ses propriétés pouzzolaniques.
- Cependant, seule la silice amorphe (non cristalline) possède ces propriétés, c'est pourquoi il est important de contrôler la température et la durée de la combustion, lors de la production de la cendre de balle de riz (CBR). On obtient de la silice amorphe, lorsque la température de combustion reste inférieure à 700°C. Une combustion incontrôlée, p.ex. lorsque la balle de riz est employée comme combustible ou brûlée en tas, peut conduire à des températures supérieures à 800°C. Au-dessus de 800°C la silice cristallise et est alors moins réactive.
- Cet incinérateur, d'abord développé par le Pakistan Council of Scientific and Industrial

Research (PCSIR) et ensuite amélioré par le Ciment Research Institute of India (CRI), est construit en briques. De nombreuses ouvertures permettent d'obtenir une bonne ventilation de la masse de balles de riz. La surface intérieure est tapissée d'un treillis en fil métallique (1,6 mm d'épaisseur). Les balles sont insérées par le sommet et la cendre est récupérée au niveau de la porte située à la base. Un pyromètre contrôle la température, qui peut être ajustée en fermant ou en ouvrant les ouvertures, de façon à maintenir une température voisine de 650°C pendant 2 à 3 heures.

- La cendre réactive est gris foncé à blanche, selon sa teneur en carbone résiduel, laquelle n'a pas d'effet négatif si elle est inférieure à 10 %. Pour améliorer sa réactivité, la cendre est broyée dans un broyeur à boulets pendant environ une heure, ou plus longtemps si elle contient de la silice cristallisée. Cette cendre peut remplacer jusqu'à 30 % du volume de ciment dans la préparation de mortiers et de bétons. On



peut aussi la mélanger avec 30 à 50 % de chaux éteinte, pour produire un liant hydraulique utilisé dans la préparation de mortiers, de crépis ou de bétons non armés.

- Dans un autre procédé, la cendre obtenue par la combustion de balle de riz mise en tas ou par la ?? pré cuisson de riz ??, est mélangée avec environ 20 à 50 % (en poids) de chaux éteinte. Ce mélange est broyé pendant 6 heures ou plus dans un broyeur à boulets pour produire du ASHMOH. Il s'agit d'un liant hydraulique convenant pour les travaux de maçonnerie, de fondation et de bétonnage en général (hormis béton armé). Pour le ASHMENT, une variante du ASHMOH, la chaux est remplacée par du ciment portland (Bibl. 08.04).

- Une autre méthode utilise des déchets pâteux de chaux, produits lors du raffinage du sucre. Cette pâte est séchée et mélangée avec une égale quantité (en poids) de balles de riz écrasées et d'eau. Des boules de la dimension d'une balle de tennis sont confectionnées à la main et séchées au soleil. Ces boules ensuite cuites et empilées sur un grillage, donnent un matériau poudreux et tendre, qui est alors écrasé dans un broyeur à boulets. Le liant hydraulique ainsi produit peut être employé pour les mêmes applications que le ASHMOH.

- Une variante de cette méthode consiste à utiliser des terres ayant une teneur en argile minimale de 20 % à la place de la pâte de chaux. Le liant produit peut servir à confectionner un ciment portland à la pouzzolane, en remplaçant 30 % de ciment portland par ce liant. Des

tests ont montré que les propriétés pouzzolaniques sont meilleures si l'argile contient de la bauxite.

- Au National Building Research Institute de Karachi au Pakistan:

La première maison économique construite avec pour principal liant, de la cendre de balle de riz (CBR) mélangée à de la chaux. Ce liant a complètement remplacé le ciment pour la fabrication des blocs porteurs creux, de même que pour les mortiers et les enduits, alors que 30 % du ciment portland a été remplacé par de la CBR pour la préfabrication des linteaux et poutres de toiture.



LE BÉTON

Généralités

Les principaux ingrédients du béton sont le ciment, les agrégats (sable et gravier) et l'eau. En les mélangeant selon des proportions soigneusement établies, on obtient une masse plastique pouvant épouser la forme de coffrages complexes et maintenir cette forme après durcissement.

La technologie du béton est une de celles qui a mobilisé le plus d'effort, de savoir-faire et d'expérience. Cet ouvrage n'aborde donc que les aspects généraux de cette technologie. Pour des informations plus détaillées, le lecteur se reportera à la littérature spécialisée ou consultera des professionnels.

Préparation du béton

- Les matières premières (ciment, agrégats, eau) et les proportions du mélange sont soigneusement choisies selon l'utilisation et les performances souhaitées. Lorsque la qualité des matériaux n'est pas standardisée ou qu'elle n'est pas connue par expérience, il est préférable de réaliser des tests pour contrôler les choix effectués.

Méthode de préparation typique du béton en Inde. Des cuvettes servent à transporter le béton frais jusqu'aux coffrages. Une chaîne d'ouvriers assure le transport de ces cuvettes depuis le malaxeur jusqu'aux coffrages. (Photo: K. Mukerji)



- Dans la plupart des applications, un bon équilibre entre les agrégats fins (sable) et grossiers (gravier) est indispensable, afin d'obtenir un béton compact qui sera résistant. Plus il y a de vides (mauvaise granulométrie), plus il faut de ciment et d'eau.
- Des agrégats rêches et anguleux résistent davantage au glissement entre particules, que des agrégats lisses et arrondis, lesquels sont plus faciles à compacter. Limon, argile et fines doivent être éliminés, d'abord parce qu'ils empêchent une bonne liaison entre le ciment et les agrégats et ensuite parce qu'ils nécessitent un apport en eau plus élevé.
- L'eau doit être aussi propre que possible, car des sels et autres impuretés peuvent perturber la prise et le durcissement et altérer la durabilité du béton. L'eau de mer doit si possible être évitée, surtout pour le

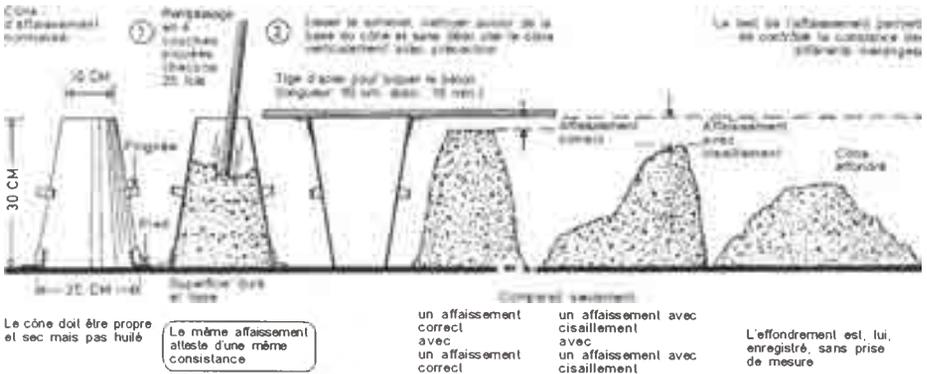


béton armé (danger de corrosion des armatures).

- Divers adjuvants peuvent être employés en cas d'applications particulières: modification du délai de prise (accélération ou retard); amélioration de l'étanchéité à l'eau ou de la résistance aux produits chimiques; etc. Dosages corrects et contrôles de qualité sont vitaux pour obtenir des résultats satisfaisants et limiter les coûts.
- Agrégats et ciment doivent d'abord être intimement mélangés à l'état sec. Ensuite, l'eau est ajoutée progressivement, tout en mélangeant les matériaux, et ce juste avant utilisation du béton. Le dosage et le mélange de l'eau requièrent un soin particulier, car le rapport eau / ciment influence fortement la résistance et la durabilité du béton (trop d'eau provoque l'apparition de pores!).
- Les mêmes critères s'appliquent aux bétons prêts à l'emploi, livrés par des

bétonneuses à partir d'une centrale à béton (encore rares dans les pays en développement). En Inde, une étude du Cement Research Institute recommande de transporter du béton «semi sec» avec de petits véhicules non-mélangeurs (plus économique), et de terminer le mélange sur chantier avant mise en oeuvre du béton.

- Le test d'affaissement permet de contrôler la constance de la consistance du béton frais: insérer le béton en 4 couches de volume égal (chaque couche reçoit 25 piquages) dans un moule conique, lisser ensuite la surface au sommet et retirer le moule. L'affaissement du béton, juste après suppression du cône, doit être de préférence compris entre 25 et 100 mm.
- Les mélanges sont identifiés selon une échelle, p. ex. C7, C10, C25, etc., qui se réfère à la résistance à la compression (Rc) en N/mm² (MPa).



Coffrage

- Des coffrages devant être réutilisés plusieurs fois sont généralement réalisés avec des panneaux en acier et/ou des planches en bois. La jonction entre les éléments de coffrage doit être suffisamment solide pour résister à la pression du béton compacté et étanches pour ne pas perdre la laitance.
- La texture de surface du coffrage détermine l'apparence de la surface du béton durci. Pour la réalisation de surfaces lisses, il faut éliminer les restes de béton adhérent aux coffrages et provenant de bétonnages antérieurs.
- Pour faciliter le décoffrage, il est conseillé d'enduire les surfaces intérieures avec de l'huile, en spray ou à l'aide d'une brosse.
- Dans le cas de béton armé, les armatures sont placées dans le coffrage après application de l'huile. Des écarteurs (morceaux de pierre ou de béton) sont disposés entre les armatures et les parois huilées du coffrage, pour garantir un recouvrement suffisant des armatures par le béton qui les protège de la corrosion.
- Le choix d'un coffrage doit tenir compte de la facilité d'assemblage et de démontage. Dans certains cas, le coffrage est destiné à rester en place (coffrage perdu). Des matériaux isolants ou de parement peuvent ainsi être utilisés seuls ou associés à d'autres matériaux pour coffrer un élément en béton.

Mise en œuvre et cure

- Le béton peut être transporté du malaxeur jusqu'aux coffrages par grues, camions, brouettes, seaux, tuyaux, selon les moyens disponibles. Dans beaucoup de pays en développement, le béton est

amené au coffrage dans des cuvettes, par des ouvriers formant une chaîne. Si le béton n'est pas produit sur le chantier, il est livré prêt à l'emploi dans un camion spécial.

- Les éléments en béton doivent si possible être bétonnés sans reprise. En cas d'interruption, les zones de reprise constituent des points faibles.
- Lorsque le coffrage est rempli jusqu'à un certain niveau, le béton doit être compacté pour chasser l'air. A cet effet, il existe des vibrateurs (fixés sur le coffrage ou mobiles et immergés dans le béton). Cependant, dans le cas de constructions économiques, il n'est pas nécessaire d'atteindre des résistances élevées et un simple piquage avec une barre de fer suffit déjà.
- Il est important de nettoyer immédiatement tous les équipements qui ont été en contact avec le béton, car après durcissement, cette opération est difficile.
- Après quelques jours, lorsque le béton a suffisamment durci, le coffrage peut être démonté. La résistance continue de se développer pendant plusieurs semaines, à condition que le béton reste humide (cure) pendant *14 jours au moins* (p. ex. en recouvrant l'élément bétonné avec des sacs en jute humides, régulièrement arrosés).
- Toutes les informations données ci-dessus, depuis la préparation du béton, jusqu'à la cure, sont valables aussi bien pour le béton coulé in situ, que pour le béton coulé en usine (préfabrication).



Applications

- *Bétonnage de masse* avec agrégats de granulométrie continue ou fine: fondations, planchers, pavements, murs monolithiques (dans certains cas), briques, carreaux de pavement, blocs creux, tuyaux.
- *Béton sans éléments fins*: béton léger composé uniquement d'agrégats grossiers de même calibre (lourds ou légers) laissant de nombreux vides entre eux; convient à la réalisation de murs porteurs ou non porteurs, de murs de remplissage dans des structures poteaux-poutres, du corps de dalles de plancher. Ces bétons conviennent bien à la réalisation de gobetis, ils sont isolants (grâce à leur porosité) et ont un faible retrait lors du séchage. Des vides de grandes dimensions préviennent aussi les remontées capillaires.
- *Béton d'agrégats légers*: utilisant de l'argile expansée, du laitier ponce, des cendres volantes agglomérées, de la pierre ponce ou d'autres agrégats légers, pour la production d'éléments isolants et légers (murs, blocs, etc.).
- *Béton cellulaire*: produit en introduisant de l'air ou du gaz dans le mélange ciment-sable (pas de gravier); bon comportement thermique; ne convient pas à la réalisation d'éléments porteurs; fabrication de blocs légers. Inconvénients: faible résistance à l'abrasion, retrait important et perméabilité élevée. Le béton cellulaire se travaille facilement, il se cloue et se scie comme le bois.
- *Béton armé (BA)*: incorporation de barres en acier dans les sections tendues d'un élément en béton, pour suppléer à la faible résistance à la traction du béton et limiter les fissures thermiques et de retrait; pour dalles de planchers, poutres, linteaux, co-

lonnes, escaliers, ossatures de bâtiment, éléments de longue portée, voiles angulaires ou courbes, etc., qu'il s'agisse d'éléments fabriqués sur site ou préfabriqués. Le rapport résistance / poids élevé de l'acier et son coefficient de dilatation thermique, qui par un heureux hasard est sensiblement le même que celui du béton, en font un matériau d'armature idéal. La préférence doit être donnée aux barres d'acier à adhérence améliorée (reliefs empêchant les mouvements relatifs entre acier et béton après durcissement) lorsqu'elles sont disponibles. Ces barres sont de loin plus efficaces que les barres lisses, de sorte que la quantité d'acier peut être réduite de 30 %.

- *Béton précontraint*: il s'agit de béton armé dans lequel les armatures sont mises en tension pendant la fabrication de l'élément en béton, pour augmenter la résistance, diminuer la fissuration et alléger les éléments de construction, tels que poutres, planchers, fermes, escaliers et autres éléments de grande portée. La précontrainte permet de diminuer le volume des aciers et introduit un effort de compression dans le béton, de sorte que la capacité portante de l'élément est augmentée. Deux techniques coexistent: la précontrainte par adhérence (les aciers sont tendus avant le bétonnage) et la postcontrainte (lorsque le béton a atteint une résistance suffisante, les aciers sont passés au travers de gaines rectilignes ou incurvées; après mise en tension et ancrage des aciers, les gaines sont injectées). Il s'agit d'opérations industrielles qui requièrent des équipements spéciaux et coûteux (vérins, ancrages, bancs de mise en tension, etc.). Cette technologie n'est pas appropriée à la construction économique.

- Cependant le *béton précontraint à fils d'acier à faible teneur en carbone et étirés à froid (CWPC)* est une alternative prometteuse. Cette technologie est développée en Chine où sont produits annuellement, dans environ 3000 usines, 20 millions de m³ d'éléments préfabriqués précontraints. La résistance à la traction des câbles en acier à faible teneur en carbone (câbles standard), d'un Ø de 6,5 à 8 mm, est doublée après étirage à température ambiante au travers de filières (réduction du Ø des câbles à 3, 4 ou 5 mm). Cette pratique permet d'économiser 30 à 50 % d'acier. Les bétons utilisés sont de catégorie C30. La technologie est simple à comprendre et à installer et l'équipement est également simple (Bibl. 09.09).

Avantages

- Le béton peut prendre diverses formes et atteindre des résistances à la compression dépassant 60 N/mm².
- Le béton armé combine résistance élevée à la compression et à la traction, ce qui laisse de la souplesse aux concepteurs et permet de satisfaire toutes les prescriptions. Le béton est idéalement adapté à la préfabrication d'éléments et à la construction de bâtiments en zones à risque (zones sismiques, sols gonflants, etc.).
- L'énergie nécessaire à la production de 1 kg de béton ordinaire est plus faible que celle nécessaire à la production des autres matériaux de construction manufacturés (1 MJ/kg, Bibl. 00.50), alors que le béton armé (1 % d'acier en volume) requiert 8 MJ/kg.



Unité de production d'éléments en béton précontraint, au Bangladesh (Photo: K. Mukerji)



- L'inertie thermique élevée et le coefficient de réflexion important (due à la couleur claire) sont particulièrement intéressants pour la construction en climat chaud et sec ou en régions tropicales montagneuses.
- Correctement mis en oeuvre, le béton est extrêmement durable, il ne requiert pas de maintenance, il résiste à la pénétration de l'humidité, aux produits chimiques, au feu et aux attaques des insectes et des champignons.
- Le béton a une importante valeur de prestige.
- Divers déchets agricoles ou industriels peuvent être utilisés avec succès comme substituts au ciment et / ou pour améliorer les qualités du béton.

Problèmes

- Ciment, acier et coffrage coûtent cher.
- Contrôle de qualité difficile à exécuter sur les sites de construction, d'où le risque de fissuration et de détérioration progressive, si le mélange, la mise en oeuvre ou la cure ne sont pas conduits correctement.
- Dans les climats humides et les régions côtières, la corrosion des armatures (si protection insuffisante) entraîne l'ouverture des fissures.
- La résistance au feu est limitée à environ 500°C, après quoi, les aciers commencent à défailir (s'ils ne sont pas suffisamment recouverts). Après un incendie les constructions en BA doivent généralement être démolies.
- La démolition du béton est difficile et les débris ne peuvent pas être recyclés autrement que sous forme d'agrégat pour refaire du béton.
- Création de champs magnétiques indésirables, d'où des conditions de vie malsaines.

Remèdes

- Pour réduire le coût du béton : diminuer la proportion de ciment par la mise au point bien étudiée du mélange, l'utilisation de granulats de bon calibre, la réalisation de tests et de contrôles de qualité et l'emploi partiel de matériaux pouzzolaniques moins chers; décentraliser les cimenteries pour améliorer la disponibilité du ciment et diminuer les déchets (meilleur ensachage)
- Une conception adéquate, l'utilisation de barres à adhérence améliorée et la précontrainte (CWPC) réduisent la consommation en acier d'armature.
- Mise en oeuvre de contrôles de qualité (seulement possible avec des travailleurs bien formés et une supervision continue).
- L'amélioration de la résistance au feu d'éléments non porteurs est possible en utilisant des ciments alumineux avec de la brique cuite pilée, lesquels résistent à une température de 1300°C (béton réfractaire).
- Là où le gravier est rare (p. ex. au Bangladesh), des déchets concassés de briques cuites peuvent le remplacer. Le béton est alors relativement léger, il a une résistance à la compression légèrement inférieure, mais il résiste mieux à l'abrasion. Ces déchets de briques étant hydrophiles, la quantité d'eau doit être augmentée lors de la préparation du béton.
- Il faut prévoir des joints de dilatation, si d'importantes dilatations sont attendues.

LE FERROCIMENT

Généralités

Le ferrociment est un matériau semblable au béton armé (BA), mais il s'en différencie par les points suivants:

- L'épaisseur des éléments en ferrociment dépasse rarement 25 mm, alors que celle des éléments en béton armé est rarement inférieure à 100 mm.
- Le mortier utilisé est riche en ciment portland et il ne contient pas de gravier.
- Comparé au BA, le ferrociment contient une proportion élevée d'armature. Celle-ci est constituée de treillis métalliques ou de fils de petit diamètre rapprochés les uns des autres. Elle est distribuée uniformément dans l'épaisseur de la section des éléments en ferrociment.
- Le rapport résistance à la traction / poids est plus élevé que celui du BA et la résistance à la fissuration est supérieure.

- Le ferrociment peut être mis en oeuvre sans coffrage pour la plupart des applications.

Le ferrociment est un matériau relativement récent. Il a d'abord été utilisé en France pour la construction d'un bateau à rames, au milieu du 19^{ème} siècle. Son utilisation dans le bâtiment a débuté en Italie au milieu du 20^{ème} siècle. Même si son utilisation dans des domaines variés s'est rapidement développée dans le monde entier, le ferrociment n'en est encore qu'à ses débuts car ces performances à long terme ne sont pas encore connues.

En 1976, l'International Ferrocement Information Center (IFIC) a été créé à l'Asian Institute of Technology, de Bangkok en Thaïlande. Ce centre diffuse des informations sur le Ferrociment et publie le *Journal of Ferrocement*, ainsi que de nombreuses autres publications. La photo ci-dessous montre le Ferrocement Park à Bangkok, où sont exposés quelques éléments typiques en ferrociment. (Photo: K. Mukerji)



Composition du mortier

- Le mortier, qui constitue environ 95 % du matériau, est composé de ciment portland, de sable et d'eau, ainsi que d'adjuvants pour certaines applications particulières.
- Généralement, le *ciment* standard le plus facile à se procurer localement convient, pour autant qu'il soit frais, de consistance uniforme, sans motte durcie et sans corps étranger. Dans le cas d'applications spéciales, il peut être nécessaire d'utiliser un ciment spécial (p. ex. ciment résistant aux sulfates, pour des éléments en contact avec de l'eau de mer).
- Seul du sable propre et inerte peut être utilisé (absence de matières organiques, de substances nocives et contenant le moins possible de limon et d'argile). La dimension des plus gros grains doit être inférieure à 2 mm et une granulométrie équilibrée est souhaitable, pour obtenir un mortier dense et de bonne consistance. Des sables légers (p. ex. cendres volcaniques, ponces, plastiques inertes résistants aux alcalis) peuvent aussi être employés, s'il n'est pas indispensable d'atteindre des résistances élevées.
- L'eau potable convient le mieux (pas de matières organiques, d'huiles, de chlorures, d'acides ou d'autres impuretés). L'eau de mer est proscrite.
- Des *adjuvants* peuvent être utilisés: pour diminuer la quantité d'eau nécessaire, ce qui permet d'augmenter la résistance et de diminuer la perméabilité (adjonction de «super plastifiants»); pour produire des éléments imperméables; pour augmenter la durabilité (p. ex. addition jusqu'à 30 % de cendres volantes); pour réduire la réaction entre le mortier et les armatures galvanisées (addition de trioxyde de

chrome en quantité d'environ 300 parts par million en poids du mortier).

- Les *proportions recommandées pour le mélange* sont: rapport sable / ciment de 1,5 à 2,5 et rapport eau / ciment de 0,35 à 0,5 (quantités déterminées en poids). Pour des éléments devant être imperméables (éléments immergés ou devant retenir des liquides), le rapport eau / ciment doit être inférieur à 0,4. *Le Choix et le dosage des constituants doivent être effectués avec énormément de soin*, en ayant pour souci de diminuer la quantité d'eau du mélange, parce qu'un excès en eau fragilise le ferrociment.

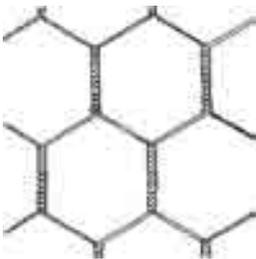
Armatures

- Différentes sortes de treillis peuvent être utilisés comme armature (mailles de 6 à 25 mm). L'exigence principale est la flexibilité. Le treillis doit être propre, exempt de poussières, de graisse, de peinture, d'écaillés de rouille et d'autres substances nuisibles.
- Galvanisation et soudures réduisent la résistance à la traction. Un enduit au zinc peut réagir avec le milieu basique pour produire des bulles d'hydrogène sur le treillis. Ce phénomène peut être évité en ajoutant du trioxyde de chrome au mortier.
- Le volume de l'armature est de 4 à 8 % dans les deux directions (c.-à-d. entre 300 et 600 kg/m³). Cela correspond à une surface spécifique de l'armature de 2 à 4 cm²/cm³, dans les deux directions.
- Le *treillis à mailles hexagonales*, communément appelé treillis de poulailler, est le moins cher, le plus facile à employer et il est disponible presque partout. Il est très flexible et peut être utilisé en section très mince, mais il n'est pas aussi résistant que

le treillis à mailles carrées, car les mailles ne sont pas orientées dans le sens des contraintes principales (maximales).

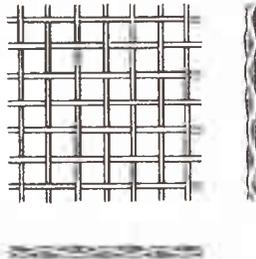
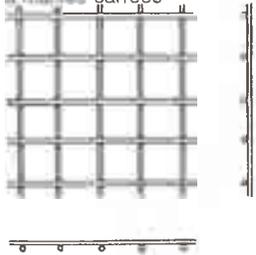
- Le treillis soudé à mailles carrées est plus rigide que le treillis de poulailler. Il permet d'obtenir une meilleure résistance à la fissuration. En cas de mauvaises soudures l'élément en ferrociment comporte des points faibles.
- Les caractéristiques du treillis tressé à mailles carrées sont similaires à celles du treillis soudé, (il est légèrement plus flexible et plus facile à employer). La plupart des concepteurs recommandent du treillis tressé à mailles carrées avec des fils métalliques de 1 mm (19 gauge) ou 1,6 mm (16 gauge) de diamètre, espacés de 13 mm (0,5 in).

- Le grillage en métal déployé (produit en étirant une tôle fine perpendiculairement à la direction de fentes préalablement réalisées sur toute la surface de la tôle) a à peu près la même résistance que du treillis soudé. Il est cependant plus raide et résiste donc mieux aux chocs et à la fissuration. Il ne peut pas être employé pour fabriquer des éléments à forte courbure.
- Une ossature en acier supporte généralement les treillis et détermine la forme de la structure en ferrociment. Il peut s'agir de fils métalliques lisses ou à empreintes, de diamètre aussi fin que possible (généralement pas plus de 5 mm) de manière à obtenir une armature homogène (même taux de contrainte). Une variante consiste à utiliser des cadres en bois ou en bambou pour l'ossature, mais le succès de cette pratique reste encore mitigé.



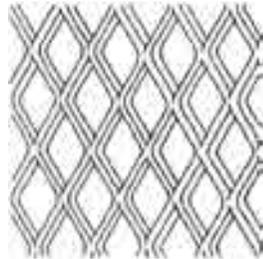
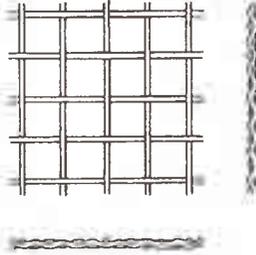
Treillis métallique à mailles hexagonales

Treillis métallique soudé à mailles carrées



Treillis métallique tressé à mailles carrées

Treillis tressé (fils ondulés)



Grillage en métal déployé

Grillage simple torsion



- Des *fibres* (fibres métalliques ou autres matériaux fibreux) peuvent être ajoutées au mortier pour limiter la fissuration et augmenter la résistance aux chocs.

Méthode de mise en oeuvre

- La première opération consiste à préparer l'ossature, sur laquelle le treillis métallique sera fixé avec du fil de fer mou (ou dans certains cas soudé). Selon la conception, l'armature est constituée au minimum de 2 couches de treillis et ce nombre peut aller jusqu'à 12, avec une densité maximum de 5 couches par cm d'épaisseur.
- Sable, ciment et adjuvants sont soigneusement dosés par pesage, mélangés secs et ensuite avec de l'eau. Un mélange manuel est généralement suffisant, mais un malaxage mécanique donne des mélanges plus uniformes, épargne de la fatigue et du temps. Le mortier doit être plastique, mais le plus sec possible, pour obtenir une résistance finale élevée, mais aussi pour qu'il reste en place et durcisse selon la forme donnée.
- Après vérification de la stabilité de l'ossature et des treillis d'armature, le mortier est appliqué à la main ou avec une truelle et enfoncé dans les couches de treillis, sans laisser de vide. Pour réaliser la mise en oeuvre en une seule opération (bourrage de masse et finition des deux faces terminés avant le démarrage de la prise), il est nécessaire de travailler à deux, chacun de son propre côté.
- Des éléments épais peuvent être réalisés en deux phases (première phase: bourrage et lissage de l'élément sur la moitié de son épaisseur et cure de 2 semaines; deuxième phase: réalisation de la demi-épaisseur restante).
- Le mortier est compacté à l'aide d'une truelle ou d'un morceau de bois plat.
- Il faut prendre des précautions pour éviter que l'armature apparaisse en surface. Le recouvrement minimum par le mortier est de 1,5 cm.
- Chaque étape d'application du mortier doit être conduite sans interruption, préférablement par temps sec ou alors sous abri, et en se protégeant du soleil et du vent. Tout comme le béton, le ferrociment doit suivre une cure humide d'au moins 14 jours.

Applications

- Construction de bateaux (une des utilisations qui a le plus de succès, spécialement en Chine).
- Protection de remblais, canaux d'irrigation, systèmes de drainage.
- Silos (aériens ou souterrains) pour le stockage du grain ou d'autres denrées alimentaires.
- Réservoir pour le stockage d'eau (jusque 150 m³).
- Fosses septiques, piscines privées, et même des modules avec douches et toilettes.
- Tuyaux, gouttières, cabinet, cuve à lessive et autres.
- Murs, éléments de couvertures et autres éléments de construction, bâtiments complets, réalisés soit in situ, soit en éléments préfabriqués.
- Mobilier tel que placards, tables et lits, etc., et divers articles pour plaine de jeu.



Quelques applications du ferrociment



Mobilier, équipements sanitaires, éléments de couverture, au Structural Engineering Research Centre, de Madras en Inde.

Dalle de latrines, cuve à lessive, chasse de WC et réservoir d'eau (réalisé avec 5 éléments carrés assemblés sur site) au Housing & Building Research Institute, de Dhaka au Bangladesh.

(Photos: K. Mukerji)



Avantages

- La disponibilité des matériaux entrant dans la fabrication du ferrociment ne pose pas de problème dans la plupart des pays.
- Il peut prendre presque toutes les formes et peut s'adapter à presque toutes les conceptions traditionnelles.
- Là où le bois est rare et cher, le ferrociment est un substitut utile.
- Des points de vue de l'environnement et du confort thermique, des éléments de couverture en ferrociment sont plus performants que des tôles en acier galvanisé ou en asbeste ciment.
- La production d'éléments en ferrociment ne requiert pas d'équipements spéciaux, il s'agit d'une activité à haute intensité de main d'oeuvre et elle est facile à apprendre par des travailleurs non qualifiés.
- Comparé au BA, le ferrociment est plus économique, il ne nécessite pas de coffrage, il est plus léger et la surface spécifique de l'armature est 10 fois plus élevée, ce qui lui confère une meilleure résistance à la fissuration.
- Le ferrociment n'est pas attaqué par les agents biologiques tels qu'insectes, vermine et champignons.

Problèmes

- Le ferrociment est un matériau relativement récent et ses performances à long terme ne sont pas encore suffisamment connues.
- Alors que le travail manuel pour la production d'éléments en ferrociment ne requiert pas de qualification spécifique, la conception de l'ossature, le dimensionnement de l'armature et la détermination du type et

des proportions correctes des constituants, requièrent des connaissances et une expérience considérables.

- Au contact du mortier, les treillis galvanisés peuvent dégager du gaz, ce qui réduit l'adhésion mortier-armature.
- L'utilisation excessive du ferrociment dans la construction peut créer des conditions de vie malsaine. En effet, il est possible que la proportion élevée d'armatures crée des champs électromagnétiques néfastes.

Remèdes

- Etude du comportement d'anciennes réalisations en ferrociment.
- Développement de recommandations simplifiées et de méthodes empiriques pouvant être appliquées sans connaissances techniques spécialisées.
- Immersion des treillis galvanisés pendant 24 h dans de l'eau, suivie d'un séchage de 12 h à l'air, pour permettre aux sels utilisés pendant le processus de galvanisation de revenir en surface. Les dépôts sont alors éliminés par brossage.
- Les problèmes causés par l'emploi de treillis galvanisés peuvent être réduits en ajoutant du trioxyde de chrome à l'eau de malaxage.
- Éviter de réaliser des unités d'habitation dont toute l'enveloppe (c.-à-d. plancher, murs et toiture) est en ferrociment.

LE FIBROMORTIER ET LE MICROBÉTON

Généralités

Le fibromortier (FM) est composé de sable, de ciment, de fibres et d'eau. Dans le cas du microbéton (MB), les fibres sont remplacées par du granulat de petit calibre. L'apparition de ce matériau de construction dans le domaine de la construction économique est très récente. Malgré cela, la technologie relative à ces matériaux est au point, grâce à d'intensives recherches et de nombreuses expérimentations conduites dans le monde entier.

Les variétés et les caractéristiques des bétons de fibres sont très diverses. Elles dépendent du type et de la quantité de fibres, du type et de la quantité de ciment, de sable et d'eau. Le malaxage, le type de mise en oeuvre, la cure, les soins entourant la production et la supervision et des contrôles de qualité influencent aussi le résultat final.

Jusqu'à tout récemment, le béton de fibre le plus connu était l'asbeste ciment (ac), lequel fut inventé en 1899. Les dangers associés à l'exploitation et au travail de l'asbeste (cancer du poumon) ont conduit au remplacement de ce matériau par un mélange d'autres fibres (cocktail de fibres) dans la plupart des pays.

Depuis 1960, des bétons armés de fibres métalliques, de fibres de verre, de fibres de polypropylène et autres fibres synthétiques ont été développés et ils font encore l'objet de recherches. De tels bétons peuvent cependant être considérés comme inadaptés aux pays en développement, vu le prix de ces fibres et leur disponibilité limitée. Dans cette partie ne seront donc traités que les bétons armés de fibres naturelles.

Vu la grande diversité des ressources disponibles localement, une très grande variété de fibres naturelles a été testée. Il s'agit essentiellement de fibres organiques, le seul exemple pratique de fibres inorganiques na-

turelles étant la fibre d'asbeste. Les fibres organiques proviennent soit du monde végétal (fibres à base de cellulose), soit du monde animal (fibres à base de protéines).

Les fibres végétales peuvent être divisées en 4 groupes:

- Liber ou fibres de tige (p. ex. jute, lin, cannabis, chanvre de Madras)
- Fibres de feuilles (p. ex. sisal, tampico, abaca)
- Fibres de fruit (coir)
- Fibres de bois (p. ex. bambou, chaume, bagasse)

Les fibres animales (poils, laine, soie, etc.) sont moins recommandées, si elles ne sont pas parfaitement propres. La graisse, p. ex., affaiblit les liaisons entre fibres et mortier.

Le FM et du MB permettent la fabrication d'une grande variété de matériaux de construction. Cependant l'application la plus répandue est la fabrication de tuiles (romanes ou flamandes) pour la couverture de toitures. Après quelques années de réalisations expérimentales, des applications à grande échelle ont été lancées dans plusieurs pays, vers fin 1970, dans des projets de construction d'habitats économiques. Les résultats de ces applications de terrain furent très divers, allant de «réussite complète» à «désastre total» (toit non étanche, bris de tuiles, etc.), d'où des controverses et des interrogations sur la viabilité de cette nouvelle technologie.

Cette situation amena le SKAT (Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management) à entreprendre, avec plusieurs experts internationaux, une évaluation systématique des expériences de production, dans 19 pays en développement. Cette évaluation aboutit, en 1986, à une publication



de synthèse «FCR- Fibre Concrete Roofing» faisant le point de la situation (Bibl. 11.08). Les principales conclusions de cette étude furent:

- La plupart des défaillances sont dues à un transfert de savoir-faire insuffisant, à une formation professionnelle inappropriée, conduisant à des contrôles de qualité insuffisants.
- Le niveau actuel des connaissances est suffisamment développé pour garantir la réalisation de couvertures de bonne qualité et durables (durée de vie min. 10 ans ou plus).
- Le m² de plaques ou de tuiles en FM peut être produit à un prix de 2 à 4 US\$ (4 à 8 US\$ si on inclut la charpente). C'est plus économique que d'autres types de couverture comparables, mais cet avantage peut être inutile, si une normalisation minimale de la production et de la pose n'est pas appliquée.
- Dans le cas des TFM (Tuiles en Fibromortier), les fibres permettent d'améliorer la consistance du mortier humide pendant la production, de limiter le retrait pendant le durcissement, et d'augmenter la résistance initiale, pour faciliter les manipulations jusqu'à la pose en toiture. Au bout de quelques mois ou de quelques années, les fibres sont détruites par le ph basique du ciment portland ordinaire. La pose et le traitement des TFM requièrent les mêmes soins que des matériaux en argile cuite ou en béton non armé.
- Les principaux avantages de cette technologie sont: production de matériaux de couverture moins chers et plus performants des points de vue thermique, acoustique et esthétique, que les tôles ondulées galvanisées (tog); production lo-

cale possible et d'envergure modulable (généralement production de petite et moyenne importance); investissement relativement limité; création d'emplois. Absence de tout risque pour la santé en comparaison avec la technologie faisant appel aux fibres d'asbeste.

L'étude entreprise par le SKAT a aussi mis en évidence la nécessité d'un programme de suivi, pour appuyer et conseiller des entrepreneurs potentiels, de même que ceux déjà installés et les utilisateurs de TFM. Ainsi, en collaboration avec ITDG, le GATE et d'autres organisations en TA, le RAS (Service-Conseil sur les Toitures) fut créé en 1987 au SKAT, à St. Gallen. Le RAS publie des manuels, des périodiques et sert de point de rencontre ouvert pour l'information et l'assistance technique relatives à tous les aspects touchant aux couvertures en TFM et tuiles en MB (TMB aussi appelées TVM: tuiles en vibromortier).

Quelques points importants sont exposés ci-après, pour expliquer (sans entrer dans les détails) les rôles joués par les matériaux constitutifs:

Fibres

- Les fibres ont principalement pour rôle d'améliorer la résistance à la traction des produits finis et de limiter la fissuration. Alors que les fibres en acier et en asbeste maintiennent ces fonctions pendant plusieurs années, les fibres naturelles ne les maintiennent que pendant une période relativement courte (parfois moins d'une année). La raison en est le ph basique du ciment qui les détruit (effet particulièrement marqué sous climats chauds et humides).
- Pour de nombreuses applications (p. ex. matériaux de couverture) cette baisse de la résistance n'est pas forcément un inconvénient. Les fibres améliorent le comporte-

ment du mortier humide et luttent contre le développement de la fissuration, pendant la mise en forme des produits et pendant leur durcissement. Elles donnent aussi aux produits une résistance suffisante pour qu'ils puissent être transportés, manipulés et posés en toute sécurité.

- Lorsque les fibres ont perdu leur résistance, le matériau est assimilable à un mortier non renforcé. Celui-ci ayant atteint à ce moment sa pleine résistance et le développement de la fissuration ayant été limité au départ, ce mortier peut être plus solide qu'un mortier classique non renforcé.
- Le MB permet d'atteindre une résistance finale semblable à celle du FM, mais les manipulations en cours de fabrication, de même que le transport doivent faire l'objet de plus d'attentions, car la résistance initiale est plus faible.
- La teneur en fibres est généralement de 1 à 2 % en poids (jamais en volume, car la densité des fibres peut fortement varier).
- Les fibres peuvent être longues ou courtes (fibres hachées), les 2 filières de production existent, elles ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients.
- De longues fibres correctement alignées confèrent une résistance aux impacts plus élevée et la liaison au mortier est meilleure. La mise en place des fibres en plusieurs couches, de sorte que chaque fibre soit noyée dans le mortier, est relativement compliquée, ce qui fait que cette méthode est rarement pratiquée.
- Les fibres courtes (fibres hachées) sont mélangées au mortier, qui forme alors une masse homogène facile à travailler. Etant distribuées de façon uniforme, elles améliorent la résistance à la fissuration dans

toutes les directions. La longueur et la quantité de fibres sont des paramètres importants. Des fibres trop longues et en quantité trop importante conduisent à la formation de nids et de boules, tandis que l'inverse ne permet pas de contrôler le développement de la fissuration.

- Des fibres extrêmement lisses et uniformes (p. ex. certaines variétés de polypropylène), qui se laissent facilement extraire, sont inefficaces. Si par contre la liaison mortier-fibre est forte, lorsque la capacité de résistance de la fibre est dépassée, on assiste à une rupture soudaine de type fragile.
- La découverte de méthodes permettant d'éviter l'affaiblissement et la décomposition des fibres naturelles, ouvrirait l'utilisation du béton renforcé de fibres naturelles à une large gamme d'applications semi-structurelle (p.ex. poutres creuses, marche d'escalier, etc.). Cela explique les programmes de recherche intensive qui sont conduits de nos jours, sur le thème de la durabilité des fibres naturelles (voir BIBLIOGRAPHIE).
- La décomposition des fibres naturelles est causée par le pH basique de l'eau présente dans les pores du mortier. On tente donc de réduire cette alcalinité. Ce résultat peut être atteint en utilisant des ciments alumineux ou en substituant jusqu'à 50 % de la quantité de ciment portland par un matériau au caractère pouzzolanique marqué (p. ex. cendre de balle de riz ou laitier granulé de haut fourneau). Des poussières ultra fines de silice (sous-produit des industries du ferrosilicone et du silicium) donnent encore de meilleurs résultats, mais ce matériau pouzzolanique n'est pas disponible dans la plupart des pays en développement.



- Différentes méthodes, ayant pour but de fermer les pores du mortier, ont été testées (p.ex. proportion élevée de fines, faible rapport eau / ciment etc.). Des résultats intéressants ont été obtenus en ajoutant de petites billes de cire au mortier frais. Quand le béton durci est chauffé (p.ex. par le soleil), la cire fond et remplit les pores, réduisant l'absorption d'eau, laquelle intervient dans le processus de décomposition des fibres.
- Il est vital que les fibres soient propres. Les graisses diminuent l'efficacité des liaisons fibres-mortier et le sucre (sur des fibres de bagasse) retarde la prise du ciment.

Ciment

- Les premiers échantillons fabriqués contenaient une proportion élevée de ciment (2 parts de ciment : 1 part de sable), c'est pourquoi le matériau avait reçu l'appellation de «ciment de fibres». La nouvelle génération de produits compactés mécaniquement et renforcés de fibres contient seulement 1 part de ciment pour 1 à 2 parts de sable (selon la qualité du ciment) d'où le nom plus approprié de «mortier de fibres».
- Pour le MB une proportion de 1 part de ciment pour 2 parts de sable et 1 part d'agrégat convient habituellement.
- La proportion de ciment doit être augmentée si la granulométrie du sable n'est pas correcte et si le compactage n'est pas réalisé par une machine vibrante. Pour un compactage manuel par frappe, les proportions deviennent: 1 part de ciment pour 1 part de sable.
- Le ciment portland ordinaire de qualité standard, disponible presque partout,

convient habituellement. L'utilisation de ciment à durcissement lent devrait être évitée pour la production d'éléments de couverture, car cela retarde le démoulage (d'où plus de moules et espace de stockage plus étendu).

- Pour des applications où il est essentiel d'améliorer la durabilité des fibres et pour lesquelles un durcissement lent ne pose pas de problèmes, le ciment peut être partiellement remplacé par un matériau pouzzolanique (p. ex. cendre de balle de riz). Les propriétés du ciment, des matériaux pouzzolaniques et des fibres n'étant pas fixes, la proportion de ciment à remplacer est déterminée par des tests de laboratoire.

Sable et gravier

- Des particules de sable de forme angulaire et une distribution granulométrique équilibrée permettent de réduire la porosité. Les petites particules s'intercalant entre les plus grosses, la quantité de ciment peut être réduite et le produit obtenu est peu perméable.
- Pour les produits en FM, la granulométrie du sable doit s'inscrire entre 0.06 et 2.0 mm.
- Pour les produits en MB, la proportion de gravier varie de 25 à 50 %. La dimension des plus gros grains ne devrait pas excéder les deux tiers de l'épaisseur du produit fini.
- Sable et gravier doivent être d'origine siliceuse ou avoir des caractéristiques similaires. Sont à exclure, sables et graviers contenant des minéraux pouvant réagir chimiquement avec le ciment.

- La quantité de fines (limon et argile) devrait être aussi réduite que possible, car les fines interfèrent dans la liaison sable-ciment.
- La proportion correcte de sable doit être déterminée par des productions tests. Si les produits sont poreux et cassants, il y a trop de sable. Trop de ciment conduit à des produits chers qui ont tendance à se fissurer pendant le durcissement.

Eau

- Dans le cas du BA, il est recommandé d'utiliser de l'eau propre lors du malaxage, pour éviter la corrosion des armatures en acier. Dans le cas de mortiers de fibres,

des impuretés, telles que les sels, n'affectent pas nécessairement les fibres, et des résultats satisfaisants ont déjà été obtenus en utilisant de l'eau saumâtre. Il est malgré tout toujours recommandé d'employer l'eau, la plus propre possible.

- Un rapport eau /ciment bien ajusté est vital pour garantir la qualité du produit fini. La tendance est au surdosage de l'eau, parce que cela rend le mortier plus facile à travailler. Par la suite, l'eau en excès s'évapore progressivement, laissant des pores qui affaiblissent le produit et augmente sa perméabilité. Le rapport eau / ciment adéquat varie de 0.5 à 0.65 (en poids).



Presse hydraulique et moule mobile, pour la production de plaques de couverture ondulées en ciment de fibres (fibres de coco ou laine de bois). Selon cette méthode, développée au Central Building Research Institute de Roorkee en Inde, la compression est maintenue sur les plaques moulées pendant la prise du ciment (4 heures), ensuite démoulées, elles sont stockées en position verticale pour la cure (Photo: K. Mukerji).

!
C
I



In./cm



Adjuvants

- Des adjuvants peuvent être utilisés pour accélérer ou retarder la prise, ou pour améliorer l'ouvrabilité du mélange frais, mais ils sont souvent coûteux et difficiles à obtenir. Généralement, la production de produits en FM et en MB ne requiert pas d'additifs, sauf lorsque la durabilité des fibres doit être améliorée, ou lorsque l'imperméabilité est indispensable.
- Comme exposé ci-dessus (voir *Fibres*), la décomposition des fibres peut être retardée en réduisant l'alcalinité du produit fini. L'addition d'un matériau pouzzolanique approprié (p. ex. cendre de balle de riz, cendre volante ou granules de laitier de haut fourneau) permet d'atteindre un tel résultat.
- La réduction de la perméabilité du produit retarde aussi la décomposition des fibres. Une méthode intéressante (déjà abordée plus haut) consiste à ajouter de petites billes de cire au mélange frais. Lorsque le béton durci est chauffé (soleil), la cire fond et forme un film imperméable à l'intérieur et autour des vides (Bibl. 11.07).
- Divers agents imperméabilisants existent. Ils seront sélectionnés en fonction de leur disponibilité et de leur efficacité.
- Des pigments (poudres) ajoutés lors du malaxage ($\pm 10\%$ du volume de ciment pour la couleur rouge, mais beaucoup plus pour d'autres couleurs) permettent de modifier la couleur grise naturelle des produits en FM et en MB. Cependant, les pigments sont généralement plus chers que le ciment et leur emploi conduit à une augmentation significative du coût de production (Bibl. 11.15).

Applications

- Plaques ondulées et tuiles de couverture.
- Carreaux plats pour planchers et pavements.
- Panneaux muraux légers et éléments de plaquage.
- Enduit pour maçonnerie et murs en béton.
- Montants de portes et de fenêtres, appui de fenêtre, pare-soleil, tuyaux.
- Divers autres éléments non porteurs.

Avantages

- De nombreuses fibres naturelles bon marché peuvent être employées (y compris des sous-produits de l'agriculture).
- Correctement produits et mis en oeuvre, les produits en FM/MB peuvent être les plus économiques des matériaux durables fabriqués localement.
- La technologie peut s'adapter à des entreprises de toutes tailles (y compris entreprise d'une seule personne, dans le cas d'une production de tuiles à petite échelle).
- Le comportement thermique et acoustique des matériaux de couverture en FM/MB est supérieur à celui des tôles ondulées galvanisées.
- Le pH basique du mortier protège les fibres des champignons et bactéries.

Problèmes

- Dans beaucoup de pays en développement, la disponibilité limitée et/ou le prix élevé du ciment peuvent rendre la production de matériaux en FM/MB dénuée d'intérêt.

- Seuls des travailleurs correctement formés sont capables de produire des matériaux en FM/MB de bonne qualité. Ce travail requiert en effet des soins particuliers à tous les stades de la production et l'exécution de contrôles de qualité réguliers et complets. Sans ces précautions, les malfaçons sont très fréquentes.
- L'introduction de ce matériau relativement récent doit affronter des réactions de méfiance et de rejet, là où des expériences négatives ont eu lieu dans le passé, ou à cause du manque d'information des bénéficiaires potentiels.
- Manipulations, transports et installations non conformes peuvent fissurer ou casser les produits en FM/MB, les affaiblissant ou les rendant inutilisables avant qu'ils n'aient pu servir.

longueur des plaques de couverture ne devrait pas dépasser 1 m. Elles doivent être transportées en position verticale (p. ex dans un camion) et bien arrimées pour éviter la casse.

- Des couvertures en FM/MB doivent être traitées de la même façon que des couvertures en tuiles d'argile cuite. Des planches seront préalablement posées sur la couverture s'il est nécessaire de s'y déplacer.
- Plus il y a d'applications réussies dans un pays, mieux cette nouvelle technologie sera acceptée.

Remèdes

- Dans les régions où l'offre en ciment est insuffisante, la production locale et la distribution de ciment doivent faire l'objet d'attentions et de mesures de soutien spéciales. La viabilité de la technologie des matériaux en FM/MB est en effet liée à la disponibilité d'un ciment de bonne qualité, à prix stable.
- Le transfert de connaissances, sous la forme d'ateliers de formation et d'assistance technique dirigés par des praticiens expérimentés, doit accompagner le démarrage de tous projets de TFM/TVM (Informations disponibles chez RAS, au SKAT, à St Gallen).
- Les problèmes et dégradations dus aux manipulations, au transport et à la mise en oeuvre peuvent être réduits en diminuant la dimension des produits fabriqués. La



FIBRES NATURELLES, HERBES, FEUILLES

Généralités

Nombre de créatures vivantes construisent leurs abris avec des feuilles, de l'herbe et des fibres naturelles. Ces matériaux furent peut-être les premiers matériaux de construction utilisés par le genre humain, lorsque grottes et autres abris naturels n'étaient pas disponibles.

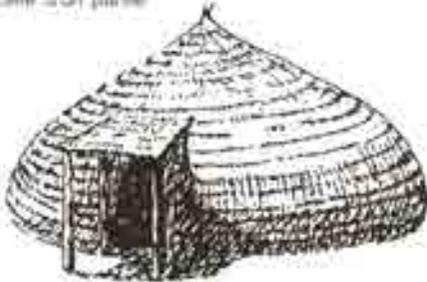
Ces matériaux sont disponibles presque partout en permanence (sauf dans des régions très arides). Dans certains endroits, ce sont les seuls matériaux de construction disponibles, tandis qu'ailleurs, ils sont associés à de nombreux autres matériaux.

Les traits communs de ces matériaux végétaux (composés de cellulose) sont: leur caractère renouvelable, leur faible résistance à la compression et aux impacts et leur durabilité limitée. Isolées, les fibres, les herbes et les feuilles sont généralement trop faibles pour supporter leur propre poids, mais, travaillées (tissées, nattées, liées ou compressées), elles servent à réaliser des éléments, porteurs ou non, très variés.

Maisons en chaume des Indiens Uru, Lac Titicaca, Pérou



Habitat Sidamo, Ethiopie: construction semblable à celle d'un panier



Mudhif (maison du visiteur) des Ma'dan (Marais Arabes) en Irak: ossature et échafaudages en roseaux géants liés; habillage en nattes de roseaux



Exemples de constructions traditionnelles construites avec des herbes et des feuilles (Bibl.23.17).

! C I

⚙️

in./cm

✉️

📖

✂️

📄?

🏠

🏠

🏠

🏠

🏠

🏠

+



Applications

- Fibres naturelles: (Telles que sisal, cannabis, herbe d'éléphant, fibres de coco) renforcement des constructions en terre ou en mortier de fibres; autres éléments composites (p. ex. panneaux de fibres).
- Fibres naturelles travaillées: cordes pour lier des éléments de construction entre eux ou pour fabriquer des tirants, spécialement dans la construction de toiture.
- Pailles: chaume pour la couverture de toit; panneaux de particules. Un procédé industriel permet de fabriquer (chauffage et pression) des panneaux de pailles compressées (Stramit), sans liant, mais avec du papier sur les deux faces.
- Roseaux: mis en bottes ou liés pour former des panneaux; fendus et tressés en nattes; applications diverses (colonnes, poutres, parement de mur, pare-soleil, matériau de couverture, support pour constructions en clayonnage).
- Feuilles (principalement de palmier): couverture de toitures, nattes et panneaux tressés pour planchers, murs et toits.



*Fabrication de tuiles en feuilles de Raphia et couverture terminée, Ghana
(Photos: H. Schreckenbach, Bibl. 00.43)*

Avantages

- Matériaux généralement disponibles localement en abondance, économiques (voire gratuits), rapidement renouvelables (ils poussent aussi dans la concession).
- Techniques traditionnelles (dans la plupart des cas), facilement comprises et mises en oeuvre par les populations locales.
- Des couvertures correctement exécutées avec des matériaux végétaux sont parfaitement étanches et ont un bon comportement thermique et acoustique.



Fixation de feuilles de palmier en toiture (vue de dessous), Brésil, (Photo: K. Mathéy)

- Les constructions en roseaux ont une bonne résistance à la traction, un rapport résistance / poids élevé, et conviennent donc bien aux régions sismiques. En cas d'effondrement, leur faible poids engendre moins de dégâts corporels et matériels que la plupart des autres matériaux.
- Des panneaux en pailles compressées ont une bonne stabilité dimensionnelle, ils sont résistants aux impacts et au fendage, ils sont difficilement inflammables et secs, ils ne sont pas attaqués par les agents biologiques. Ces panneaux s'utilisent comme des panneaux en bois.



Couverture typique en feuilles de cocotier, sur une maison à ossature en bambou, avec des murs habillés de bambou, Trivandrum, Inde (Photo: K. Mukerji)

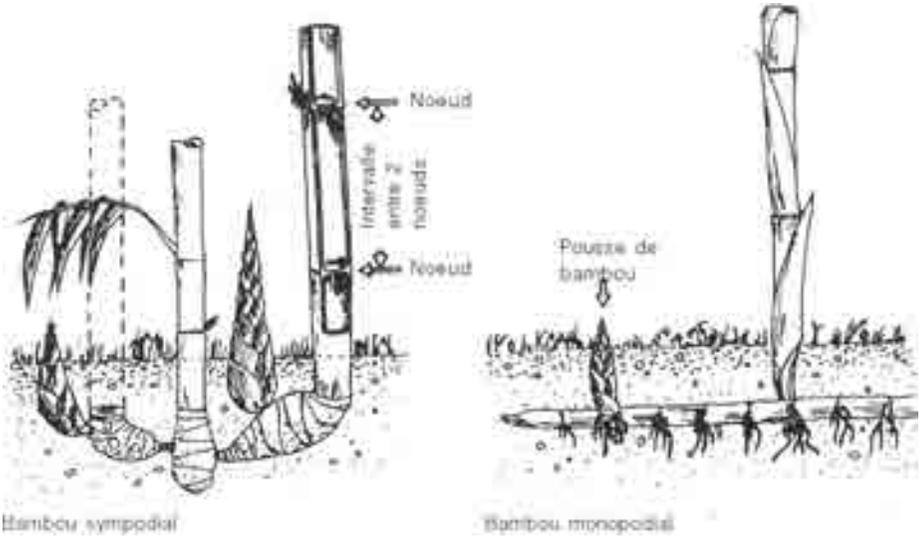


Problèmes

- Dans la plupart des cas, l'espérance de vie est limitée (2 à 5 ans). Il est cependant possible d'atteindre des durées de vie de 50 ans et plus (cas de toiture en chaume avec du roseau), si la mise en oeuvre et l'entretien ont été correctement exécutés.
- Vulnérabilité aux agressions biologiques. Ces matériaux attirent insectes, rongeurs et oiseaux qui peuvent y établir domicile. En cas d'humidité, champignons et décomposition peuvent apparaître.
- Risques d'incendie (origine interne ou braises apportées par le vent).
- Tendance à l'absorption d'humidité avec pour conséquence un alourdissement, une accélération de la détérioration, et l'apparition d'un climat intérieur malsain.
- Faible résistance aux ouragans
- Déformation et dégradation progressive due à des impacts, aux sollicitations et aux fluctuations de température et d'humidité.
- Faible considération sociale, car ces matériaux sont associés à un habitat pauvre.
- Larges débordements de toiture, afin de protéger les surfaces exposées et pente minimale de 45° pour évacuation rapide de l'eau de pluie.
- L'application d'un enduit de terre stabilisée sur la surface extérieure d'une toiture en chaume réduit les risques d'incendie. Le chaume recouvert est protégé des braises apportées par le vent et la circulation d'air au travers de la couverture est entravée.
- Les agressions biologiques sont évitées en maintenant les éléments au sec et en leur assurant une bonne ventilation. La production de fumée à l'intérieur d'un bâtiment prévient le développement de moisissures et l'incrustation d'insectes. Cette pratique est répandue dans beaucoup de constructions traditionnelles.

Remèdes

- Imprégnation contre les facteurs d'agression biologiques et le feu, soit en prétraitement, soit en application de surface (mêmes procédures que pour la préservation du bambou ou du bois). Attention: l'opération coûte cher et les produits peuvent être emportés par l'eau de pluie, contaminant les abords du bâtiment, ainsi que l'eau collectée de la toiture. Le traitement contre le feu peut favoriser le développement de moisissures et conduire à une rapide détérioration.



La tige du bambou est cylindrique et creuse. Sa paroi extérieure, fibreuse et ligneuse, est interrompue par des noeuds (fines et solides parois transversales) qui confèrent au bambou sa solidité. Les branches et les feuilles se développent à partir de ces noeuds.

Récolte et préservation

- Le bambou non traité se détériore en 2, 3 ans. Correctement récolté et traité, son espérance de vie est environ quadruplée.
- Les tiges arrivées à maturité (5 à 6 ans) sont plus durables que les jeunes tiges.
- Le bambou doit être récolté par faible humidité (saison sèche dans les tropiques et automne ou hiver dans les régions plus froides), car humide, il est plus facilement attaqué par les champignons et insectes.

- Les tiges sont coupées 15 à 30 cm au dessus du niveau du sol, immédiatement au dessus d'un noeud. Cette façon de procéder évite l'accumulation d'eau dans le morceau de tige restant, laquelle pourrait entraîner la destruction des rhizomes.
- Les tiges complètes (avec branches et feuilles) fraîchement coupées sont laissées étendues au sol pendant quelques jours (éviter le contact de la section coupée avec le sol). Cela permet aux feuilles de transpirer et de réduire la teneur en amidon de la tige. Cette opération diminue l'attrait des tiges pour les coléoptères, mais pas pour les termites, ni pour les champignons.
- En matière de traitements préventifs du bambou, la priorité devrait être donnée aux méthodes qui n'impliquent pas l'emploi de produits chimiques.

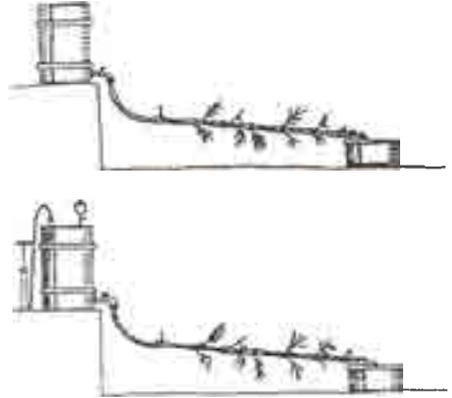
- Le fumage consiste à empiler les tiges de bambou au-dessus d'un feu ou dans des chambres spéciales. Il détruit l'amidon et rend la paroi extérieure des tiges peu appétissante pour les insectes. Ce procédé peut cependant provoquer la fissuration des tiges, ce qui facilite l'attaque des insectes.
- L'immersion des tiges dans des bacs d'eau (4 à 12 semaines) élimine l'amidon et le sucre, lesquels attirent les coléoptères. De grosses pierres maintiennent les tiges sous eau.
- Application d'un lait de chaux, ou d'un enduit de bouse de vache, de créosote (produit de la distillation du goudron de houille) ou de borax (pas en intérieur à cause de l'odeur très forte).
- Ce sont principalement des produits chimiques qui permettent d'obtenir une protection efficace contre les termites, la plupart des champignons et le feu. D'importantes précautions doivent accompagner le choix d'un produit chimique de préservation, de la procédure de traitement et des mesures de sécurité à mettre en oeuvre. *Dans la plupart des pays industrialisés, certains produits de traitement très toxiques ont été interdits, mais des marchands, des institutions gouvernementales de pays en développement et même de récentes publications recommandent encore leur utilisation. Sans une parfaite connaissance de leur composition, les produits chimiques de préservation ne doivent pas être employés. L'utilisation de produits chimiques contenant du DDT (dichloro-diphényl-trichloroéthane), du PCP (pentachlorophénol) et du Lindane (gamma-hexachloro-cyclohexane), ainsi que de l'arsenic DOIT RÉSOLUMENT ÊTRE ÉVITÉE.*
- Des recherches sur des produits de traitement non toxiques sont encore en cours, et une information précise sur la toxicité des produits chimiques recommandés et habituellement disponibles, n'est pas encore accessible. Il semble cependant que la mise en oeuvre de traitements contenant les produits suivants, ne présente pas de danger: borax, soude, potasse, goudron végétal, cire d'abeilles et huile de lin. Leur résistance aux agressions biologiques est inférieure à celle des produits chimiques toxiques mentionnés plus haut. Cependant leur utilisation peut être aussi efficace si elle est conjuguée à une conception appropriée du bâtiment (exclusion de l'humidité, bonne ventilation, accessibilité pour une inspection et un entretien régulier, pas de contact avec le sol, etc.). Plusieurs méthodes de traitement chimique existent.
- Brossage et pulvérisation des colonnes (effet temporaire car faible pénétration des produits de préservation).



Fumage



- Immersion des extrémités des tiges de bambou, fraîchement coupées et possédant encore leurs feuilles, dans une solution de préservation. La solution est aspirée dans les vaisseaux capillaires par la transpiration des feuilles. Cette méthode (appelée «trempage») n'est efficace que pour des tiges de courte longueur, car la solution n'atteindrait pas le sommet de longues tiges.
- Immersion complète du bambou vert pendant 5 semaines environ, dans des bacs



*Maisons surélevées en bambou,
Dhaka, Bangladesh*



*Echafaudages en bambou,
Dhaka, Bangladesh*

(Photos: K. Mathéy)

ouverts contenant une solution de préservation. En rayant les tiges en surface ou en les fendant, l'imprégnation est plus rapide et une alternance de bains chauds et froids peut encore augmenter la rapidité et l'efficacité du procédé.

- Remplacer la sève par un produit de préservation, en le faisant s'écouler lentement d'une extrémité à l'autre de la tige (la sève s'écoule à l'extrémité basse). Le produit de préservation peut être collecté et réutilisé. Ce procédé (appelé méthode «Boucharie») dure 5 jours, mais cette durée peut être réduite à quelques heures si le produit de préservation est mis sous pression.

Applications

- Colonnes d'une seule pièce: piquets de fondation (faible durabilité), ossatures de bâtiments, poutres, charpente, ossature de coque, escaliers, échelles, échafaudages, ponts, tuyaux, clôtures, mobilier, instruments de musique.
- Demi tiges: pannes, tuiles, gouttières; matériaux pour planchers, murs, armatures pour le béton (béton armé de bambou), structures spatiales courbes.
- Lattes de bambou: panneaux tressés ou nattés, écrans décoratifs, armatures pour le béton, structures spatiales courbes, clôtures, mobilier.
- Panneaux de bambou (tiges de bambou fendues et aplaties): planchers, murs, plafonds, portes et fenêtres.
- Fibres et fragments de bambou: panneaux de fibres et de particules et béton de fibres.

Avantages

- Le bambou est disponible en abondance, il est économique et repousse vite après la coupe. L'exploitation du bambou ne détruit pas l'environnement, elle ne conduit pas aux conséquences dramatiques liées à l'utilisation excessive du bois. La production annuelle (en poids) peut atteindre 25 fois celle d'une forêt d'arbres de la même superficie, plantée d'essences pour la construction. Le bambou peut aussi pousser dans la concession.
- La simple manutention manuelle et des outils traditionnels permettent de procéder à l'abattage, au traitement, au transport, ainsi qu'au stockage et à la mise en oeuvre du bambou.
- L'utilisation du bambou n'engendre pas de déchets. Toutes les parties sont utilisées, ainsi les feuilles servent à la couverture des toits ou de nourriture des animaux.
- La surface arrondie et lisse des tiges ne requiert pas de finition.
- Le rapport résistance à la traction / poids du bambou est élevé et en fait un matériau idéal pour la construction d'ossatures ou de charpentes. Avec une conception appropriée et le savoir-faire requis, le bambou peut être utilisé pour construire des bâtiments entiers.
- Sous les climats chauds, les conditions de vie sont confortables dans des maisons en bambou.
- Vu leur faible poids et leur flexibilité, des constructions en bambou résistent à de violents tremblements de terre, et si elles s'écroulent les dommages causés sont moindres que ceux causés par les autres



matériaux de construction. La reconstruction est possible dans de brefs délais et à faible coût.

Problèmes

- La durabilité du bambou est relativement faible (particulièrement en présence d'humidité), il est sujet aux agressions des insectes et champignons.
 - Le bambou est facilement inflammable.
 - Sa faible résistance à la compression et aux impacts limitent ses applications. De mauvaises manipulations, le manque de qualification et une conception inappropriée peuvent conduire à la fissuration ou au fendage des tiges, ce qui les affaiblit et les rend plus vulnérables à l'attaque des insectes et champignons. Les clous provoquent aussi le fendage des tiges.
 - Les distances irrégulières entre les noeuds, la forme ronde et la légère conicité des tiges, font qu'il est impossible de construire des éléments étanches, de sorte que le bambou ne peut remplacer le bois pour un certain nombre d'applications.
 - Le travail du bambou use plus rapidement les outils que le travail du bois.
 - Les traitements de préservation du bambou ne sont pas assez connus (particulièrement la forte toxicité de certains produits chimiques, malgré tout recommandés par des marchands et des agents des services publics).
- ## Remèdes
- Certaines espèces de bambou sont naturellement résistantes aux attaques d'origine biologique, leur culture et leur utilisation devraient donc être encouragées.
 - Les tiges utilisées doivent être arrivées à maturité, correctement traitées (voir *Récolte et préservation*) et leur stockage ne doit pas s'éterniser (en tout cas pas de contact avec le sol). Elles doivent être manipulées avec précaution pour éviter le fendage et les détériorations de la paroi extérieure. Enfin, elles doivent être mises en oeuvre dans des bâtiments correctement conçus (pas d'humidité, bonne ventilation de tous les éléments et accessibilité pour inspection, entretien et remplacement des membrures détériorées).
 - L'acide borique et le phosphate d'ammonium permettent d'ignifuger le bambou. L'acide borique rend aussi le bambou résistant aux attaques des champignons et des insectes).
 - Lorsque les tiges sont fixées au moyen de clous, de boulons ou de chevilles, le préforage est indispensable, pour éviter que les tiges ne se fendent. Il est plus indiqué de réaliser les fixations à l'aide de matériaux souples (cordages).
 - Les écarts entre les tiges ne permettent pas de réaliser des éléments étanches, mais ils sont par contre profitables en matière de ventilation.
 - *Les recommandations en matière de traitements de préservation renseignant des produits chimiques, ne doivent pas être suivies aveuglément. L'utilisateur veillera à recueillir l'avis de plusieurs experts. Quel que soit le produit chimique utilisé, l'utilisateur doit veiller à protéger sa peau et ses yeux pour éviter tout contact avec de tels produits. Les mesures de précaution ne sont jamais superflues.*

LE BOIS

Généralités

Avec la pierre, la terre et divers matériaux végétaux, le bois compte parmi les matériaux de construction les plus anciens. Le bois est un matériau naturel. Il contribue au bien-être, car il crée des conditions de vie propices à la physiologie du corps humain. Aujourd'hui, l'immense diversité des produits en bois et de leurs applications, font du bois le matériau de construction le plus universel.

Le bois est un matériau extrêmement complexe. Il existe de très nombreuses espèces d'arbres. La diversité des propriétés particulières à chaque espèce, ainsi que la multitude des procédés de traitement et de transformation, permettent d'employer des matériaux de construction en bois pour des applications extrêmement variées. Pour en tirer le meilleur profit, il est indispensable d'en bien connaître les propriétés et limitations. Cela exige de solides qualifications et une longue expérience, étant donné l'étendue de la gamme de produits.

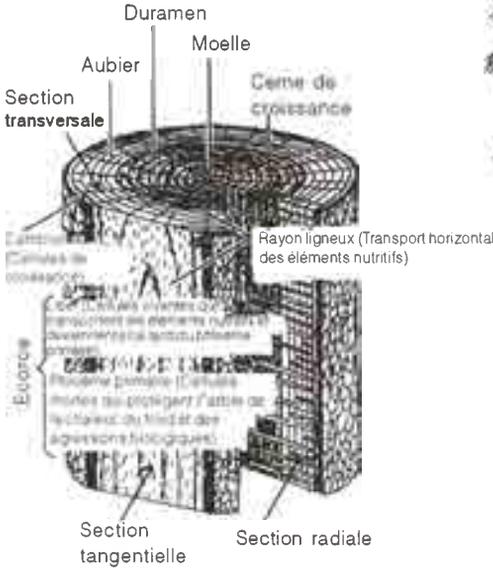
Le volume de bois destiné à la construction ne représente qu'une faible proportion de la quantité de bois abattu dans le monde. Cependant, la réduction rapide du couvert forestier, l'abattage excessif de grands arbres âgés de plusieurs dizaines d'années dont le renouvellement durerait autant, les désastres climatiques, écologiques et économiques qui sont liés à ces pratiques, ne sont pas sans causer de sérieuses inquiétudes. Cette situation a conduit au développement de recherches visant à remplacer le bois par d'autres matériaux et / ou à en rationaliser l'utilisation. Le bois n'étant pas totalement remplaçable par d'autres matériaux, il restera, longtemps encore, le matériau de construction le plus universel. Par conséquent, d'importants efforts doivent être accomplis, pour maintenir et renouveler les ressources

en bois, grâce à des programmes de reforestation de grande envergure.

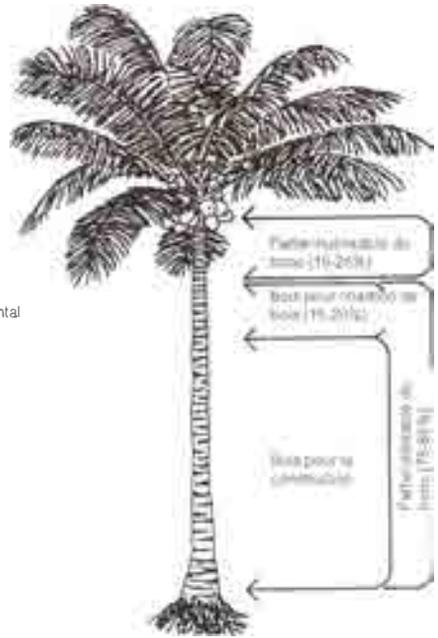
Croissance

- La section transversale d'un tronc ou d'une branche révèle des cernes concentriques. Plus on s'approche du centre, plus les cernes sont anciens. Le tronc s'élargit par addition de nouveaux cernes, normalement un chaque année (des exceptions à cette règle, font que les cernes sont appelés *cernes de croissance* au lieu de cernes annuels).
- Les cernes sont constitués de minuscules faisceaux ou fibres ligneuses (trachéides) qui transportent l'eau et les aliments à toutes les parties de l'arbre. Le bois précoce (bois de printemps) se forme pendant la période de croissance de l'arbre. Il se caractérise par des faisceaux larges. Le bois tardif (bois d'été ou de saison sèche) se forme plus lentement. Il se caractérise par des faisceaux aux parois épaisses et des petites ouvertures. La partie du cerne faite de bois tardif est plus dense et plus foncée. C'est le bois tardif qui confère à l'arbre sa résistance mécanique.
- La croissance en épaisseur de l'arbre (apparition de nouveaux cernes) résulte du dédoublement radial des cellules génératrices du *cambium*. A l'extérieur du cambium se forment de nouvelles cellules d'écorce et, à l'intérieur, de nouvelles cellules d'*aubier* (=bois vivant). La *duraminisation* correspond à la mort des tissus du bois central (duramen ou bois parfait), qui se traduit par la disparition de l'amidon. L'amidon est parfois remplacé par des toxines naturelles. D'un point de vue mécanique, il n'y a presque pas de différences entre l'aubier et le duramen. L'aubier est normalement plus clair et il contient des substances (p. ex. amidon).





STRUCTURE D'UN TRONC D'ARBRE (DURAMEN ET AUBIER)



PARTIES UTILISABLES D'UN COCOTIER

sucré, eau) qui attirent champignons et certains insectes.

- Plus la croissance d'un arbre est lente, plus les cernes sont étroites et plus dense et solide est l'arbre. En général la durabilité suit la même relation.
- Généralement, on distingue les feuillus et les résineux. Les *bois durs* proviennent généralement d'espèces feuillues, sempervirentes sous les tropiques et caduques dans les zones tempérées. Les *bois résineux* proviennent généralement des conifères qui poussent principalement dans les zones tempérées. Il s'agit d'une classification botanique et non d'une classification tenant compte des performances

mécaniques (certains bois durs, p. ex. le balsa, sont plus tendres que la plupart des résineux).

- Récemment, le bois de cocotier s'est avéré un bon substitut à la plupart des variétés de bois couramment employées. Alors que le bois de cocotier est classé parmi les bois durs, sa croissance se différencie de celle des espèces feuillues. Le cocotier ne possède ni duramen, ni aubier, ni cernes de croissance et son diamètre ne se développe donc pas. C'est le nombre de marques circulaires le long du tronc qui permet d'en déterminer l'âge. Le cocotier n'a ni branches, ni noeud et sa densité diminue de l'extérieur vers le centre, de même

que de la base vers le sommet du tronc. La valeur commerciale du bois de cocotier devient intéressante après 50 ans, lorsque sa production de copra chute.

Catégories et propriétés

- En construction, on distingue 2 catégories de bois: les espèces de première catégorie et celles de seconde catégorie.
- *Les bois de première catégorie* sont généralement de beaux bois durs, à croissance lente. Leur durabilité naturelle est considérable et les mouvements et déformations dus aux variations d'humidité sont faibles. Ils sont chers et peu disponibles.
- *Les bois de seconde catégorie* proviennent principalement d'essences à croissance rapide. Leur durabilité naturelle est faible, mais après un séchage approprié et des traitements conservatoires, leurs propriétés physiques et leur durabilité sont considérablement améliorées. L'augmentation du coût et la rareté des bois de première catégorie, entraînent un développement rapide de l'emploi de bois de catégorie secondaire.
- Des recherches menées dans plusieurs pays asiatiques du Pacifique montrent que le *bois de cocotier* peut parfaitement être employé comme bois de seconde catégorie. Le cocotier abonde dans la plupart des régions tropicales côtières. Cependant, le travail de ce bois requiert des connaissances et des équipements spécifiques, d'abord parce que chaque portion du tronc a une densité et une dureté différente et ensuite parce que la teneur élevée en silice, de même que la dureté de l'enveloppe extérieure, usent rapidement les dents de scie (d'où des plaquettes rapportées en carbure de tungstène).
- Globalement, les principales propriétés du

bois sont: une densité relativement faible comparée à celle des autres matériaux de construction conventionnels; un rapport résistance / poids élevé; une résistance à la compression et à la traction maximales dans le sens des fibres; une bonne élasticité; une faible conductibilité thermique; des irrégularités de croissance; une humidité propre qui varie selon les fluctuations de l'humidité relative de l'air. De plus, le bois est combustible et il s'agit d'une ressource renouvelable.

- Le retrait du bois est une caractéristique commune aux différentes espèces. Ce retrait n'est pas le même dans toutes les directions. Entre l'état vert et l'état sec on observe un retrait radial d'environ 8 %, alors que le retrait tangentiel est d'environ 14 à 16 % et que le retrait longitudinal est quasi négligeable (0,1 à 0,2 %).

Séchage et traitements de préservation

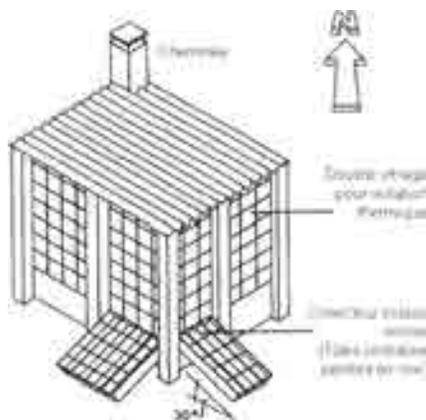
- Le séchage est le processus par lequel on réduit l'humidité du bois à un niveau d'équilibre (entre 8 et 20 % en poids, selon l'essence et les conditions climatiques). Il dure de quelques semaines à plusieurs mois (selon l'essence, l'âge, le moment de la coupe, le climat, la méthode utilisée, etc.). Il augmente la durabilité du bois, sa solidité, sa raideur, sa stabilité dimensionnelle et diminue son poids (donc aussi les coûts de transport).
- Le *séchage naturel* consiste à empiler les sciages (pièces de bois débitées dans les grumes) de sorte que l'air puisse circuler entre eux. Les sciages doivent être protégés de la pluie et surélevés pour éviter tout contact avec le sol.
- Pour le *séchage artificiel*, on procède comme pour le séchage naturel, mais le



Séchoirs solaires pour le séchage du bois



SCHEMA DE CIRCULATION DE L'AIR DANS LE SÉCHOIR



Modèle conçu par le Commonwealth Forestry Institute (CFI) and ITDG, RU: le rayonnement solaire est collecté par plusieurs panneaux peints en noir; l'air chaud pulsé par 2 grands ventilateurs traverse l'empilement; l'air chargé d'humidité est évacué par des ouvertures.

Modèle conçu par le CBRI, à Roorkee en Inde: deux collecteurs solaires alimentent les chambres de séchage en air frais chauffé et l'air humide s'échappe par la cheminée; ce four fonctionne sans ventilateur, selon le principe de l'ascension de l'air chaud.

degré de séchage est contrôlé en empilant les sciages dans un séchoir équipé de ventilateurs.

- Les séchoirs ont pour rôle d'accélérer le séchage du bois. Les sciages sont empilés dans des locaux fermés et chauffés, où la circulation d'air ainsi que le degré d'humidité sont contrôlés. Les séchoirs permettent de réduire la durée de séchage de 50 à 75 %, mais ils nécessitent des investissements élevés. Des versions solaires constituent une alternative économique.
- Le temps de séchage est considérablement réduit, si l'abattage des arbres a lieu en saison sèche ou en hiver (à ce moment l'humidité des arbres est minimale).
- Le séchage, seul, ne suffit pas à protéger

le bois (spécialement les bois de seconde catégorie) contre la moisissure et l'attaque des insectes. Pour éviter ces problèmes, de même que pour ignifuger le bois, il faut recourir à des traitements de préservation qui impliquent des produits chimiques.

- Les produits chimiques utilisés et les méthodes d'application sont généralement les mêmes que ceux et celles décrit(e)s dans la section précédente consacrée au bambou. Les commentaires conseillant d'éviter l'emploi de *produits de préservation hautement toxiques* restent valables pour le traitement du bois.
- Lorsqu'on pense à la préservation du bois, il faut garder en mémoire que *de tous les matériaux de construction, le bois est le*

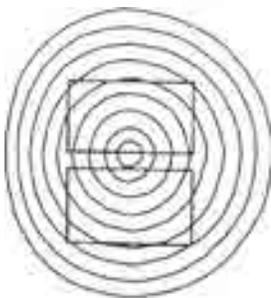
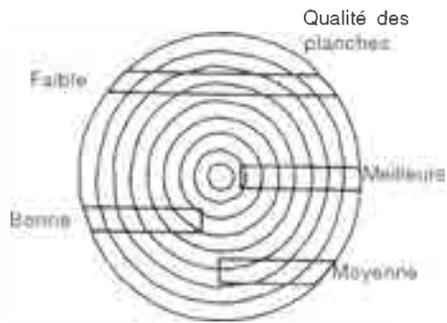
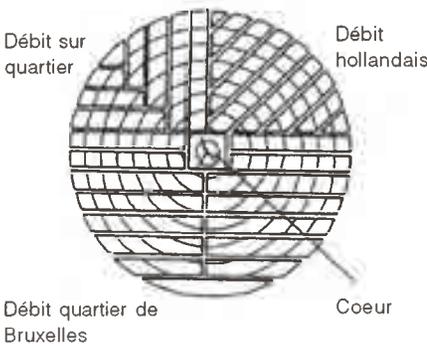
plus sain. Il est donc paradoxal de l'empoisonner, tout spécialement si d'autres méthodes peuvent être mises en oeuvre pour assurer sa protection: p. ex. produits non toxiques associés à une conception adaptée (éviter l'humidité, bonne ventilation, accessibilité des éléments en bois pour contrôles et entretien, éviter tout contact avec le sol, etc.).

Produits en bois

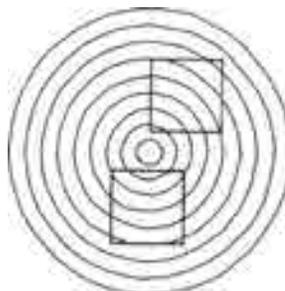
- *Perches*: Elles proviennent généralement de jeunes arbres (5 à 7 ans), débarrassés de leur écorce, puis séchés et traités comme il se doit. L'emploi de perches sup-

prime les coûts et déchets de sciage et permet d'utiliser au mieux le potentiel de résistance du bois. Une perche en bois est en effet plus solide qu'un avivé de même section, car les fibres enveloppent les défauts naturels et ne sont pas interrompues en surface, au niveau de la coupe. Les perches ont aussi d'importantes tensions de croissances sur leur périmètre. Ces tensions contribuent à augmenter la résistance d'une perche, car elles soulagent la face comprimée d'une perche mise en flexion.

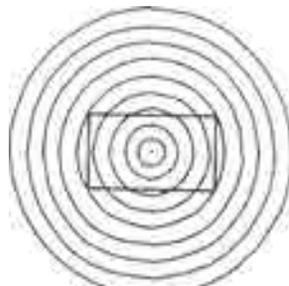
- *Bois de sciage*: Ils proviennent principale-



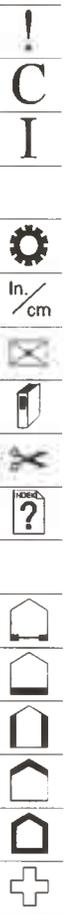
BONNE QUALITÉ



QUALITÉ MOYENNE



QUALITÉ FAIBLE À MOYENNE



ment de vieux arbres à gros tronc, débités en sections rectangulaires (poutres ou planches). La qualité des produits dépend grandement de la nature du bois (duramen ou aubier) et du sens de la coupe (voir illustrations ci-dessous). La découpe des grumes avant séchage est appelée débitage. Le resciage et la mise à dimension après séchage sont appelés usinage.

- *Contreplaqué*: Panneaux constitués de plusieurs couches de bois collées. Les couches sont superposées en croisant les fibres perpendiculairement de couches en couches. Elles sont obtenues par «déroutage» de grumes prébouillies (rotation des grumes contre un couteau longitudinal). Cette méthode permet de produire des panneaux de très grande dimension, plus résistants que des planches et de dimensions plus stables. Pour que le comportement (résistance, stabilité dimensionnelle) des panneaux en contreplaqué soit indépendant de l'orientation considérée, les fibres de la première et de la dernière couche doivent être orientées dans le même sens (le nombre de couches doit donc être impair). Ces panneaux sont produits en épaisseurs de 3 à 25 mm. L'utilisation de colles à base de formaldéhyde (produit très toxique) constitue un problème majeur.
- *Panneaux bloc*: L'âme résistante est constituée de blocs en bois de catégorie secondaire (jusqu'à 25 mm d'épaisseur). Les 2 faces de l'âme sont revêtues d'un placage (bois de première catégorie), dont les fibres sont orientées perpendiculairement à celles des blocs.
- *Bois lamellé-collé*: Le produit fini est constitué de couches de bois dont les fibres sont normalement orientées dans le même sens (pour certaines applications elles sont croisées de couches en couches). Cette méthode permet de produire des éléments porteurs rectilignes ou courbes, à partir de sciages de petites dimensions pas nécessairement rectilignes. Les produits fabriqués peuvent avoir une section très importante (éventuellement dimensions variables) et une grande longueur. Leur résistance est élevée, ils sont stables (dimensions) et leur apparence est séduisante.
- *Panneaux de particules (appelés aussi panneaux d'agglomérés)*: Ils sont principalement constitués de fragments de bois (mais aussi d'autres matériaux à base de cellulose, fibreux ou de petite dimension), séchés, agglomérés avec une résine synthétique et pressés à chaud (teneur en liant d'environ 8 %) ou extrudés sous pression (teneur en liant: seulement 5 %). Presque toutes les formes peuvent être obtenues. Les panneaux pressés à chaud sont plus solides que les panneaux extrudés. Pour les panneaux pressés à chaud, les mouvements provoqués par les fluctuations d'humidité sont perpendiculaires à la surface, tandis que pour les panneaux extrudés ils sont parallèles au plan d'extrusion. Les panneaux extrudés demandent toujours à être renforcés par un placage.
- *Panneaux de fibres* (classés en panneaux de fibres tendres, thermiquement isolants, et en panneaux de fibres, lesquels ont des propriétés similaires aux contreplaqués): Ils sont principalement composés de fibres de bois (ou végétales), lesquelles s'entremêlent et ne requièrent pas d'autre liant que la lignine présente dans les fibres. Les panneaux de fibres sont compri-

més à chaud, tandis que les panneaux de fibres tendres sont simplement séchés, sans pressage. Au cours de la fabrication, divers additifs peuvent être ajoutés (agents hydrophobes, insecticides, et fongicides).

- **Panneaux légers en laine de bois:** Composés de longs copeaux de bois enrobés d'un liant inorganique (ciment portland ou oxychlorure de magnésium), ils sont comprimés pendant 24 heures, puis démoulés et mis en cure pour 2 à 4 semaines. Diverses espèces de bois sont utilisées, à l'exception de celles qui ont une teneur élevée en sucre, car le sucre retarde la prise du ciment. Ces panneaux sont légers, souples, résistants au feu, ainsi qu'aux attaques des champignons et insectes. De plus ils se scient avec autant de facilité que des planches en bois et ils se laissent crépir.
- **Sciure et autres sous-produits forestiers** finement hachés, ainsi que déchets de scierie, sont employés comme additifs dans la production de briques d'argile cuite. La combustion de ces particules laisse des cavités et les briques obtenues sont poreuses et plus légères.
- **Colles à base de tanin:** Le tanin, extrait de l'écorce de certains arbres, est utilisé dans la production des panneaux de particules.
- **Goudron végétal:** obtenu par distillation sèche du bois, il est employé pour la préservation du bois.

Applications

- Bâtiments et toitures complets ou en partie construits à partir de perches, de poutres en bois de scierie ou d'éléments lamellés-collés.
- Planchers porteurs ou non porteurs, murs,

plafonds ou toits, en troncs (maisons DE rondins), en planches, ou en panneaux contreplaqué de grande dimension, en panneaux de particules, ou de fibres, ou en panneaux légers en laine de bois. Dans la plupart des cas, ces matériaux conviennent à des systèmes de constructions préfabriquées.

- Couches d'isolation en panneaux légers en laine de bois.
- Revêtement par un placage en bois de qualité, d'éléments en bois de qualité inférieure, pour obtenir des surfaces lisses et esthétiques, ou revêtement d'autres matériaux (maçonnerie, béton, etc.) par des panneaux ou des bardeaux.
- Cadres de portes et fenêtres, battants de porte, volets, stores, pare-soleil, appui de fenêtre, escaliers et autres éléments similaires pour la construction, réalisés en bois de scierie et toutes sortes de panneaux et plaques.
- Toitures (fermes, chevrons, pannes, lattes et bardeaux) principalement construites à partir de perches et de bois de scierie.
- Coffrage pour les constructions en béton ou en terre damée. Echafaudages réalisés à partir de bois de scierie et de perches pas nécessairement parfaitement rectilignes.
- Meubles réalisés à partir de l'un des produits cités ci-dessus ou d'une combinaison de plusieurs d'entre eux.

Avantages

- Le bois est un matériau de construction qui convient à tous les types de climat. Aucun autre matériau naturel ou manufacturé n'égale le caractère universel et les performances thermiques du bois, tout en procurant des conditions de vie confortables et saines.





- Le bois est un matériau renouvelable et si la reforestation est bien organisée, des espèces au moins de seconde qualité sont disponibles à peu près partout (sauf dans les régions les plus arides).
- Le rapport résistance / poids est très élevé pour la plupart des espèces. Cela en fait des matériaux idéaux pour la plupart des travaux de construction et particulièrement pour les régions où tremblements de terre et ouragans sont à craindre.
- L'utilisation du bois est compatible avec les qualifications traditionnelles et elle requiert rarement des équipements sophistiqués.
- La production et le travail du bois requièrent moins d'énergie que la plupart des autres matériaux de construction.
- Le bois est un bon isolant thermique et acoustique et des éléments de forte section sont de loin plus résistants au feu que l'acier (l'épaisseur carbonisée protège le bois sain qui, lui, conserve sa solidité).
- L'utilisation d'espèces à croissance rapide permet de réduire l'exploitation des espèces de premier choix. Ces dernières grandissent lentement et leur surexploitation cause de sérieux problèmes d'environnement.
- L'utilisation de perches épargne les coûts et déchets liés au sciage et permet de profiter au mieux du potentiel de résistance du bois (une perche est plus solide qu'un sciage de même section).
- Le bois de cocotier était auparavant considéré comme du déchet, ce qui posait d'importants problèmes de décharge. Son utili-

sation comme matériau de construction résout le problème de décharge, permet à de nombreux utilisateurs de disposer d'un matériau de construction économique et de bonne qualité et réduit l'exploitation d'autres espèces de bois rares et chères.

- La production de panneaux, plaques et feuilles à base de bois, permet d'obtenir des produits fins de grandes dimensions, qu'il serait impossible d'obtenir par sciage de grumes. De tels produits valorisent plus efficacement le bois (utilisation de bois de moindre qualité, et de déchets de bois) tout en permettant de réaliser des composants plus grands, plus légers et suffisamment résistants.
- Le bois provenant de démolitions peut être recyclé, soit à nouveau comme matériau de construction, soit comme combustible. Dans ce dernier cas, les cendres peuvent être ensuite utilisées comme engrais ou pour produire de la potasse (produit utilisé pour la préservation du bois).

Problèmes

- Coûts élevés et disponibilité toujours plus limitée d'espèces naturellement durables, à cause des abattages et des exportations non contrôlés, qui ont engendrés de sérieux problèmes d'environnement.
- Dureté extrême de certains bois secs (p. ex. cocotier) qui rend le sciage difficile et requiert des scies spéciales.
- Mouvements causés par les variations thermiques et d'humidité (direction perpendiculaire aux fibres), lesquels provoquent des déformations, du retrait et le fendage du bois.
- Les essences bon marché, plus abondantes, sont moins durables (risques de détériorations dues à des champignons

*Grumes entreposées dans une scierie de Kumasi au Ghana
(Photo: H. Schreckenbach, Bibl. 00.43)*



ou à des insectes, p. ex. termites, coléoptères, etc.).

- Faible résistance au feu des membrures et produits en bois de section réduite.
- Haute toxicité des produits chimiques de préservation les plus efficaces et les plus couramment recommandés. Sur de longues périodes, ces produits présentent un danger réel pour la santé.
- Défaillance des jonctions entre membrures, suite au retrait du bois ou à la corrosion des connecteurs métalliques.
- Décoloration et fragilisation ou érosion de la surface, causées par le rayonnement solaire et les particules chimiques ou abrasives portées par le vent.

Remèdes

- Préservation des ressources forestières par de vastes programmes de reboisement à long terme; utilisation d'arbres à croissance rapide et de sous-produits de la sylviculture, pour baisser le coût de la matière première.
- Abattage des arbres en saison sèche ou en hiver. A ce moment l'humidité et la teneur en amidon du bois, lesquelles attirent les insectes xylophages, sont les plus faibles.
- Sciage des variétés de bois durs lorsqu'ils sont encore verts (p. ex. cocotier), car l'humidité du bois lubrifie la scie.
- Séchage du bois pour réduire son humidité à moins de 20 %, et prévenir ainsi l'apparition de champignons. La vitesse de séchage doit être soigneusement contrôlée pour éviter que le bois se fende, ou qu'il développe d'autres problèmes.
- Des températures inférieures à 0°C et supérieures à 40°C, de même qu'une immersion complète sous eau, empêchent le développement de champignons.
- *Des produits chimiques de préservation du*

bois (fongicides, insecticides, ignifuges) ne peuvent être appliqués que si leur composition, leur toxicité (spécialement à long terme, pour l'environnement et la santé), leur méthode d'application et les mesures de précautions requises sont parfaitement connues. Pour déterminer l'option la moins dangereuse, l'utilisateur doit récolter l'avis de plusieurs experts. Le revêtement des panneaux de particules par un placage en bois ou du plastique n'est pas toujours acceptable. Cette pratique ne supprime pas les émanations de formaldéhyde, elle diminue leur intensité, mais étale leur durée.

- La durabilité d'un produit en bois et la toxicité du traitement de préservation qu'il subit, doivent être adaptées à l'utilisation qui en sera faite (intérieure ou extérieure). Du bois de faible durabilité naturelle ne peut s'utiliser sans traitement qu'en intérieur et sous des conditions idéales: pas de contact avec l'eau, bonne ventilation et propreté. Du bois ayant subi un traitement de préservation toxique ne peut être utilisé qu'en extérieur et protégé des pluies, sans quoi les substances toxiques risquent d'être lessivées.
- Une conception appropriée, l'emploi de bois correctement séché, une bonne exécution et un entretien régulier, réduisent considérablement la nécessité d'un traitement chimique du bois.
- Conception appropriée des constructions en bois signifie: éviter le contact du bois avec le sol; protéger le bois de l'humidité en utilisant des barrières étanches, chapeiron et ventilation; éviter les cavités entre murs qui en cas d'incendie favorisent la propagation du feu; accessibilité des tous les éléments critiques pour une maintenance régulière; réalisation de joints permettant les mouvements causés par des variations de température ou d'humidité; éviter les connecteurs métalliques dans les endroits exposés à l'humidité; toitures débordantes et barrières végétales (arbres, haies) pour la protection des éléments extérieurs contre la pluie, le soleil et le vent.

LES MÉTAUX

Généralités

Généralement, les métaux ne sont pas considérés comme des matériaux de construction appropriés, pour la construction économique. En effet, ils sont habituellement chers, importés dans la plupart des cas et leur travail requiert des outils et équipements spécialisés. Mais en fait, très peu de maisons sont construites sans utiliser de métal, qu'il s'agisse de clous, de tôles de couverture, ou d'armatures pour le béton armé.

Parmi les métaux employés dans la construction on distingue :

- *Les métaux ferreux*: fer et aciers
- *Les métaux non ferreux*: aluminium (Al), cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), plomb (Pb), nickel (Ni), étain (Sn), zinc (Zn).

Métaux ferreux

- Tous les métaux ferreux proviennent de la fonte brute. La fonte brute est produite dans les haut-fourneaux, où minerai de fer, coke, calcaire et quelques autres produits sont portés à haute température.
- *Les fontes* sont des alliages composés de fer, de carbone (plus de 1,7 %), de silicium, de manganèse et de phosphore. Le point de fusion de ces fontes est relativement faible, elles sont très fluides et leurs mouvements thermiques sont réduits.
- *Le fer de ferronnerie* est du fer pur avec seulement 0,02 à 0,03 % de carbone. Ce matériau est dur, ductile et plus résistant à la corrosion que l'acier, mais plus cher et non soudable, il a été presque complètement remplacé par l'acier doux.
- *Les aciers* sont des alliages composés de fer, de carbone (entre 0,05 et 1,5 %), de manganèse, de silicium, de chrome, de

nickel et d'autres additifs selon la qualité désirée et l'utilisation prévue.

- *Les aciers à faible teneur en carbone* (moins de 0,15 %) sont ductiles et utilisés pour la production de fil d'acier et de tôles minces en fer blanc.
- *Les aciers doux* (teneur en carbone de 0,15 à 0,25 %) sont les aciers les plus utilisés et les plus polyvalents de tous les métaux. Ils sont résistants, ductiles, peuvent être laminés et soudés; par contre ils ne conviennent pas au moulage.
- *Les aciers demi durs* (teneur en carbone jusqu'à 0,5 %) sont des aciers spécialement destinés aux applications techniques.
- *Les aciers durs* (teneur en carbone jusqu'à 1,5 %) sont très résistants à l'usure, ils se laissent mouler, mais sont difficiles à souder. Ils peuvent être trempés pour fabriquer des limes et des outils de coupe.

Métaux non ferreux

- *L'Aluminium* est le troisième élément chimique le plus répandu. Le traitement du minerai (la bauxite) consomme énormément d'énergie et coûte très cher. L'aluminium est le plus léger des métaux usuels, il a une bonne résistance mécanique, il est très résistant à la corrosion, il conduit bien la chaleur et l'électricité et il reflète la chaleur et la lumière. L'aluminium et ses alliages ont de nombreuses applications dans la construction. Le prix élevé de ces matériaux et leur disponibilité limitée, dans la plupart des pays en développement, en font des matériaux de construction moins appropriés.
- *Le cuivre* est un important métal non ferreux. Il est employé pur, ou en alliage (p. ex. bronze, laiton, etc.). Le cuivre est utilisé



pour nombre d'applications spéciales, mais peu dans la construction à faible coût.

- *Le plomb* est principalement employé pur. Il s'agit du plus dense des métaux, mais aussi du plus mou et donc du plus fragile. Sa bonne résistance à la corrosion le destine principalement à des applications extérieures (p. ex. cheminées et gouttières), mais rarement dans la construction à faible coût. Sa toxicité élevée rend son emploi peu recommandé, surtout lorsqu'il existe des solutions alternatives (p. ex. tuyaux en PVC ou pigments non toxiques pour peintures).
- *Cadmium, chrome, nickel, étain, zinc* et quelques autres métaux sont principalement des éléments d'alliage. Ils sont employés pour modifier certaines propriétés des fontes et des aciers, ou alors comme revêtements pour protéger des métaux moins résistants (la galvanisation -enduit de zinc- des tôles en fer ondulées est p. ex. un procédé très répandu).

Applications

- Éléments porteurs en acier (colonnes, poutres, profilés, éléments de section creuse, etc.), soit pour la construction d'ossatures complètes, soit comme éléments individuels (linteaux, fermes, portiques et autres).
- Tôles de couverture, ordinairement ondulées pour la rigidité, (généralement tôles ondulées en fer galvanisé et plus rarement tôles ondulées en aluminium), ou pour murs (panneaux de remplissage ou de revêtement), pare-soleil, palissades, etc.
- Tôles épaisses, feuilles ou ruban pour solin (p. ex. acier, cuivre, plomb), fixation (p. ex.

pour fermes en bois) et revêtements (protection contre des dégradations ou réflexion de la chaleur).

- Barres d'acier, grillage et treillis pour béton armé ou ferrociment. L'utilisation de barres à adhérence améliorée (reliefs en hélice ou nervures) permet d'obtenir une liaison mécanique plus forte entre l'acier et le béton, d'où réduction du nombre de barres et donc du prix de l'armature (jusque 10 %). En Chine, des éléments en béton précontraint sont armés de fils d'acier doux (\varnothing 6,5 à 8 mm), étirés à température ambiante au travers d'une filière (\varnothing 3, 4 ou 5 mm). L'étirage provoque un doublement de la résistance à la traction du fil et diminue l'élasticité. Cette méthode diminue la quantité d'acier nécessaire de 30 à 50 %.
- Fils de différents types et de différentes épaisseurs, p. ex. fil d'acier pour ligaturer armatures ou autres éléments de construction, fils de cuivre pour installations électriques et fils épais en acier galvanisé, en aluminium ou en cuivre pour paratonnerre.
- Treillis en fil d'acier galvanisé ou métal déployé (entaillage d'une tôle métallique et étirage perpendiculaire aux entailles d'où formation de trous ayant la forme d'un losange) comme support d'enduit ou pour la protection d'ouvertures.
- Clous, vis, boulons, écrous, etc., généralement en acier galvanisé, pour la fixation de tous types d'éléments de construction, coffrage, échafaudage et équipements
- Profilés d'acier laminé ou d'aluminium extrudé de formes variées, pour cadre de porte et de fenêtre, dispositifs d'ombrage, cadre de battant de fenêtre fixes ou mobiles.

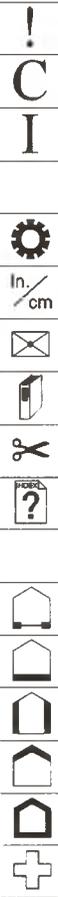
- Quincaillerie métallique, p. ex. charnières, poignées, serrures, crochets, dispositifs de sécurité variés, main-courante, etc.
- Tuyaux, canaux, gouttières pour installation sanitaire, électrique ou au gaz
- Outils et équipements pour la construction
- Composants métalliques divers pour réservoirs, mobilier, installations extérieures

Avantages

- La plupart des métaux sont flexibles, très résistants, imperméables et durables. Diverses techniques de façonnage (usinage, fonderie, etc.) permettent de réaliser des pièces de formes très variées.
- L'assemblage de constructions préfabriquées en acier ou en aluminium est extrêmement rapide. Si les connexions entre les éléments sont solides, ces constructions résistent fort bien aux tremblements de terre et aux ouragans.
- Le transport et l'installation de tôles de couverture est peu contraignant. Légères et de grande portée, elles se satisfont d'une charpente légère. Elles sont étanches et résistent au vent, de même qu'à toutes les attaques de type biologique. Dans la plupart des pays en développement, la tôle de couverture a une importante valeur de prestige.
- De nombreuses constructions en béton ne sont possibles que renforcées d'armatures en acier.
- Souvent il n'existe pas d'alternative à l'utilisation du métal: installations électriques; boulons, écrous, etc.; outils; dispositifs de sécurité.

Problèmes

- Mise en oeuvre de produits de qualité inférieure, car souvent dans les pays en développement, les produits métalliques de bonne qualité sont rares et chers (p. ex. tôles de couverture extrêmement fines, galvanisation insuffisante).
- Concernant les tôles de couverture: absence d'isolation thermique, d'où des températures intérieures insupportables dans les régions où les écarts de températures diurne et nocturne sont très importants; problèmes de condensation sur la face inférieure de la couverture (d'où inconfort, climat intérieur malsain et problèmes liés à l'humidité: corrosion, champignons); beaucoup de bruit pendant les pluies; tendance des tôles à se déchirer aux points de fixation (si pas de rondelle ou rondelles de \emptyset insuffisant) en cas de vents violents; importants dégâts causés par des tôles libres emportées par un ouragan.
- Les métaux sont incombustibles, ils ne contribuent pas à alimenter une combustion et ne favorisent pas la progression des flammes. La plupart perdent leur résistance lorsque la température s'élève, ce qui peut entraîner l'effondrement d'une construction.
- Corrosion de la plupart des métaux: La corrosion des métaux ferreux est provoquée par l'humidité, certains sulfates ou chlorures. Un ph basique provoque la corrosion de l'aluminium. Les acides minéraux et l'ammoniac provoquent la corrosion du cuivre. Les ions cuivre emportés par les eaux s'écoulant sur des éléments en cuivre provoquent la corrosion de divers métaux. Corrosion par électrolyse, lorsque des métaux d'électronégativité différente sont mis en contact.



- Toxicité de certains métaux: tuyaux en plomb et peintures au plomb; fumées émises par des électrodes de soudures chargées, ou, à base de cuivre, de zinc, de plomb ou de cadmium.

Remèdes

- Les coûts peuvent être réduits en limitant l'emploi des métaux, ou les remplaçant par des matériaux alternatifs économiques.
- Pour prévenir surchauffe et condensation: éviter l'emploi des tôles dans les régions à rayonnement solaire intense et à variations de températures journalières élevées; faux plafond à inertie thermique et espace ventilé; surface extérieure réfléchissante.
- Pour prévenir la corrosion: éviter les milieux humides; renouveler périodiquement l'enduit de protection; éviter les contacts entre métaux d'électronégativité différente en intercalant une rondelle non métallique; éviter les contacts entre l'aluminium et les produits au ciment (mortier, béton).
- Pour atténuer le bruit: limiter les écarts entre les éléments de support de la charpente; enduire au bitume la face inférieure des tôles de couverture; exécution soignée des points de suspension; application d'un matériau isolant ou d'un plafond suspendu.
- Pour prévenir l'arrachement: tôles épaisses et fixations solides.
- Pour réduire la toxicité: éviter l'emploi du plomb et d'éléments en plomb là où ils pourraient entrer en contact avec de la nourriture ou de l'eau potable; bonne ventilation des pièces où il y a production de fumées toxiques.

LE VERRE

Généralités

Le verre provient, comme les métaux, de la fusion de divers matériaux (sable, carbonate de soude, calcaire, dolomie, oxyde d'aluminium, feldspath, potasse, borax, calcaire ou débris de verre, et encore d'autres ingrédients) portés à une température d'environ 1500°C. Le verre fondu est mis en forme et ensuite lentement refroidi (recuit) pour éviter qu'il se fende. Si la fabrication du verre remonte à quelques milliers d'années, sa production à grande échelle et son utilisation dans la construction remontent à moins de deux cents ans.

Le verre n'est pas un matériau indispensable pour la construction économique dans les pays en développement. Certains produits en verre, mais aussi des déchets en verre, sont cependant utilisés avec succès, pour améliorer les performances d'autres matériaux ou le confort interne des habitations.

Applications

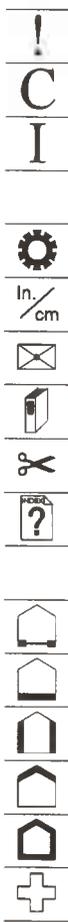
- Verre plat: verre flotté transparent (n'altère pas la vision mais renvoie des reflets), verre coulé (habituellement translucide), ou variétés spéciales (protection contre le soleil; isolation thermique, décoration, etc.) utilisés principalement comme vitrage de fenêtres et parfois de portes, mais aussi pour collecteurs solaires, serres, murs Trombe (murs de stockage thermique).
- Blocs creux en verre (assemblés par fusion de deux couvercles en verre) pour murs non porteurs ou écrans translucides permettant le passage de la lumière et de la chaleur.
- Fibres de verre mélangées à d'autres matériaux tels que ciment, résines polyester et époxy, pour la fabrication de matériaux

de couverture légers ou de panneaux de cloisonnage, pare-soleil, citernes et autres éléments semblables de toutes formes.

- Matériaux isolants: panneaux ou rouleaux de laine de verre, obtenus en mélangeant des fibres de verre avec un liant.
- Bouteilles de récupération utilisées comme substitut aux blocs creux.
- Déchets de verre broyés. Le mélange de déchets de verre broyés en une fine poudre et d'argile (7 parts de poudre de verre : 3 parts d'argile) agit comme fondant et réduit la température de cuisson des briques d'argile de plus de 50°C (d'où une économie en combustible de près de 50 %). Les briques obtenues sont solides et résistent au vent et à la pluie. Des briques très résistantes sont également produites à partir de la composition suivante: 31 % de verre broyé, 6 % d'argile, 7 % d'eau et 56 % de débris de briques broyées.

Avantages

- Le verre est un matériau très durable (en utilisation normale) et il résiste bien aux produits chimiques (avec quelques exceptions), de même qu'aux agressions biologiques.
- Résistance et élasticité sont suffisantes, de sorte qu'une vitre ordinaire supporte sans danger une flexion provoquant une flèche égale au 125^{ème} de sa portée.
- Dans les régions où existe une saison froide: captage du rayonnement solaire infrarouge par «effet de serre», pour améliorer le confort intérieur en réduisant la consommation en combustible de chauffage.
- Le verre est un matériau recyclable.



Problèmes

- Le verre est fragile et par conséquent difficile à transporter. Il peut se briser en cas de mise en oeuvre non conforme, de contraintes thermiques, de brusques impacts, etc.
- Des débris de verre peuvent causer de sérieuses blessures.
- La plupart des vitrages modernes absorbent une bonne partie du rayonnement solaire ultra violet. Or celui-ci est d'une importance vitale, spécialement pour les enfants, car il permet la synthèse de la vitamine D et il détruit des bactéries nuisibles.
- Les acides fluorhydriques et phosphoriques, ainsi que les bases fortes (p. ex. soude caustique, décapants alcalins pour peintures, produits au ciment) attaquent le verre. L'action prolongée de l'eau le détériore aussi.
- Le verre ne brûle pas, mais en cas d'incendie, les éléments en verre éclatent et fondent ensuite.
- Les ruissellements atteignant du verre après contact avec du mortier ou du béton frais, doivent être soigneusement essuyés pour éviter sa détérioration. Régulièrement nettoyé et dans un environnement sec, le verre est un matériau extrêmement durable.

Remèdes

- Des éléments en verre de petites dimensions sont plus faciles à transporter et se brisent plus difficilement. Les fenêtres à persiennes vitrées (lames de verre pivotantes) sont p. ex. une meilleure solution que les fenêtres vitrées classiques (vitres de grandes dimensions), particulièrement dans les régions tropicales humides où une ventilation transversale est souhaitable.
- Le verre économique de faible qualité, principalement composé de sable quartzeux, déforme la vision, mais laisse pénétrer les rayons ultra violets bénéfiques à la santé.

LES PLASTIQUES

Généralités

Les plastiques sont des matières synthétiques composées d'éléments carbonés, dérivés du pétrole ou plus rarement du charbon. Toutes les matières plastiques sont des polymères (longues chaînes de molécules agencées les unes par rapport aux autres sans organisation précise). La longueur et la composition de ces chaînes moléculaires, sont faciles à déterminer en cours de production, ce qui explique l'immense variété de plastiques.

On distingue les thermoplastiques et les plastiques thermodurcissables.

- Les *thermoplastiques* se ramollissent lorsqu'ils sont chauffés, mais sans modification chimique (pour autant qu'il n'y ait pas surchauffe) et ils durcissent en refroidissant.
- Les *plastiques thermodurcissables* subissent une transformation chimique irréversible au moulage, de sorte qu'il n'y a pas ramollissement lors d'un réchauffement ultérieur. Ces plastiques ne sont donc pas recyclables.

Alors que certains pays en développement possèdent leur propre industrie du plastique, beaucoup d'autres doivent importer la matière première ou les produits finis, qui sont alors chers. Les plastiques ne sont pas des matériaux indispensables dans la construction. Cependant, s'ils sont disponibles, leurs applications sont très variées (substitut ou protection d'autres matériaux; amélioration des conditions de confort).

Applications

- Les plastiques rigides ont des usages très variés: adduction d'eau et assainissement; plaques transparentes, translucides ou opaques pour cloisons, éléments de couverture, vitrage, parement, etc.; profilés extrudés pour cadres de fenêtres, éléments de mobilier, etc.; plastiques renforcés de fibres (p. ex. fibres de verre, de sisal, de jute) pour éléments autoportants muraux ou de couverture, à double rayon de courbure ou plissés (systèmes de construction complets).
- Films et membranes plastiques pour: barrières imperméables à l'eau; couverture des bétons en cure; protection temporaire d'ouvertures, contre la pluie et le vent; tentes. Produits plus épais et tubes pour isolation électrique.
- Fibres synthétiques pour câbles et toiles de haute résistance, ainsi que pour armatures résistant aux alcalis (p. ex. éléments de couverture en fibromortier).
- Les mousses de plastique pour matériaux d'isolation thermiques, panneaux légers pour plafond, ou comme agrégat pour béton léger.
- Résines synthétiques et colles pour la production de matériaux composites variés, tels que panneaux de particules, contreplaqués, toutes sortes de panneaux stratifiés et de panneaux sandwich.
- Peintures en émulsion, peintures en détrempe, laques, vernis.
- Matériaux d'étanchéité pour joints de mouvement et joints d'étanchéité au vent et à l'eau.



Avantages

- Imperméabilité et résistance à la plupart des produits chimiques, et donc pas de corrosion.
- Bon rapport solidité / poids de la plupart des matériaux plastiques; la légèreté rend la manipulation, ainsi que le transport, aisé et économique; pas besoin de lourdes structures de support.
- Réalisation d'éléments aux formes, couleurs et autres propriétés physiques très variées; imitation et substitution de matériaux rares et chers.
- Généralement bonne résistance aux agressions biologiques.
- Excellente isolation électrique
- Eviter d'installer des matériaux combustibles à proximité de matériaux plastiques et prévision d'ouvertures de ventilation pour évacuer gaz et fumées en cas de feu.
- Prévision de joints de dilatation suffisants.
- Eviter d'exposer des éléments en plastique au soleil.

Problèmes

- Coût élevé et disponibilité limitée dans beaucoup de pays en développement.
- Inflammabilité de la plupart des plastiques et dégagement de gaz nocifs et de fumées denses.
- Forte expansion (jusqu'à 10 fois celle de l'acier) et déclin rapide des propriétés mécaniques en cas d'augmentation de la température.
- Détérioration de la plupart des plastiques exposés de façon prolongée aux rayonnements ultra-violet du soleil.

Remèdes

- Utilisation des plastiques uniquement pour des applications spécifiques: p. ex. étanchéité à l'eau; isolations thermique et électrique; éléments légers pour un transport facile et économique; constructions en régions sismiques.

LE SOUFRE

Généralités

Alors même qu'il existe plusieurs applications très intéressantes du soufre, comme matériau de construction, les technologies qui concernées sont encore très peu connues. C'est probablement parce que les travaux de recherche et développement sont menés presque exclusivement au Canada et aux Etats Unis et que peu de constructions expérimentales ont été réalisées dans les pays en développement. La désulfuration du pétrole et du gaz naturel rejette de grandes quantités de soufre, dont la décharge pose de gros problèmes dans certains pays. Le développement de l'utilisation du soufre, pour la production intensive de matériaux de construction, pourrait résoudre ces problèmes de stocks toujours plus importants.

Dans les régions volcaniques, on rencontre aussi le soufre à l'état naturel. Il est exploité depuis longtemps pour l'industrie chimique, particulièrement pour la production d'acide sulfurique, qui est associée à tout développement industriel important. Le soufre est également employé pour la production d'engrais et d'insecticides.

A température ambiante, le soufre pur est un matériau cristallin de couleur jaune. Il fond environ à 119°C et durcit rapidement en refroidissant. Fondu, il adhère solidement à une grande diversité de matériaux, les rendant imperméables à l'eau et résistants aux sels, ainsi qu'aux acides. Le soufre peut être stocké indéfiniment et recyclé de nombreux fois, en le refondant pour le remouler.

L'utilisation du soufre a aussi plusieurs limites dont il faut tenir compte. De plus amples recherches sont nécessaires et celles-ci devraient de préférence être menées dans des pays en développement producteurs de soufre. Ces recherches devraient porter

d'une part, sur le soufre en tant qu'additif économique, d'autre part sur le développement d'équipements bon marché et pratiques, et enfin sur la mise au point de méthodes de construction simples.

Produits en soufre

- *Le béton de soufre* est composé de soufre naturel (environ 30 % en poids) et d'agréments inorganiques grossiers et fins (environ 70 %). Le mélange plastique, semblable à un béton, peut être moulé et est imperméable à l'eau. Il ne contient ni eau, ni ciment. Le soufre en poudre et les agrégats sont mélangés dans une bétonnière conventionnelle. Celle-ci est équipée d'un dispositif de chauffage qui porte en quelques minutes la température du mélange à 140°C. Le préchauffage des agrégats à 180°C et l'addition de silice en poudre améliorent la fluidité et l'homogénéité du mélange. Les produits finis sont alors plus homogènes. La couleur des agrégats influence celle des produits finis. Les produits en béton de soufre se laissent scier et forer.
- *Des enduits au soufre* sur matériaux fragiles, flexibles ou poreux, les rendent solides, rigides et imperméables à l'eau. La plupart des matériaux peuvent être imprégnés au soufre (immersion, projection, peinture).
- *Collage au soufre*: utilisation du soufre fondu comme une colle; application externe sur deux éléments voisins non liés, pour produire une liaison extrêmement solide entre ceux-ci.
- *Les mousses au soufre*, produites en introduisant une petite quantité d'agent moussant, sont légères (environ 170 kg/m³) et rigides, se sont d'excellents isolants ther-





Démonstration de l'emploi du soufre à Doubaï, aux Emirats Arabes Unis: moulage de blocs creux emboîtants en béton de soufre. (Photo: A. Ortega, Montréal)

miques, leur retrait est limité, de même que l'absorption d'eau.

- *Asphaltes au soufre*: soit l'agrégat, soit l'asphalte (identique à celle utilisée pour les travaux routiers et de revêtement de sols extérieurs) sont partiellement remplacés par du soufre, qui améliore la fluidité du mélange à haute température et la diminue à faible température.
- *Bétons imprégnés au soufre*: imprégnation de soufre fondu dans des bétons maigres en cure humide, dans l'optique d'augmenter leur solidité, ainsi que leur imperméabilité.

Applications

- Béton de soufre: blocs, briques et carreaux de toutes formes, pour murs et planchers porteurs. Il est conseillé de produire des blocs creux et emboîtants, car ils permettent un travail précis et rapide. Les cavités peuvent être remplies avec du béton armé (p. ex. en régions sismiques) ou avec des matériaux isolants (p. ex. en régions froides).
- Imprégnation d'éléments peu résistants et poreux pour les rendre plus solides et plus durables (p. ex. couvertures en chaume, panneaux en roseaux, nattes tressées, étoffe ou papier tendu sur des cadres en bois; éléments en bois; et même béton à faible résistance). Ainsi, une grande pièce d'étoffe tendue sur une

structure en forme de dôme et imprégnée au soufre, devient une couverture solide et imperméable, dès que le soufre refroidit.

- Construction de murs rigides: pose à sec de briques ou blocs en béton et couverture des faces extérieures et intérieures, d'un enduit de soufre. De solides linteaux sont aussi réalisés en appliquant du soufre fondu à la jonction de deux blocs creux en béton.
- Mousses de soufre: isolation thermique de bâtiments, ou panneaux légers et non porteurs, pour murs et plafonds.
- Pavements de cours et autres sols extérieurs, trottoirs, etc. avec des asphaltes au soufre.
- Tuyaux, citernes, ainsi que toute une panoplie d'éléments préfabriqués en béton, lequel est imprégné de soufre pour améliorer la stabilité chimique, la résistance mécanique et l'imperméabilité, tout en diminuant le dosage en ciment.

Avantages

- Le soufre pur abonde dans de nombreuses régions, il peut être stocké indéfiniment et réutilisé de nombreuses fois. La fusion du soufre requiert relativement peu d'énergie et un matériel simple. Il adhère à une grande variété de matériaux, il n'a ni goût ni odeur (sauf lorsqu'on le chauffe ou qu'on le coupe à la scie électrique) et il n'affecte pas la peau. Le soufre conduit mal la chaleur et l'électricité.
- Le béton de soufre atteint 90 % de sa résistance en 6 à 8 heures (le ciment portland ordinaire requiert de 30 à 60 jours pour atteindre la même résistance). Le béton de soufre n'est pas attaqué par les sels, on peut donc utiliser des agrégats

non lavés, ainsi que du sable de mer. La préparation du béton de soufre ne requiert pas d'eau, ce qui est un avantage significatif dans des régions désertiques, où, coïncidence, le raffinage du pétrole produit de grandes quantités de soufre. Le béton de soufre permet de produire par moulage des éléments de construction de dimensions précises et aux bordures nettes (idéal pour la production de blocs emboîtants qui s'assemblent sans mortier et sans qualification spécifique). Le béton de soufre est chimiquement résistant, il n'est pas absorbant et sa surface est lisse, dure, jolie, facile à nettoyer (simple lavage) et elle ne requiert pas de finition (enduit, peintures). Le béton de soufre garde la plupart des caractéristiques du soufre pur.

- Les enduits au soufre améliorent considérablement la solidité de beaucoup de matériaux, prolongeant ainsi leur durée de vie.
- Les joints au soufre réduisent le temps de construction, économisent du ciment et sont résistants et imperméables.
- La résistance thermique des mousses de soufre est similaire à celle des mousses rigides conventionnelles (p. ex. mousse de polyuréthane), mais leur résistance à la compression est plus élevée.
- Les asphaltes au soufre sont plus solides et plus économiques que les matériaux de revêtement de sol conventionnels.
- A résistance et imperméabilité égales, les bétons imprégnés au soufre requièrent moins de ciment que les bétons ordinaires.

!

C

I



in./cm



Problèmes

- Le point de fusion du soufre n'est pas élevé (environ 119°C) et il s'enflamme à environ 245°C. La combustion du soufre s'entretient d'elle-même (une fois enflammé il continue de brûler). La combustion du soufre dégage du dioxyde de soufre qui est un gaz toxique.
 - Au refroidissement, le soufre pur devient fragile et poudreux (forme cristalline orthorhombique), ce qui le rend inutilisable pour toute une série d'applications.
 - Le coefficient de dilatation thermique du soufre est supérieur à celui du béton au ciment portland, et le volume des éléments en béton de soufre a tendance à diminuer en refroidissant.
 - Le béton de soufre ne convient pas à la réalisation de béton armé, car la présence d'humidité et de soufre tend à provoquer la corrosion des armatures en acier.
- la cristallisation. Le dicyclopentadiène remplit également cette fonction et améliore la stabilité thermique des bétons au soufre.
- Lors du moulage d'éléments en béton au soufre (p. ex. blocs creux), on résout le problème de retrait en remplissant le moule légèrement plus qu'il ne se doit et après refroidissement, la matière en excès est éliminée par sciage.
 - Des joints de dilatation suffisamment larges permettent de tenir compte des mouvements thermiques des bétons au soufre.
 - L'incorporation de fibres diminue la fragilité des matériaux à base de soufre et aussi l'amplitude des mouvements thermiques, mais cette pratique requiert de plus amples recherches.

Remèdes

- Ne pas utiliser le soufre comme matériau de construction lorsque la température est susceptible de dépasser 80 °C.
- La combustion de soufre dans un local est étouffée en empêchant l'arrivée d'air frais (fermeture de toutes les ouvertures). L'eau et le sable permettent également d'éteindre la combustion d'éléments en soufre.
- Supprimer toutes les sources d'incendie potentielles à proximité d'éléments en soufre (p. ex. foyer pour la cuisson, chauffage) et ajouter un produit ignifuge au soufre fondu (p. ex. dicyclopentadiène).
- Pour diminuer la tendance du soufre à devenir fragile et poudreux après refroidissement, on lui ajoute un plastifiant qui retarde

LES DÉCHETS

Généralités

Même si le terme «déchets» est fréquemment employé, il l'est parfois à tort. En effet, tous les «déchets» ne sont pas des débris inutiles, disponibles à volonté. Souvent il s'agit d'une question de point de vue: un matériau peut être considéré comme un déchet; vu sous un autre angle, il devient une ressource utile.

On peut définir les déchets comme étant des sous-produits de procédés agricoles, sylvicoles, industriels ou mêmes domestiques. Ces sous-produits, sans avoir nécessairement quelque chose à voir avec la construction, peuvent, après traitement et transformation, ou associés à d'autres matériaux, soit devenir des substituts économiques à certains matériaux de construction conventionnels, soit être utilisés pour en améliorer la qualité. Une exception: les matériaux qui proviennent de la démolition des bâtiments, et qui continuent d'être employés comme matériaux de construction (peut-être sous une forme différente).

Certains biens de consommation usagés (tels que bouteilles, boîtes de conserve, pneus de voiture), expérimentés comme matériaux de construction dans plusieurs pays industrialisés, sont d'un intérêt moindre pour les pays en développement, car ils ont déjà de nombreuses autres utilisations (p.ex. articles domestiques, instruments de musique, chaussures).

Les matériaux abordés dans cette section sont extrêmement divers. Fondamentalement on distingue les déchets organiques et les déchets inorganiques. Parmi les déchets organiques, on trouve des sous-produits agricoles et sylvicoles, des débris domestiques et des débris urbains. Les déchets inorganiques proviennent principalement de pro-

cessus industriels et de la démolition d'anciennes constructions. Il existe cependant plusieurs exceptions.

Déchets organiques

Balle de riz

- L'enveloppe des grains de riz (ou balle de riz) est utilisée soit sèche, soit traitée chimiquement, soit encore sous forme de cendre.
- Dans la production de briques cuites, ces enveloppes mélangées à de l'argile, soit telles quelles, soit broyées, permettent une cuisson plus uniforme des briques. Après combustion, elles laissent des pores, d'où des briques plus légères.
- La balle de riz sert aussi à la fabrication du silicate de sodium. Ce liant est employé pour la production de panneaux de particules pour agglomérer la balle de riz entière ou broyée. D'autres liants peuvent être utilisés.
- La cendre de balle de riz (CBR) est un matériau pouzzolanique efficace, qui, mélangé à de la chaux, produit un liant hydraulique (pour plus de détails, voir section *Les matériaux pouzzolaniques*).
- Production d'un agrégat léger pour le béton, à partir d'un mélange de CBR et de terre mis sous forme de nodules et fritté dans un four.

Déchets de noix de coco

- L'exploitation de la noix de coco donne lieu à plusieurs sous-produits: les enveloppes fraîches, les coquilles et les déchets de l'industrie du coir.
- L'enveloppe est constituée de fibres, longues de 15 à 35 cm (environ 60 % de l'en-



veloppe). La résistance à la traction de ces fibres est élevée, mais elle est influencée par l'humidité. Les fibres, et plus encore la pulpe (matière légère comme du liège), sont chimiquement réactives aussi longtemps qu'elles demeurent sèches. Pendant le rouissage (ramollissement par immersion dans l'eau), elles perdent leur réactivité. Les procédés de fabrication de matériaux de construction différents, selon qu'il s'agit de travailler des enveloppes rouies (non réactives) ou non rouies (réactives).

- Le pressage à chaud (150°C, sous 1 MPa, pendant 15 à 25 minutes) et sans additif, des enveloppes non rouies, permet de produire des panneaux de particules résistants.
- Le pressage à chaud et sans additif, de la pulpe non rouie obtenue par défibrage d'enveloppes mûres, permet de produire des panneaux solides et résistants à l'humidité. En procédant de façon identique, mais en ajoutant de la pulpe rouie (matériau granuleux, hautement élastique et de faible densité), les panneaux obtenus sont plus légers et flexibles.
- Le mélange de pulpe rouie avec de la résine liquide de coquille de noix de cajou (substance caoutchouteuse) produit un matériau gonflant idéal pour le bourrage de joints. Ce produit résiste aux fluctuations d'humidité et de température, ainsi qu'aux insectes et aux champignons.
- Les granules de pulpe rouie, utilisés comme agrégat, améliorent le coefficient d'isolation thermique du béton.
- Le pressage à chaud, d'un mélange de fibres non rouies et de cire de paraffine, permet de produire des panneaux résistants et flexibles (panneaux de fibres).
- Les déchets provenant de la taille du coir (contenant fibres, pulpe et poussières), agglomérés avec une colle, permettent de produire des panneaux de particules qui présentent un aspect tacheté attrayant.
- Le mélange de déchets de coir et de CPO, moulé sous compression, permet de produire de grandes plaques de couverture ondulées (voir section *Béton de fibres*).
- Des coquilles de noix de coco réduites en petits morceaux et agglomérées avec des colles conventionnelles permettent également de produire des panneaux de particules de bonne qualité.
- Le goudron de coquille de noix de coco, obtenu par distillation destructive des coquilles, est un liquide légèrement visqueux aux propriétés anti-microbiennes.

Les déchets de bois

- Sciure, éclats, copeaux et autres déchets de scieries sont utilisés pour la fabrication de panneaux de particules, de panneaux de fibres et de panneaux de laine de bois.
- L'utilisation de sciure comme agrégat pour le béton (utiliser du ciment magnésien), permet de préfabriquer des éléments légers (p. ex. cadres de fenêtre et de porte).
- Le mélange, dans un malaxeur, de déchets de bois avec des matériaux inorganiques (ciment, trass, chaux, matériaux pouzzolaniques), permet de fabriquer des panneaux d'agglomérés pour diverses applications sans rôle porteur.
- Le tannin (extrait de l'écorce de diverses espèces de bois lors de leur traitement) sert à la production de colles qui permettent de fabriquer des panneaux de particules.

Roseaux et pailles

- Le pressage à chaud et sans liant, de pailles de blé, d'orge, de riz et d'autres plantes permet de fabriquer des panneaux rigides. Selon le procédé Stramit, une feuille de papier recouvre chacune des faces de tels panneaux.
- Les roseaux ou d'autres variétés de paille à tige raide servent à la fabrication de panneaux flexibles. Ceux-ci sont réalisés en plaçant les tiges côte à côte et en les couplant avec du fil de fer galvanisé ordinaire.
- Le mélange de terre argileuse humide avec des pailles ou d'autres matériaux fibreux secs, hachés en longueurs de 10 à 20 cm et ramollis dans de l'eau, permet de construire des murs (terre-paille ou torchis). Ces murs, rigides et isolants, sont réalisés en compactant le mélange dans un coffrage.

Bagasse

- Il s'agit du résidu fibreux obtenu lors du traitement de la canne à sucre. La bagasse ne convient pas au renforcement de produits à base de ciment, parce que le sucre retarde la prise du ciment.
- Mélangée à certaines colles organiques, la bagasse permet de produire des panneaux de particules, ainsi que des panneaux de fibres.

Tiges et feuilles de bananiers

- Les fibres de bananiers permettent de produire des bétons de fibres.
- Tiges et feuilles, hachées et bouillies, donnent un liquide épais. Ce liquide, appliqué sur des couvertures et murs en terre, les rend imperméables et augmente leur résistance au frottement et à la fissuration.

Résine de coquille de noix de cajou (RCNC)

- Du traitement de la noix de cajou, résulte un liquide visqueux extrait du mésocarpe. En cas de contact direct avec la peau, le RCNC provoque de sérieuses boursoufflures. Il s'agit d'un anti-microbien et d'un hydrophobant efficace qui sert à traiter les matériaux susceptibles d'être attaqués par des organismes vivants (p. ex. couverture en chaume). Le RCNC s'applique à la brosse ou est pulvérisé en le mélangeant préalablement avec du kérosène pour réduire sa viscosité.

Jacinthe d'eau

- A l'origine, cette belle plante ne se rencontre qu'au Brésil. A présent, elle cause de sérieux problèmes sur toute la ceinture tropicale en obstruant les voies navigables; dans le sud-est asiatique, elle envahit les rizières. De nos jours, on l'utilise couramment pour la production de biogaz, l'amélioration des sols et comme nourriture pour les animaux.
- Des recherches, menées en Inde et au Bangladesh, montrent que la pulpe fibreuse de tiges hachées de jacinthe d'eau permet de réaliser des panneaux résistants et flexibles.

Déchets végétaux divers

- Une grande variété d'autres déchets agricoles (p.ex. tiges de maïs et jute, coques d'arachide) peuvent être valorisés. L'usage le plus courant est la fabrication de panneaux de particules ou de panneaux de fibres.
- L'utilisation de ciment comme liant n'est envisageable que si les déchets à agglomérer ne contiennent pas de produits qui lui sont contraires (retardateurs de la prise





*Produits à base de jacinthes d'eau
au Housing & Building Research
Institut, de Dhaka, au Bangladesh
(Photo K. Mukerji)*

*Plaques ondulées en asphalte,
fabriquées en Inde
(Photo: National Building
Organisation, New Delhi)*



*Comparaison entre des briques
produites avec des boues résiduaires
de centrale d'épuration des eaux
usées et des briques normales en
argile cuite, au Nanyang
Technological Institute de Singapour.
(Photo: K. Mukerji)*

du ciment). Les déchets ne peuvent non plus présenter de cavités susceptibles de piéger le ciment, car cela conduiraient au gaspillage d'un produit coûteux. Les particules ou fibres doivent être assez longues pour obtenir des recouvrements suffisants.

- La carbonisation (conversion en carbone par combustion lente) de certains grains non comestibles, qui les transforme en éléments poreux inertes, permet de les utiliser comme agrégats légers. Ces agrégats sont alors utilisés de façon similaire aux agrégats légers conventionnels (p.ex. billes de polystyrène). Ils sont biologiquement inertes, résistent au feu (jusqu'à 2000°C) et sont hautement résistants à l'eau, ainsi qu'aux produits chimiques.

Déchets de papier et déchets textiles

- Déjà collectés pour d'autres usages (vieux papiers, emballages, chiffons, sacs, loques, matelas, etc.) papiers et loques déchiquetés peuvent aussi servir d'isolant thermique. Ces déchets peuvent être utilisés pour remplir des évidements ou pour fabriquer des panneaux sandwich. Ces matériaux sont ignifugés en les trempant dans une solution de borax (laisser ensuite sécher avant de les utiliser).
- Des plaques ondulées en asphalte peuvent être produites à partir d'une pulpe composée de déchets textiles et de papier, battus et lavés. La pulpe est versée sur des plaques et ensuite séchée soit au soleil, soit dans une chambre de séchage. Une fois durcie, la feuille produite est coupée à dimension et traverse un four. Celui-ci est équipé de rouleaux profilés qui lui donnent une forme ondulée. Pour terminer,

la feuille est trempée dans un bain d'asphalte chaud.

Boues résiduaires de centrales d'épuration des eaux usées

- Les boues récupérées dans les installations d'épuration des eaux usées, sont normalement utilisées, après séchage, comme matériau de remblai. Sur la petite île-état de Singapour, l'important volume de ces boues pose un sérieux problème de décharge. Des recherches sont entreprises, au Nanyang Technological Institute, pour tenter de fabriquer des matériaux de construction à partir de ces boues.
- Des briques cuites produites à partir d'un mélange d'argile et de 40 % de boue sèche ou de 50 % de cendre de boues calcinées, s'avèrent meilleures que le mélange conventionnel argile + cendres. Il n'est pas conseillé de travailler avec une proportion de boue plus élevée.
- La substitution de 20 % de ciment par de la cendre de boue résiduaire, calcinée et pulvérisée, améliore l'ouvrabilité du béton. Le temps de prise n'est pas affecté, mais la résistance à la compression diminue en même temps qu'augmente la proportion de cendre.
- L'utilisation de cendre de boue résiduaire, calcinée et partiellement broyée, comme agrégat calibré pour la composition de bétons légers, ou comme agrégat grossier dans la composition de bétons sans fines, donne des résultats satisfaisants.

Déchets de charbon

- Le charbon étant un matériau organique, les déchets dont il est question sont traités ici, même s'il s'agit principalement des matériaux inorganiques.



- La gangue est un sous-produit de la production du charbon. Elle est principalement composée de silicium et d'aluminium, dont 75 % d'oxydes. En Chine d'importantes quantités de gangue sont employées dans la production de matériaux de construction: principalement comme blocs de maçonnerie, ou alors comme agrégat dans la composition de bétons légers, ou encore comme substitut au ciment.
- La combustion du charbon, dans les centrales électriques thermiques, produit essentiellement deux types de résidus: du mâchefer (ou scories de chaudière), ou des cendres volantes (ou cendres de combustible pulvérisé). Le mâchefer se forme soit lors de la combustion des morceaux de charbon, soit lors de la combustion de charbon pulvérisé qui fond, s'agglomère en grumeaux et tombe au fond du foyer. La cendre volante, produite par la combustion de charbon pulvérisé, est une fine poussière emportée par les gaz de combustion. La teneur en carbone imbrûlé varie dans les cendres de charbon.
- Le mâchefer et les agglomérats de cendres volantes sont employés comme agrégats légers dans la fabrication de blocs en béton.
- La cendre volante et/ou le mâchefer écrasé sont employés dans la production de briques d'argile cuite, de même que dans la composition de mortiers de maçonnerie et de bétons caverneux. (Pour plus de détails concernant les cendres volantes, voir section *Les matériaux pouzzolaniques*).

Déchets inorganiques

Laitier de haut fourneau

I C'est le matériau en fusion qui flotte au-dessus de la fonte brute dans le haut-fourneau. (De plus amples détails sont donnés dans la section *Les matériaux pouzzolaniques*).

Déchets de bauxite

- La production d'oxyde d'aluminium requiert le lavage préalable du minerai de bauxite. L'eau de lavage est collectée dans des étangs, qui, ensuite asséchés, permettent de recueillir un résidu appelé boue rouge.
- La boue rouge mélangée à de l'argile permet de fabriquer des produits cuits: briques, carreaux et pellets. Les pellets peuvent servir d'agrégats légers pour le béton, ou, finement broyés, ils constituent un matériau pouzzolanique de bonne qualité.

Boues résiduaires de chaux

- Il s'agit de précipités de carbonate de calcium, auxquels s'ajoute de la chaux libre en quantité variable. Ces boues résiduaires sont des sous-produits engendrés par divers processus industriels (fabrication d'engrais et de papier, fabrication du sucre, tannage du cuir, production de soude à l'ammoniaque du commerce et de carbure de calcium).
- Les boues résiduaires de chaux sont employées dans la fabrication du ciment portland, ainsi que pour la production de briques sable-chaux.
- La calcination de ces boues résiduaires, dans des fours, produit de la chaux vive (oxyde de calcium). Pour ce faire, les boues sont préalablement moulées en forme de briques.

- Le mélange et la cuisson de balles de riz avec des boues résiduaires de chaux préalablement séchées, produit un liant hydraulique (voir section *Les matériaux pouzzolaniques*). La cuisson est réalisée en empilant des couches de mélange, séparées par des couches de combustible.

Phosphogypse

- Le phosphogypse (sulfate de calcium + traces de phosphates) est une boue résiduaire qui provient de la fabrication d'engrais et d'acide phosphorique. Il contient plusieurs impuretés, dont l'élimination est coûteuse (lavage, traitements thermiques et chimiques). Dans une certaine mesure, le phosphogypse est radioactif et son utilisation dans la construction n'est donc pas recommandée.
- Lorsque la quantité d'impuretés et la radioactivité sont suffisamment faibles, ce gypse purifié est utilisé comme retardateur de prise dans la composition du ciment portland. Il peut aussi être utilisé pour produire du plâtre, ou encore pour fabriquer des panneaux plâtre-fibres, ainsi que des blocs en plâtre.
- Le temps de prise des ciments au phosphogypse est plus long et leur résistance se développe plus lentement au départ, mais par après (à 28 jours) la résistance devient comparable à celle des ciments ordinaires.

Déchets de démolition

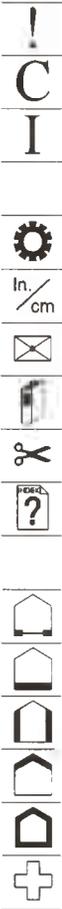
- De nombreux déchets provenant de la démolition de bâtiments peuvent être recyclés dans de nouvelles constructions. Un démantèlement et une séparation méthodique des divers éléments (parties métalliques, poutres et planches de bois, fenêtres, portes, carreaux, tuyaux, etc.) contri-

bue à la conservation de ressources limitées. Cette manière de procéder économise d'importantes sommes, ainsi que l'énergie nécessaire à la production de nouveaux éléments.

- Des débris de brique finement broyés ont des propriétés pouzzolaniques (voir point *Argile cuite* dans la section *Les matériaux pouzzolaniques*). Broyés, pour les réduire à un diamètre inférieur à 20 mm, ces débris servent d'agrégat grossier dans la composition de bétons (pratique particulièrement répandue dans un pays comme le Bangladesh où les agrégats naturels sont rares). Cet agrégat absorbant beaucoup d'eau, la composition du béton prévoit un rapport eau / ciment plus élevé.
- Les débris de béton peuvent être réutilisés comme agrégat dans la composition de nouveaux bétons.

Vieux métaux

- La récupération et la réutilisation des vieux métaux sont parmi les activités les plus importantes de la planète, si on en juge par le nombre d'entreprises et de personnes employées, par le tonnage des matériaux traités et par la valeur des équipements employés. Les vieux métaux sont récupérés sur les sites de construction (p. ex. chutes de barres et de treillis d'armature, fils métalliques et clous) et de démolition, dans les ateliers travaillant les métaux (coqueaux et limailles de tours, de perceuses, etc.), les garages et les usines (débris de voitures, fûts vides, machines déclassées, etc.). Les vieux métaux sont aussi récupérés auprès des ménages (boîtes de conserve, appareils ménagers, outils cassés, mobilier, etc.) et sur les décharges.



- Une fois triés, les vieux métaux collectés sont fondus dans de petites fonderies décentralisées pour produire de nouveaux éléments métalliques. Ceux-ci sont refaçonnés dans une forge, coupés en morceaux ou soudés pour fabriquer de nouveaux produits. Les vieux métaux peuvent aussi être réemployés sans traitement spécial.
- La consommation de boissons conditionnées dans des boîtes de conserve est moins répandue dans les pays en développement que dans les pays industrialisés. Cependant, là où de telles boîtes sont disponibles en grande quantité, elles sont utilisées avec succès pour la construction de maçonneries légères et isolantes.
- Copeaux métalliques et limailles (tours, perceuses, etc.), exempts de toutes traces de graisse, sont utilisés comme agrégats pour la composition de bétons particulièrement résistants à la fissuration, aux impacts et à l'usure (idéal pour routes et pavements).
- Boîtes de conserve aplaties, fûts et carrosseries de voiture, servent à la réalisation de connecteurs métalliques bon marché, p. ex. pour la construction de charpentes en bois.
- Le verre cassé peut être recyclé dans la fabrication du verre, mais il a aussi certaines applications dans la production de matériaux de construction.
- Des débris de verre broyés en une fine poudre et ajoutés à de l'argile (7 parts de poudre de verre et 3 parts d'argile), réduisent la température de cuisson de l'argile. Cela permet d'économiser du combustible. Les briques obtenues sont dures et résistent aux vents et à la pluie. Une autre formule conduisant à la production de briques très solides et résistantes, consiste à chauffer un mélange constitué de 31 % de verre écrasé, 6 % d'argile, 7 % d'eau et 56 % de débris de briques broyés.
- Du verre broyé, de granulométrie continue calibrée entre 3 mm et 2 µm, peut aussi être utilisé comme agrégat pour le béton. Attention, certains types de verre (p.ex. verre à base de soude et Pyrex) gonflent à cause du pH basique du ciment portland, d'où fissuration et pour finir désagrégation du béton.

Déchets de verre

- Dans la plupart des pays en développement, les bouteilles usagées propres ont une haute valeur commerciale. Il est donc difficile d'envisager de les utiliser comme matériau de construction. Dans les pays plus développés, où les bouteilles vides n'ont aucune valeur commerciale, elles peuvent servir à la construction de murs attrayants qui laissent passer la lumière.

Soufre

- La désulfuration du pétrole et du gaz naturel rejettent de grandes quantités de soufre. Étant donné les nombreuses applications du soufre dans la fabrication de matériaux de construction, une section entière lui est consacrée (voir section *Le soufre*)

Applications

- Principalement des panneaux dont la charge (balle de riz, déchets de noix de coco, déchets de bois, bagasse, fibres de bananier et autres déchets végétaux) est agglomérée par un liant organique ou inorganique.

- Panneaux, sans liant, constitués de paille, d'enveloppes de noix de coco, de fibres de bois, de jacinthes d'eau, pressés à chaud.
- Matériau d'isolation thermique et agrégats légers pour le béton: nodules de cendres de balle de riz, pulpe de noix de coco, sciure, paille, grains carbonisés, tissu et papier déchiquetés, cendres de boues résiduaires de centrales d'épuration des eaux usées, mâchefer et agglomérats de cendres volantes, laitier de haut fourneau, pellets de boues rouges, mousses de soufre.
- Agrégat pour le béton: débris de brique et de béton (débris de démolition), verre broyé.
- Matériaux entrant dans la composition de ciments, ou de substitut au ciment (matériaux pouzzolaniques): cendre de balles de riz, cendres volantes, laitier de haut fourneau, bauxite, boues résiduaires de chaux, phosphogypse, argile cuite broyée.
- Additifs pour la production de brique d'argile: balles de riz, déchets de bois, boues résiduaires de centrales d'épuration des eaux usées, mâchefer, boues rouges du lavage de la bauxite, verre broyé.
- Plaques de couverture ondulées à base de: déchets de coir, laine de bois, fibres végétales, déchets de papier et textiles.
- Colles et enduits de protection de surface à base de: tannin, feuilles et tiges de bananier, extrait de coquille de noix de cajou, boues résiduaires de chaux, soufre.

Avantages

- Le recyclage des déchets préserve des ressources rares et coûteuses, mais il permet aussi de réutiliser des matériaux localement disponibles, ce qui réduit les coûts et les transports.
- Le recyclage des déchets réduit la pollution en valorisant des matériaux dont il est difficile de se débarrasser, ainsi qu'en réduisant les besoins en nouveaux matériaux, dont la production fait appel à des procédés industriels polluants.
- Le recyclage des déchets économise une quantité considérable de l'énergie nécessaire à la production de nouveaux matériaux.
- Certains déchets améliorent la qualité de certains matériaux (p. ex. utilisation de matériaux pouzzolaniques artificiels dans le béton).

Problèmes

- Manipuler des déchets peut être dangereux: p.ex. inhalation de fines particules; boursouffures, brûlures et maladies dues à des substances toxiques, blessures graves provoquées par des débris de verre ou des déchets métalliques.
- Même si la quantité totale de déchets disponibles est importante, les lieux de production peuvent être fort dispersés, ce qui complique la collecte.
- Une fois qu'un sous-produit devient un matériau de construction intéressant, son prix augmente, si bien que le bénéfice lié à l'utilisation d'un matériau bon marché se perd rapidement.



- Les matériaux de construction fabriqués à partir de déchets n'atteignent pas toujours les performances (solidité, durabilité) des matériaux qu'ils remplacent (si le prix est faible, les désavantages peuvent être acceptés).
- Le concept d'utilisation des déchets et la crainte de problèmes futurs liés aux qualités inférieures des matériaux, rebutent les constructeurs.

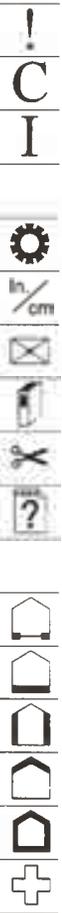
Remèdes

- En matière de manipulation de déchets, une surveillance attentive, ainsi que l'observance stricte de mesures de sécurité (p.ex. l'emploi de gants, de lunettes et de vêtements de protection) est d'une importance vitale pour réduire les risques de blessures et les problèmes de santé.
- Information des producteurs de sous-produits utilisables, pour qu'ils facilitent la collecte grâce à un traitement et un stockage appropriés sur le lieu de production.
- Importants efforts de démonstration de la technologie et de ses bénéfices, surtout dans le cas de l'utilisation possible de déchets moins connus mais prometteurs. Des réalisations de démonstration fort en vue (de préférence d'importants bâtiments publics) aident à convaincre la plupart des sceptiques.
- Dans la construction, l'utilisation des déchets ouvre de larges perspectives de recherche. Il faudrait leur donner priorité - même dans les pays plus développés - étant donné l'extrême nécessité de sauvegarder les ressources en matières premières et en énergie. Les économies faites permettront la création de nouveaux logements.

COMPARAISON DES MATÉRIAUX

- Les matériaux sont groupés par classe. Les classes sont identifiées par un chiffre.
- Plus le chiffre est élevé, plus la valeur de la caractéristique concernée est importante.

		densité	résistance à la compression	résistance à la traction	résistance électrique	résistance à l'érosion hydraulique	résistance aux acides	résistance aux bases	résistance aux agents biologiques	inflammabilité	conductivité thermique	chaleur volumique	réflectance au rayonnement IR	réflectance au rayonnement solaire
- = info manquante / = sans objet x = variable														
pierre	3	2	1	2	3	x	3	4	1	3	2	1	2	
adobe	3	1	1	2	1	-	-	1	1	2	2	1	1	
pisé	3	1	1	2	2	-	-	2	1	3	2	1	1	
terre stabilisée	3	1	1	2	2	2	-	3	1	3	2	1	1	
terre cuite	3	1	1	2	3	-	-	4	1	3	2	1	2	
béton	3	2	1	2	3	2	2	4	1	3	2	1	2	
béton armé	3	3	1	2	3	1	2	4	1	3	2	1	2	
ferrociment	3	/	1	2	3	1	2	4	1	3	2	1	2	
microbéton	3	2	1	2	3	2	2	4	1	3	2	1	2	
fibromortier	3	2	1	2	3	1	2	4	1	3	-	1	2	
chaume	1	/	/	2	3	1	-	1	3	1	-	-	1	
bambou	1	3	2	2	3	1	1	1	2	1	1	1	1	
bois	2	3	2	2	3	1	1	2	2	1	1	1	2	
acier, cuivre, zinc, laiton	4	4	3	1	3	1	1	4	1	4	3	2	x	
aluminium	3	4	3	1	3	1	1	4	1	4	2	3	3	
verre	3	3	2	2	3	3	1	4	1	3	4	1	1	
plastiques	3	4	3	2	3	2	1	x	3	1	-	-	-	
soufre	3	-	-	-	3	-	-	4	3	-	-	-	-	



Notes complémentaires personnelles

LES FONDATIONS

Généralités

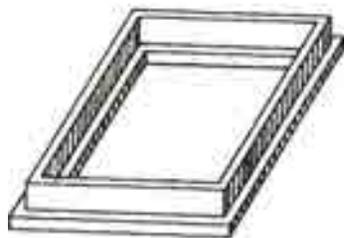
La stabilité d'une construction dépend en grande partie de sa fondation. Le type de fondation et son dimensionnement doivent être adaptés à l'ouvrage à porter, mais aussi et surtout à la portance du sol. Ainsi, des sols meubles, et ceux qui le deviennent lorsqu'ils sont humides, nécessitent des fondations plus complexes et plus coûteuses que des sols fermes. Enfin, la conception de la fondation doit aussi tenir compte des risques naturels, tels que séismes, ouragans, inondations, etc.

Il existe différents types de fondation qui permettent de répondre aux nombreuses exigences et contraintes dont il faut tenir compte. Ci-après, cinq types de fondation adaptés aux constructions économiques sont brièvement présentés.

Types de fondations

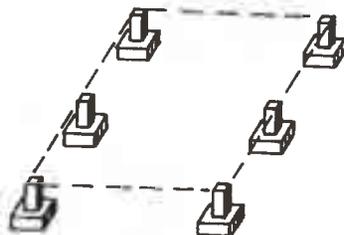
Semelle filante

C'est la fondation la plus répandue. Elle consiste en une semelle continue supportant un mur porteur sur toute sa longueur. Ce type de fondation s'emploie aussi pour traverser des portions de sols meubles, dans quel cas, elle doit être armée.



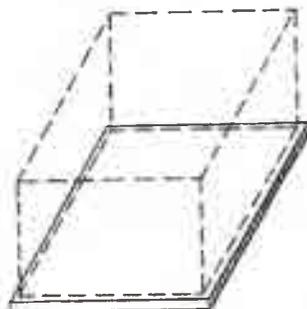
Fondation ponctuelle ou semelle isolée

Fondation classique pour colonnes ou poteaux (constructions à squelette). La semelle de forme carrée (parfois rectangulaire ou ronde) est au moins 3 fois plus large que la colonne ou le poteau supporté.



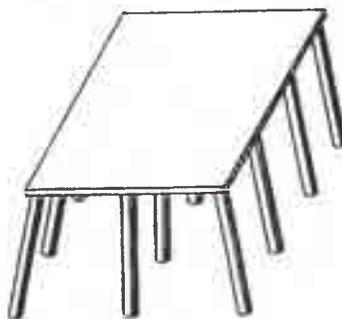
Dalle de fondation ou radier

Ce type de fondation est souvent employé pour de petits bâtiments, ainsi que pour des constructions caractérisées par une distribution uniforme des charges (p.ex. réservoirs d'eau). Des dalles sur sol homogène ne requièrent pas d'armature. Lorsque les dimensions de la dalle deviennent importantes, il est conseillé de l'armer, car un sol d'appui non homogène conduit à des contraintes différentielles.



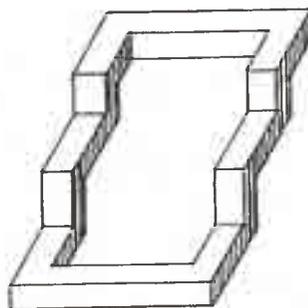
Fondation sur pieux

Ce type de fondation est employé en cas de mauvais sol ou de construction sous eau. Des puits sont creusés au travers du sol de mauvaise qualité, jusqu'à rencontrer un niveau porteur. Ils sont ensuite comblés avec un matériau de fondation stable (soit mis en oeuvre sur le chantier, soit des éléments préfabriqués). Les sommets des pieux sont reliés, soit par une dalle de béton armé, soit par des poutres, qui agissent alors comme des semelles continues. L'inclinaison de certains pieux assure la stabilité latérale.



Fondation en escalier

Employée en cas de construction sur sol en pente. Il s'agit d'une fondation linéaire, dont le profil en escalier permet d'économiser le matériau de fondation, et de réaliser des surfaces horizontales qui s'échelonnent le long de la pente.

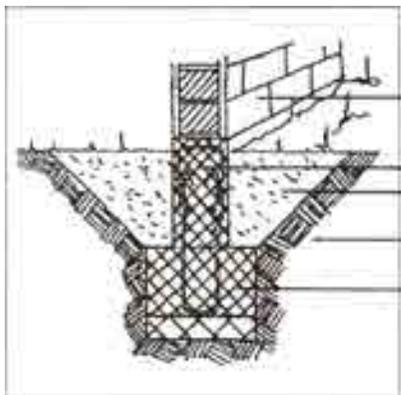


La plupart des autres types de fondation sont, soit des variantes des fondations présentées ci-dessus, soit des fondations spéciales moins adaptées aux constructions économiques.

Considérations relatives à la conception

Éléments de base d'une fondation

Détail d'une fondation linéaire ou à semelle continue



- Maçonnerie
- Mur de fondation
- Terre de remblai
- Terrain en place
- Base élargie

- La base élargie remplit 3 fonctions principales: 1. Elle est une base solide et de niveau sur laquelle s'appuie le mur de fondation; 2. Elle tend à uniformiser les sollicitations transmises au sol par la construction; 3. Elle ancre la construction dans le sol, pour résister aux forces d'aspiration vers le haut, créées par les ouragans.
- Le mur de fondation remplit également 3 fonctions principales: 1. Il est la base, de niveau, sur laquelle sont posés les murs de la construction; 2. Il contribue à la stabilité de la construction en rigidifiant la fondation; 3. Il empêche l'humidité du sol de remonter dans le mur qu'il supporte.

Dimensions

- La base doit être suffisamment profonde pour atteindre un sol ferme, exempt de plantes, de racines, de remblai, etc. En moyenne, la profondeur varie généralement de 50 à

100 cm, mais s'il existe un danger d'érosion ou de glissement dû à la pluie ou à des inondations, il faut considérablement l'augmenter.

- Une méthode simple pour déterminer la profondeur à donner à une fondation consiste à se renseigner dans le voisinage. On peut

adopter la même profondeur que celle des bâtiments ayant fait preuve de stabilité (pas de fissures ou autres dommages). Si la stabilité des bâtiments alentour est douteuse, il est conseillé de descendre plus profond.

- Les dimensions de la base élargie dépendent de la portance du sol et du poids de la maison. Sa hauteur est de préférence supérieure à l'épaisseur de la colonne ou du mur supporté, et sa largeur doit tenir compte d'une diffusion des efforts internes selon un angle de 60° . En moyenne la largeur varie de 30 à 60 cm.
- Les murs de fondation sont de préférence plus épais que les murs qu'ils supportent, et ils émergent suffisamment au-dessus du sol, pour les protéger du rejaillissement des pluies. La hauteur dépassant au-dessus du sol dépend de l'intensité des précipitations et du débordement de la toiture. Il est fréquent de rencontrer des dépassements de 20 à 50 cm.



Excavation

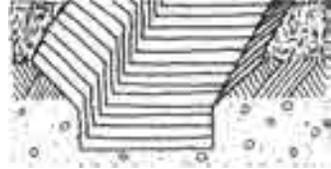
- Les tranchées de fondation doivent être soignées pour obtenir un fond de fouille ferme et de niveau, ainsi que des côtés verticaux et nets.

Erroné



- Le matériau excavé de la tranchée est mis de côté et sert ensuite de remblai après l'achèvement du mur de fondation. Le matériau de remblai doit avoir les mêmes caractéristiques (type de sol, humidité, densité) que celles du sol en place environnant.

Correct



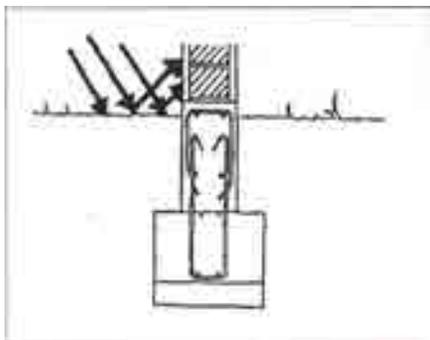
Protection des fondations

- Les bétons hydrofugés, la pierre naturelle et les briques cuites imperméables sont à l'abri des infiltrations d'humidité provenant du sol ou de la pluie. Un enduit ou une membrane imperméable, un important débordement de toiture, ou la pose de tubes de drainage (longeant la base de la fonda-

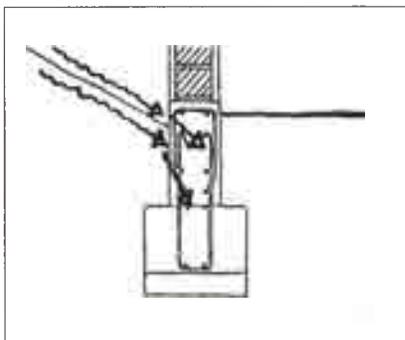
tion dans un lit de gravier), sont autant de solutions qui limitent les problèmes d'infiltration d'humidité dans les matériaux qui ne sont pas imperméables.

- Pour la protection contre des termites, voir la section *Agents Biologiques*.

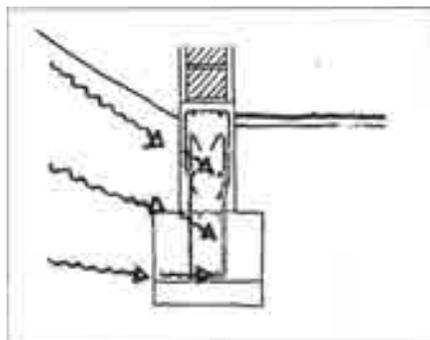
La fondation peut être attaquée par:



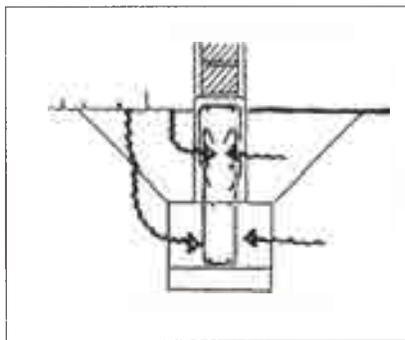
1. La pluie et le vent



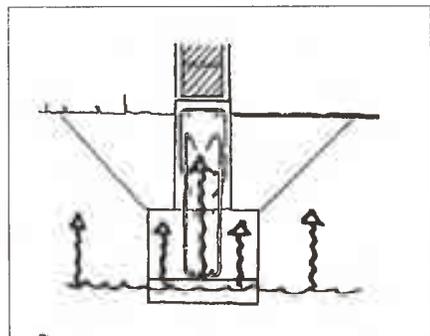
2. Les écoulements de surface sur terrains inclinés



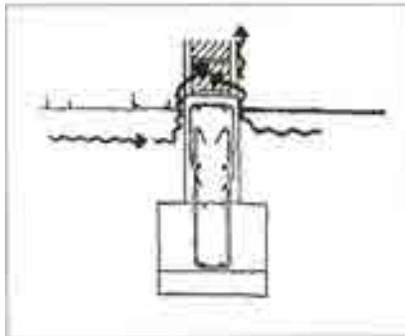
3. Les écoulements souterrains



4. L'eau de surface s'infiltrant dans le sol



5. L'eau phréatique

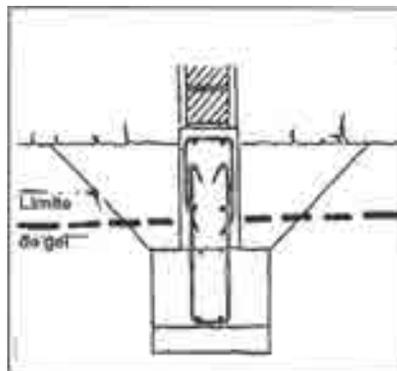


6. Les termites



Aspects divers

- Les sols meubles argileux doivent être préalablement consolidés avant d'y asseoir un bâtiment. La consolidation est obtenue en y enfonçant des drains verticaux qui permettent d'assécher le sol. Il peut s'agir de drains rigides en sable, ou de drains flexibles. Des drains flexibles, efficaces et bon marché, fabriqués à partir de coir et d'étoffe en jute, ont été développés à l'Université de Singapour et au Central Building Research Institute en Inde.
- Un sol fort sec absorbe rapidement l'humidité du béton frais, ou du mortier d'une fondation maçonnée. On évite ce problème en arrosant abondamment les tranchées avant d'y mettre en place les matériaux de fondation.
- Lorsque la température descend sous 0°C (p. ex. dans les régions montagneuses), l'eau présente dans le sol, gèle et gonfle, ce qui peut endommager une fondation et donc tout un bâtiment. Le gonflement dû au gel apparaît essentiellement dans des sols limoneux. Pour mettre la fondation à l'abri du gel, la base doit se trouver en dessous de la limite de gel. Selon le climat, cette limite se situe à une profondeur variant entre 50 et 100 cm, ou plus bas encore dans des climats très froids.



LES PLANCHERS ET PLAFONDS

Généralités

Dans beaucoup de sociétés traditionnelles des pays en développement, de nombreuses activités quotidiennes (travail, préparation de la nourriture, cuisson, repas et sommeil) ont lieu à même le sol. Par conséquent, pour satisfaire aux exigences de confort et de propreté, la nature du plancher et plus encore le type de surface sont d'une grande importance.

Que les activités quotidiennes aient lieu au sol ou non, la conception d'un plancher et le choix des matériaux requièrent une attention particulière. Sont à prendre en compte, les conditions climatiques et environnementales locales, ainsi que le style de vie traditionnel et les risques naturels.

Les recommandations qui suivent concernent des climats types: chauds et humides, et chauds et secs. Dans la pratique le climat est souvent moins typé. Les solutions ici présentées permettent alors d'imaginer une multitude de conceptions intermédiaires.

Conception des planchers et plafonds

- Il est toujours avantageux de construire un plancher bien au-dessus de la surface du sol. Cela protège les murs du rejaillissement des pluies, le bâtiment des inondations (régions humides) et les occupants de la poussière soulevée par les vents de sable (régions sèches).
- Dans les régions chaudes et humides, un plancher séparé du sol par un espace protège de la vermine et facilite la ventilation (rafraîchissement et réduction de l'humidité).
- Dans les régions chaudes et sèches, un plancher à même le sol profite de la tem-

pérature plus fraîche de ce dernier.

- Dans les régions où se produisent des refroidissements saisonniers, brefs, mais marqués, la fraîcheur d'un sol pavé normalement la bienvenue, peut, à ce moment, être adoucie par des tapis, ou des nattes.
- Le choix de la couleur d'un plancher exposé au soleil résulte d'un compromis entre: éviter la réflexion et empêcher l'absorption de chaleur.
- Les surfaces lisses conviennent mieux aux régions où la poussière pose problème, tandis que des surfaces antidérapantes sont destinées aux escaliers et régions humides.
- Sur un sol non homogène, des tassements différentiels peuvent affecter les fondations et/ou planchers et causer de sérieux dommages. Des joints de mouvement entre planchers et murs, ou planchers et fondation permettent d'éviter de tels problèmes.
- Une barrière imperméable empêche les infiltrations d'humidité du sol.
- L'isolation phonique des plafonds permet de freiner la transmission du son d'un étage à l'autre. Des matériaux susceptibles de vibrer et des jonctions mur-plafond inappropriées sont la source de problèmes acoustiques.



COMPARAISON DES MATÉRIAUX POUR PLANCHERS

- Les matériaux sont groupés par classe. Les classes sont identifiées par un chiffre.
- Plus le chiffre est élevé, plus la valeur de la caractéristique concernée est importante
- Le climat le plus approprié est identifié par une ou deux lettres. CH = chaud et humide; CS = chaud et sec; T = tempéré; TC = tous climats

		pois	résistance aux séismes	dangers en cas d'effondrement	inflammabilité	résistance au feu	résistance aux agents biologiques	résistance à l'abrasion	crainit l'humidité du sol	perméabilité à la vapeur d'eau	inertie thermique	réflectance des IR lointains	réflectance des IR solaires	région(s) climatique(s) conseillé(e)s
- = info manquante / = sans objet x = variable														
corps de plancher														
voûte en pierre	4	1	3	1	3	2	/	1	1	3	/	/	/	CS
voûte en briques de terre cuite	4	1	3	1	3	2	/	1	3	3	/	/	/	CS
voûte en briques de terre stabilisée	4	1	3	1	3	2	/	2	2	3	/	/	/	CS
branchages + terre stabilisée damée	3	2	2	2	2	1	/	/	3	3	/	/	/	CS
dalle massive en béton armé	4	3	2	1	2	2	/	1	1	3	/	/	/	CS
voussoirs + chape armée	3	2	2	1	2	2	/	/	1	2	/	/	/	CS
poutres armées + voussoirs + chape	3	2	2	1	2	2	/	/	1	2	/	/	/	CS
bambou	1	3	1	3	1	1	/	3	4	1	/	/	/	CH
poutres et planches en bois	2	3	1	3	2	1	/	3	3	1	/	/	/	CH
 finition de sol														
pierres plates	3	/	2	1	/	3	4	1	1	2	1	1	1	CS
carreaux en terre stabilisée	3	/	2	1	/	3	3	2	2	2	1	1	1	CS
carreaux en terre cuite (rouges)	3	/	2	1	/	3	3	1	3	2	1	2	2	CS
carreaux en béton de soufre	3	/	2	2	/	3	-	1	1	2	-	-	-	
asphaltes au soufre	1	/	1	3	/	3	-	1	1	-	-	-	-	
chape en terre	4	/	2	1	/	1	2	3	3	2	1	1	1	CS
chape en terre stabilisée	4	/	2	1	/	2	2	2	2	2	1	1	1	CS
chape en béton	3	/	2	1	/	3	4	1	1	2	1	2	2	CS
revêtements en bambou	1	/	1	3	/	1	1	3	4	1	-	-	-	CH
revêtements bois	2	/	1	3	/	1	2	3	4	1	1	2	2	CH
revêtements plastique	1	/	1	3	/	-	-	1	-	1	-	-	-	TC

LES MURS

Généralités

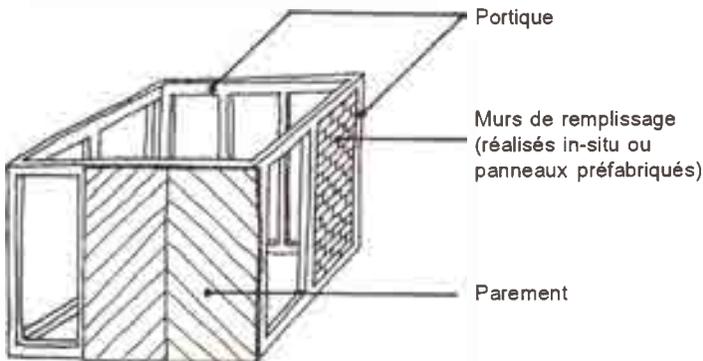
Les principales fonctions des murs :

- Protéger l'habitant de la chaleur ou du froid, de la pluie, du vent, de la poussière, du bruit, et autres éléments extérieurs indésirables;
- Réguler le climat intérieur (température, humidité de l'air, courants d'air);
- Garantir l'intimité;
- Empêcher les intrusions d'animaux ou de personnes;
- Porter les plafonds et la structure du toit (sauf dans le cas de constructions à portiques et murs de remplissage non porteurs).

Les murs sont soit des éléments massifs jouant un rôle porteur, soit des éléments sans rôle porteur, inscrits dans une ossature (poteaux et poutres en acier ou en béton) qui, elle, assure la stabilité de la construction.

Les matériaux employés dans la construction de murs massifs, sont généralement des matériaux qui possèdent une résistance à la compression élevée (p. ex. pierre, terre, brique, béton). En plus de leur propre poids, ces murs supportent la charge des planchers et de la toiture.

Une structure à portiques consiste en l'assemblage de membrures horizontales et verticales par des éléments d'angle, de manière à former des cadres porteurs. Ces éléments peuvent être en bois, en bambou ou en béton armé. L'intérieur des portiques peut rester ouvert, ou être obturé soit par un mur réalisé in situ (p. ex. murs maçonnés ou murs banchés), soit par la fixation de panneaux préfabriqués (p. ex. panneaux en bois ou composites, en béton, en ferrociment ou en briques). La fermeture des portiques les renforce et limite leur déformation. Des portiques suffisamment rigides peuvent aussi porter un parement léger (p.ex. panneaux en contre-plaqué ou en bambou, béton de fibre, ardoise).



Conception des murs

Aspects climatiques

- En régions chaudes et humides, la température fluctue peu. La construction de murs à faible inertie thermique et percés de grandes ouvertures pour la ventilation est conseillée.
- Dans les zones chaudes et arides, les différences de température nuit / jour peuvent être importantes. Il est alors conseillé de construire des murs à forte inertie thermique. Ces murs accumulent la chaleur pendant les 9 à 12 heures d'ensoleillement et la restituent par après à l'intérieur jusqu'aux heures froides précédant l'aube. Le déphasage entre les températures à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment améliore le confort thermique des occupants, tout au long de la journée. De petites ouvertures, situées au sommet des murs, permettent d'évacuer l'air chaud, tout en échappant au rayonnement solaire direct et indirect.
- En climats chauds, le bâtiment doit être orienté est-ouest. On veille aussi à ne pas créer d'ouvertures sur ces côtés, car le soleil du matin et du soir étant bas, il est difficile de les ombrager avec des pare-soleil. Lorsque des ouvertures est ou ouest sont indispensables, on veille à les réduire le plus possible. A midi, le soleil étant haut dans le ciel, un toit débordant suffit déjà pour ombrager des ouvertures situées dans des murs sud et nord.
- Bien que l'orientation des bâtiments est-ouest soit importante, dans les régions chaudes et humides le choix de l'orientation doit privilégier la ventilation. Par contre, dans les régions arides et chaudes, il faut en priorité empêcher la pénétration d'air chaud, de sable et de poussière.

- Des surfaces de mur réfléchissantes réduisent fortement l'absorption du rayonnement solaire. Un sol ombragé ou couvert de végétation, tout autour d'un bâtiment, évite la réflexion du rayonnement solaire par le sol sur la construction adjacente. Pendant la nuit, le rayonnement de la construction ne doit pas être entravé.

Murs massifs

- Dans les régions arides et chaudes, on rencontre fréquemment des murs massifs, à forte inertie thermique. Ces murs transfèrent la chaleur absorbée de l'extérieur, vers l'intérieur, mais avec un déphasage. En journée, ils maintiennent la fraîcheur alors qu'à l'extérieur la température évolue vers son maximum, et lorsque le soleil disparaît, ils libèrent la chaleur absorbée alors qu'à l'extérieur la température évolue vers son minimum.
- Classiquement, les murs massifs sont construits en pierre, en terre, en briques d'argile cuite, ou en béton.
- L'isolation de la face externe d'un mur massif multiplie par quatre le déphasage que produirait le même mur isolé de l'intérieur. L'inconvénient de l'isolation, c'est qu'elle diminue aussi le refroidissement du bâtiment pendant la nuit.

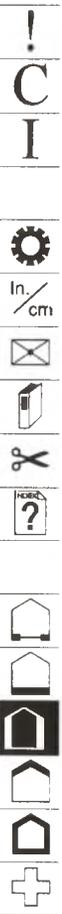
Murs creux

- La construction de deux murs séparés par une lame d'air de 4 à 6 cm a de nombreux avantages, et cela aussi bien dans les régions chaudes et humides, que dans les régions chaudes et arides.
- Le rayonnement solaire chauffe le parement extérieur qui protège le mur intérieur. Une surface extérieure réfléchissante limite fortement l'échauffement du mur extérieur.

- Seule une partie de la chaleur qui traverse le mur extérieur atteint le mur intérieur, par rayonnement ou convection. Si la surface extérieure du mur intérieur est réfléchissante, l'absorption de la chaleur transmise par le mur extérieur s'en trouve encore diminuée.
- Des ouvertures au sommet du mur extérieur permettent à l'air chaud qui s'accumule en partie supérieure de l'espace ventilé de s'échapper, tandis que des ouvertures au pied du mur extérieur permettent l'admission d'air frais dans l'espace ventilé. Cette ventilation de la lame d'air ne modifie pas l'effet du rayonnement du mur extérieur vers le mur intérieur. De jour, l'air extérieur étant chaud, la ventilation de la lame d'air n'a pas d'effet rafraîchissant. Idéalement (mais difficile à concevoir en pratique), il faudrait fermer les ouvertures en journée et les ouvrir pendant la nuit.
- La lame d'air améliore l'isolation phonique.
- Dans les régions chaudes et humides, le double mur ventilé a aussi l'avantage de protéger le mur intérieur de la pluie et de la pénétration de l'humidité. L'humidité qui traverse le mur extérieur est évacuée par la ventilation, et en cas de condensation dans l'espace ventilé, les gouttelettes chutant vers le bas sont évacuées par les ouvertures au pied du mur.
- Lorsqu'il fait chaud et humide, le mur intérieur devrait être perméable à la vapeur d'eau, pour permettre la régulation du degré hygrométrique de l'air. Le mur extérieur (généralement panneaux minces ou parement sur lattage) peut, lui, être perméable ou imperméable. Il faut éviter les ponts d'humidité entre le mur extérieur et le mur intérieur.
- Des produits creux (p. ex. briques creuses ou perforées) sont plus isolants que des produits massifs de même nature, à condition que les cavités ne soient pas ventilées. Ce peut être avantageux (diminution de la chaleur transmise par le mur extérieur).



Mur massif et mur creux sur deux projets de l'ADAUA en Mauritanie (Photos: D. Deriaz)



nution de l'échauffement pendant la journée), mais cela entrave aussi le refroidissement pendant la nuit, ce qui n'est pas toujours souhaité.

- Les produits creux sont variés. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte pour faire un choix avisé: p. ex. la température, l'intensité et la durée du rayonnement solaire, l'humidité, la pluviométrie, l'usage du bâtiment, la nature des abords immédiats.
- Dans les régions chaudes et arides, si le mur extérieur est réfléchissant et isolant, on peut remplir l'espace intérieur par des matériaux à faible inertie thermique. Le mur intérieur est généralement construit en terre, en briques ou en béton, et moins épais qu'un mur massif et il accumule moins de chaleur. Le mur extérieur est habituellement réalisé avec des briques minces, des éléments en béton, un parement de tôles (ondulées ou plates), ou de tuiles (métalliques, en argile, ardoises, fibromortier ou microbéton).
- Pour éviter que des insectes et la vermine s'installent dans l'espace ventilé, les surfaces intérieures de celui-ci doivent être lisses et dures. Un lavage occasionnel évacue toute accumulation de saleté, ainsi que les insectes.

Murs légers

- Il s'agit habituellement d'éléments minces, de faible inertie thermique (panneaux, nattes, tôles ou tuiles), qui sont fixés sur un cadre. Dans certains cas rares, ils peuvent jouer un rôle d'isolation thermique.
- De tels murs sont adaptés aux régions chaudes et humides, où l'inertie thermique est sans intérêt. Leurs fonctions principales sont l'ombrage, la définition d'un espace privé, la protection contre le vent, la pluie et les intrusions.
- Dans les régions chaudes et humides, le confort thermique est conditionné par la ventilation. Des ouvertures suffisantes, orientées face au vent, permettent de profiter d'un balayage transversal de l'habitation par les mouvements d'air extérieurs.
- En cas d'effondrement, les murs légers causent moins de dégâts que des murs, ce qui n'est pas sans importance dans les régions sismiques. Par contre, dans les régions traversées par des ouragans, les murs légers peuvent être sérieusement endommagés par la violence des vents. Pour limiter l'effet des vents violents, il faut réaliser des fixations solides, éviter les éléments de petites dimensions, ainsi que les parties en relief.



Mur léger en natte de bambou à Dhaka, au Bangladesh (Photo: K. Mathéy)

Traitements de surface

- Selon la conception et le type de matériau utilisé, la surface des murs est ou non traitée. Les traitements ont plusieurs objectifs: augmenter la durabilité (protection contre la pluie, les frottements et les agressions biologiques); améliorer les performances thermiques et le comportement à l'humidité; améliorer l'esthétique (habillage des surfaces peu attrayantes, application de couleurs et réalisation d'effets décoratifs).
- Le recouvrement de la surface d'éléments en béton, en briques ou en terre fait fréquemment appel à des mortiers à la

chaux, au ciment, ou divers enduits en terre stabilisée. Le choix de l'enduit le mieux adapté au support à recouvrir, et la mise en oeuvre correcte de l'enduit, requièrent des connaissances et une expérience spécifiques.

- Citons encore parmi les traitements de surface, les laits de chaux et de ciment, les vernis (pour le bois) et divers types de peintures (principalement des émulsions ou des peintures à base d'huiles). Le papier à tapisser est moins fréquent dans les régions tropicales, par contre nattes et tissages décoratifs sont assez répandus.

Finition de murs en terre au Ghana: Dans de nombreuses régions c'est le travail des femmes.
(Photo: H. Schreckenbach, Bibl. 00.43)

Application d'un enduit de terre à la main



Polissage de l'enduit sec à l'aide d'une pierre plate en basalte ou en granite



COMPARAISON DES MATÉRIAUX POUR MURS

- Les matériaux sont groupés par classe. Les classes sont identifiées par un chiffre.
- Plus le chiffre est élevé, plus la valeur de la caractéristique concernée est importante
- Le climat le plus approprié est identifié par une ou deux lettres. CH= chaud et humide; CS = chaud et sec; T = tempéré; TC = tous climats

	poils	résistance aux séismes	dangers en cas d'effondrement	Inflammabilité	résistance au feu	résistance aux agents biologiques	résistance à l'abrasion	craint l'humidité du sol	perméabilité à la vapeur d'eau	Inerte thermique	réflectance des IR lointains	réflectance des IR solaires	région(s) climatique(s) conseillée(s)		
corps du mur															
pierre	4	1	3	1	3	2	3	1	1	3	1	1	1	CS	
briques en terre stabilisée (rouges)	4	1	3	1	3	2	2	2	2	2	1	2	CS		
briques en terre cuite (rouge)	4	1	3	1	3	2	2	3	1	2	1	2	CS		
murs en terre	4	1	3	1	3	1	1	3	3	2	1	1	CS		
blocs en béton	4	1	3	1	3	2	3	1	1	2	1	1	CS		
ferrociment	3	2	2	1	1	2	3	1	1	2	1	1	CS		
soufre	4	1	3	2	2	2	3	1	1	-	-	-	-		
bambou	1	2	1	3	1	1	1	4	2	1	-	-	CH		
bois	2	2	1	3	2	1	2	4	3	1	1	2	CH		
enduit ou parement															
pierre	4	1	3	1	2	2	3	1	1	3	1	1	CS		
briques en terre stabilisée (rouges)	4	1	3	1	2	2	3	2	2	3	1	2	CS		
briques en terre cuite (rouge)	4	1	3	1	2	2	3	3	1	3	1	2	CS		
ferrociment	3	2	2	1	1	2	3	1	1	3	1	1	CS		
bardeaux en tôles alu	1	/	2	1	/	2	3	3	1	1	2	2	CS		
bardeaux en tôles galvanisées	1	/	2	1	/	2	3	3	1	1	2	1	CS		
bardeaux en fibro- vibromortier	2	2	2	1	/	2	3	3	1	2	1	1	CS		
bardeaux en bois	2	3	1	2	/	1	3	3	2	1	1	2	CH		
panneaux en bambou	1	3	1	3	/	1	1	3	3	1	-	-	CH		
feuilles et herbes	1	3	1	3	/	1	1	3	3	1	-	1	CH		
crépi en terre stabilisée	3	/	/	1	/	2	2	2	3	2	1	1	CS		
crépi en terre	3	/	/	1	/	1	1	3	4	2	1	1	CS		
crépi en plâtre (blanc)	3	/	/	1	/	2	1	3	2	2	1	3	CS		
crépi au ciment	3	/	/	1	/	2	3	1	1	2	1	1	CS		
crépi au soufre	2	/	/	2	/	-	3	1	1	-	-	1	-		
peinture blanche (p. ex.: chaux neuve)	1	/	/	1	/	2	1	3	2	1	1	3	CS		
peinture claire (p. ex.: vert, gris)	1	/	/	x	/	x	x	x	x	1	1	2	T		
peinture foncée (p. ex.: vert, noir)	1	/	/	x	/	x	x	x	x	1	1	1	T		

- = info manquante
/ = sans objet
x = variable

LES TOITURES

Généralités

Le toit est la partie la plus importante d'une maison (une maison sans toit n'est pas considérée comme une maison) : c'est la partie la plus coûteuse, la plus exposée aux éléments climatiques (vu sa position) et c'est elle qui conditionne de façon prépondérante le confort intérieur, de même que la gravité des dégâts en cas de tremblement de terre ou d'ouragans. Une toiture durable, bien conçue, peut compenser de nombreuses faiblesses susceptibles, sinon, de se révéler.

Outre les paramètres techniques, d'autres impératifs conditionnent la conception d'une toiture. Ainsi, de nombreuses cultures traditionnelles accordent plus d'importance aux critères suivants : croyance religieuse, habitudes de vie locales et statut social. Leur prise en compte éviterait la monotonie déprimante des constructions en série qui toutes se ressemblent maintenant dans le monde.

Bien que les paramètres traditionnels, non techniques, qui conditionnent la conception de la toiture sont importants, ils ne sont pas traités dans le présent ouvrage dont la vocation est technique. Les différents types de toitures, ainsi que les principaux critères relatifs à leur conception, dans les deux régions climatiques extrêmes, (régions chaudes et humides et régions chaudes et arides), sont résumés ci-dessous.

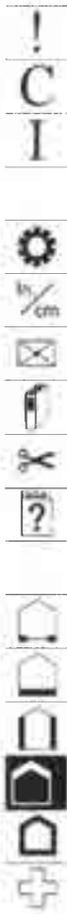
Toitures types

Toitures plates

- Elles peuvent être composées de dalles monolithiques, de plaques de couverture ou de structures spatiales, ou de systèmes simples à poutres, solives et éléments de couverture de faible portée.
- Par définition, les toits plats ont une inclinaison sur l'horizontale inférieure à 10°. Pour l'écoulement de la pluie, il faut prévoir une

penne minimale de 2°.

- Les toits plats sont moins recommandés pour les régions traversées par des ouragans parce que le vent crée une dépression au-dessus des tels toits, d'où un effet d'aspiration vers le haut.
- C'est dans les régions chaudes et arides, caractérisées par une faible pluviométrie, que les toits plats sont les plus répandus. Le toit plat est une surface supplémentaire utilisée (activités domestiques le jour et sommeil la nuit) et il permet facilement d'agrandir le bâtiment en lui ajoutant un étage.
- Pour garantir l'étanchéité d'un toit plat recouvert de tôles, le recouvrement des tôles doit être important vu la faible pente. Les bacs autoportants (éléments de couverture en asbeste ciment ayant la forme d'un canal) sont une alternative ingénieuse aux tôles ondulées. Ces éléments de grande longueur franchissent, d'un seul tenant et sans supports intermédiaires, la portée de la toiture. La suppression des supports intermédiaires réduit la charpente, le coût et le temps d'installation. L'asbeste ciment est un bon matériau en termes de solidité et de durabilité, mais il ne sera vraisemblablement plus utilisé dans les pays en développement, car l'asbeste peut être très nuisible pour la santé. Pour se passer de l'asbeste ciment, il existe également des bacs autoportants en acier galvanisé (tels que ceux produits au Mexique p. ex.) et on peut espérer que les recherches sur les bétons de fibres conduiront dans le futur, à la mise au point d'un matériau de remplacement et de qualité équivalente.
- Les toitures à structures spatiales sont constituées de membrures triangulées, assemblées en modules tridimensionnels. Ce type de structure convient particulièrement aux toitures de grandes portées, leur rigidité latérale est importante et elles peuvent





Pose d'un bac autoportant à Tegucigalpa au Honduras, 1967: installation rapide par une main d'oeuvre non spécialisée (Photo: Alvaro Ortega, qui a développé ce système de couverture).

être recouvertes d'éléments de couverture légers.

Toitures à versants

- Il peut s'agir de toits à un ou plusieurs versants. Ces toits peuvent être construits avec des dalles ou des plaques massives, ou constitués d'un système chevrons, pannes, et fermes, ou encore de structures spatiales.
- Les toits inclinés se rencontrent principalement dans les régions arrosées par de fortes précipitations, et où prédominent la chaleur et l'humidité.
- Par rapport aux toits à faible pente, les toits à fortes pentes sont plus chers, car ils nécessitent des pignons plus grands et davantage de matériaux de couverture (surface du toit plus grande). Par contre, les forces d'aspiration vers le haut sont moindres (maximales pour une pente de 10°). Dans les régions traversées par les ouragans, la pente ne devrait pas être inférieure à 30° (environ 1 : 1,7 ou 58 %) et les importants débordements de toit (utiles pour l'ombrage et la protection contre la pluie) devraient être évités.
- Les toits à deux versants laissent les murs d'extrémités exposés, tandis que les toits à 4 versants protègent tous les murs, suppriment les pignons extérieurs, offrent moins de prise au vent, mais sont plus difficiles à construire.

- Les toits de maisons à cour intérieure, inclinés vers la cour, réduit l'échauffement des bâtiments et facilitent le captage de l'eau de pluie.
- Alors que les pentes sont souvent exprimées en degrés, il est difficile de mesurer des angles sur un chantier. Il est donc pré-

férable de les exprimer par le rapport entre la hauteur et la longueur horizontale du versant (p.ex. 1 : 1; 1 : 2,5; 1 : 10) et si possible avec des nombres ronds.

- La fonction principale de la pente étant d'évacuer l'eau de pluie, plus la couverture est perméable, plus la pente doit être im-

<i>Matériel de couverture</i>	<i>Pente minimale requise</i>	
	<i>Rapport</i>	<i>Angle</i>
Chaume	1:1	45°
Bardeaux en bois:		
- Bois non traité	1:1	45°
- Bois imprégné sous pression	1:1.5	33°
Tuiles en argile cuite, en fibro- et vibromortier:		
- Tuiles plates et espagnoles	1:1.5	33°
- Tuiles romanes (sans film d'étanchéité)	1:2	26°
- Tuiles romanes (avec film d'étanchéité)	1:3	18°
Tôles galvanisées ondulées:		
- Plusieurs tôles se recouvrant à leur extrémité	1:3	18°
- La longueur d'une tôle vaut la longueur du versant	1:5	11°
Bacs autoportants (élément d'un seul tenant en forme de canal)	1:10	05°

portante. Il existe donc une pente minimale propre à chaque matériau (voir tableau ci-dessous).

Toitures curvilignes

- Il s'agit des voûtes, des coupoles, des couvertures en forme de coques, de membranes légères tendues, ainsi que d'autres types plus sophistiqués.
- Les voûtes et coupoles se rencontrent fréquemment dans les climats chauds et secs. La surface curviligne de ces toits est considérablement plus grande que la surface horizontale inscrite dans le même périmètre. Leur température de surface est plus faible, car le rayonnement solaire se

répartit sur une plus grande surface. Pour la même raison, le rayonnement vers l'extérieur est facilité après le coucher du soleil. Toutefois, la forme arrondie d'une coupole peut perturber sérieusement l'acoustique intérieure.

- Les coupoles et voûtes maçonnées résistent mal aux tremblements de terre, alors que des coques en béton ont un bon comportement.
- Les membranes de couverture, tendues sur des câbles ou des cordes, couvrent de grandes portées, sont relativement économiques, mais aérodynamiquement instables. Elles sont généralement employées pour des structures temporaires.



Toitures pour régions chaudes et humides

- Les toitures à versants avec de larges débordements facilitent l'évacuation rapide des eaux de pluie, protègent et ombragent les murs et fenêtres. Des chenaux encaissés et horizontaux, de même que des gouttières intérieures sont à éviter, car la poussière s'y accumule et ils permettent la formation de poches d'eau stagnante.
- Dans les régions montagneuses et à climats variables, caractérisées par une saison chaude et sèche, il est fréquent de rencontrer des toitures plates, lesquelles permettent certaines activités et aussi de profiter de la fraîcheur de la nuit pour dormir.
- Principales exigences concernant les matériaux (structure portante et habillage): faible inertie thermique (stockage minimum de calories pendant la journée, car la température baisse peu pendant la nuit); étanches à la pluie mais perméables assez pour absorber l'humidité (vapeur d'eau, condensation) et la relâcher lorsque l'air est plus sec; résistance aux champignons, aux insectes, aux rongeurs et au rayonnement solaire; bonne réflexivité (limite les contraintes et mouvements thermiques); résistance aux impacts (jets de pierres, chutes de noix de coco, vandalisme, etc.); résistance aux fluctuations de température et d'humidité; absence de produits toxiques (surtout si l'eau de pluie est collectée pour être utilisée).
- Les toitures ventilées (couverture + lame d'air ventilée + plafond) sont meilleures du point de vue climatisation. La couverture maintient la construction à l'ombre (réduction de l'accumulation de chaleur). La ventilation de la lame d'air assure le remplacement de l'air qui progressivement s'échauffe. Le gradient de température entre la lame d'air et le volume habité est assez faible pour éviter les risques de condensation (dans ou sur le plafond). La pluie qui traverse la couverture, et l'humidité qui se développe sur la face inférieure, s'évaporent ou s'écoulent le long de celle-ci, jusqu'à la gouttière, sans affecter le plafond intérieur.
- La pose d'une membrane d'étanchéité imperméable qui emprisonnerait la vapeur d'eau, provoquerait de la condensation, ce qui n'est pas souhaitable.
- L'isolation thermique de la toiture empêche le refroidissement pendant la nuit.
- L'aménagement d'ouvertures au niveau du faite (toit à 2 versants), ou juste sous le plafond suspendu ou sous un toit plat, permet d'évacuer la chaleur qui s'accumule.
- Une isolation phonique adéquate permet d'atténuer le vacarme engendré par les grosses averses tropicales.



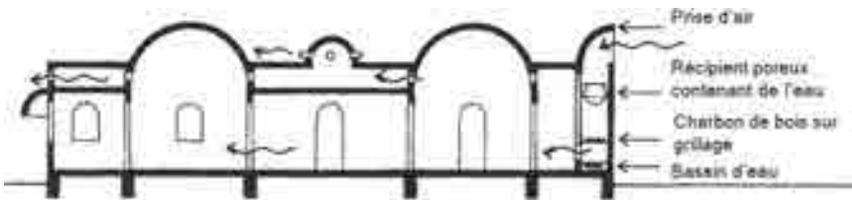
Exemples de toits ventilés (Bibl. 26.22)

Toitures pour régions chaudes et sèches

- Dans les régions où l'évacuation des eaux de pluie n'est pas le problème majeur, les toits plats sont les plus fréquents. Ils permettent certaines activités et procurent un endroit où passer la nuit au frais.

(risque d'effritement) et à l'abrasion causée par les vents de sable; surfaces lisses (évite l'incrustation de sable et de poussières).

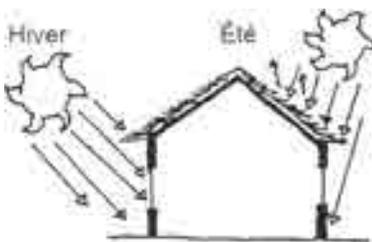
- Les toitures sont ventilées (épaisseur suffisante de la lame d'air pour laisser échapper l'air chaud; surface supérieure réfléchissante de chaque couche pour limi-



- Voûtes et coupoles sont également fréquentes dans ces régions, car elles contribuent au confort thermique.
- Principales exigences concernant les matériaux (éléments porteurs et parement): forte inertie thermique (absorption de la chaleur en journée et restitution pendant la nuit alors que la température extérieure a considérablement baissé); bonne réflexivité (limite les dilatations et les mouvements thermiques); résistance à des cycles répétitifs chauffage - refroidissement

ter l'échauffement) et construites avec des matériaux légers et à faible inertie thermique (la couverture extérieure est alors en matériau isolant).

- Des prises d'air (tour avec une ouverture de captage orientée face au vent dominant) permettent de créer des courants d'air à l'intérieur d'une habitation.



Dans certaines régions, il est intéressant de se protéger du rayonnement solaire pendant l'été, mais de le capter au travers des fenêtres, pour réchauffer une habitation en hiver. Ce fonctionnement s'obtient par un dimensionnement adéquat des débordements du toit. La largeur des débordements dépend de l'inclinaison du rayonnement solaire (donc de la latitude).



COMPARAISON DES MATÉRIAUX POUR TOITURES

- Les matériaux sont groupés par classe. Les classes sont identifiées par un chiffre.
- Plus le chiffre est élevé, plus la valeur de la caractéristique concernée est importante
- Le climat le plus approprié est identifié par une ou deux lettres. CH= chaud et humide; CS = chaud et sec; T = tempéré; TC = tous climats

	pois	résistance aux séismes	dangers en cas d'effondrement	inflammabilité	résistance au feu	résistance aux agents biologiques	résistance aux ouragans	crain l'humidité ou l'eau	diffusion de la vapeur d'eau	inertie thermique	réflectance des IR lointains	réflectance des IR solaires
- = info manquante / = sans objet x = variable												
voûte en pierre	5	1	4	1	3	2	3	1	1	4	1	1
voûte en briques de terre cuite	4	1	4	1	3	2	3	2	2	4	1	2
voûte en briques de terre stabilisée	4	1	4	1	3	2	3	1	2	4	1	2
terre sur branchages	4	2	4	2	2	1	3	3	2	4	1	1
tuiles en argile cuite	3	2	2	1	2	2	2	1	3	2	1	1
tuiles en microbéton	2	3	2	1	2	2	2	1	3	1	1	1
béton armé	4	3	4	1	2	2	3	1	1	4	1	1
ferrociment	3	3	3	1	2	2	-	1	1	3	1	1
tôles métalliques alu	1	4	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2
tôles métalliques galvanisées	1	4	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2
bambou	1	4	1	1	1	1	2	2	3	1	-	-
bardeaux en bois	2	4	2	3	2	1	2	2	3	2	1	2
chaume	2	4	2	3	2	1	2	2	3	2	-	1
voiles imprégnés au soufre	2	-	-	-	1	2	-	2	1	2	-	-
membranes tendues	1	4	1	-	1	-	1	2	-	1	-	-

LES SYSTÈMES DE CONSTRUCTION

Généralités

Par systèmes de construction, on entend généralement des méthodes de construction industrialisées, poussant au maximum la préfabrication pour réduire le plus possible les travaux de chantier. Les systèmes de construction ont plusieurs avantages.

- Ils réduisent le nombre de matériaux et de composants utilisés.
- Ils réduisent le volume de matériaux et de déchets.
- Ils simplifient les détails de construction et les procédures d'assemblage.
- Ils permettent des réalisations très précises et augmentent la rapidité de la construction.

Dans les pays industrialisés qui développent de tels systèmes, hautement perfectionnés, un avantage supplémentaire est l'emploi d'une main d'oeuvre moins nombreuse et moins chère, d'où une diminution du coût de la construction. Cet aspect est rarement un avantage dans les pays en développement car la main d'oeuvre y est bon marché et une des préoccupations est la création d'emplois. De plus, les investissements élevés souvent exigés par les procédés de construction industrialisés (importation de machines et d'équipements...) les rendent plus chers que les méthodes de construction conventionnelles (Bibl. 00.30).

Il existe cependant des circonstances où l'implantation de systèmes industrialisés se justifie aussi dans les pays en développement. Il en est ainsi de la construction d'urgence et de la construction dans des endroits reculés. Mais dans l'ensemble, en matière de construction économique, les systèmes de préfabrication complets reste-

ront l'exception plutôt que la règle. L'avenir est plus à la préfabrication partielle, ainsi qu'à la standardisation des dimensions et à la simplification des procédures. Des progrès sur ces trois points permettraient d'améliorer la qualité des constructions et de diminuer les délais d'exécution ainsi que les coûts.

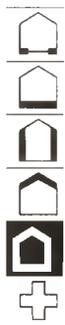
Le rejet total des systèmes industrialisés est aussi peu justifié que l'ignorance des méthodes de construction traditionnelles. Les recherches visant à l'émergence de solutions nouvelles et prometteuses doivent prendre en compte, à la fois les méthodes de construction traditionnelles et les systèmes de construction industrialisés. La mise au point des éléments de couverture en microbéton, ainsi que l'emploi de déchets agri-coles et industriels comme substituts du ciment sont, p. ex., issus d'une telle démarche.

Exemples de systèmes de construction

Dans cet ouvrage, le concept «Systèmes de construction» a un sens large. Ainsi, dans le chapitre *Exemples de systèmes de construction*, les méthodes de construction reprises incluent des systèmes dont le degré de préfabrication est très variable, mais aussi des méthodes de construction traditionnelles, conventionnelles ou nouvelles, pour lesquelles la qualité d'un matériau unique est bien démontrée.

Ainsi, les exemples retenus présentent les particularités suivantes:

- Systèmes utilisant un seul matériau pour toute la construction.
- Systèmes permettant une exécution précise et rapide.



- Systèmes combinant les avantages d'éléments produits industriellement et les avantages de matériaux traditionnels.
- Systèmes spécialement appropriés face à certains risques naturels.
- Systèmes utilisant des déchets comme alternative aux matériaux conventionnels.

Bien d'autres exemples auraient pu être présentés. La sélection a aussi pris en compte la disponibilité des informations y relatives tout en essayant de couvrir une large gamme de matériaux et de techniques de construction.

INFORMATION FONDAMENTALE SUR LES MESURES DE PROTECTION



LES AGENTS BIOLOGIQUES

Généralités

Les agents biologiques susceptibles de causer des problèmes dans les constructions sont:

- Les insectes: termites, certains coléoptères, cafards, moustiques, mouches, etc. Ils attaquent ou détruisent certains matériaux de construction (bois, bambou, certains plastiques, etc.) et représentent un risque sanitaire ou simplement une nuisance pour les occupants.
- Les animaux: rats, chauve-souris, oiseaux, serpents, etc. En établissant domicile dans des cavités hors d'accès, ils peuvent représenter un risque sanitaire, déranger les occupants et perturber certains fonctionnements importants du bâtiment, p. ex. en bloquant des ouvertures de ventilation ou en bouchant des drains.
- Les champignons: moisissures, décolorations; pourritures, etc. Ils se développent dans des endroits sombres et humides sur le bois ou sur d'autres matériaux de construction d'origine végétale. Certains champignons (bleuissement) ne détruisent pas leur support, alors que d'autres (pourriture sèche, pourriture humide) provoquent leur décomposition et leur destruction.

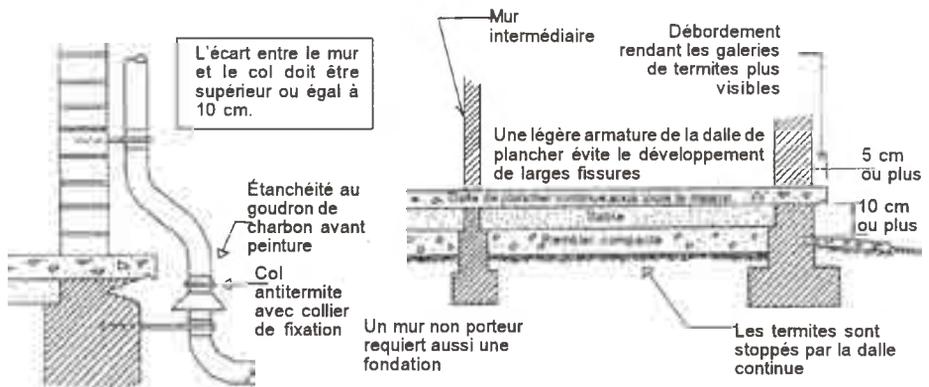
Il existe plusieurs méthodes pour protéger une construction et ses occupants contre ces nuisances. Attention, certaines mesures de protection peuvent elles même engendrer des problèmes, si elles ne sont pas appliquées avec assez d'exactitude et que leurs conséquences sont sous estimées. Les efforts devraient d'abord porter sur la conception et le choix de matériaux adaptés, avant d'envisager l'utilisation de produits chimiques.

Mesures de protection

Protection contre les insectes

- La propreté est prioritaire dans la lutte contre les insectes. Une végétation dense, des détritux, des ordures et l'humidité constituent un environnement idéal pour leur développement. S'il existe des colonies de termites dans les environs, il faut, autant que possible, éviter des matériaux de construction d'origine végétale pour la réalisation des éléments de structure.
- Le drainage du terrain diminue l'humidité, qui attire les insectes, et évite les flaques d'eau stagnante, lesquelles permettent la prolifération des moustiques.
- Dans la plupart des publications, on conseille d'empoisonner le sol, sous et autour, des constructions. Cependant, il ne faut pas oublier que tôt ou tard, le poison est emporté par l'eau qui s'infiltre dans le sol. Alors, la protection disparaît, mais les poisons risquent de contaminer les réserves d'eau potable souterraine.
- Contre une dalle continue en béton, qui s'étend sous toute la surface d'une construction, les termites ne peuvent rien tenter sous terre. Si des joints sont indispensables, soit il s'agira de joints à languettes et rainures, soit la surface de raccord sera accidentée et en pente.
- L'angle aigu, d'une rainure en V (angle de 45°) ceinturant une construction, ainsi que des cols métalliques (5 à 8 cm de large) entourant tubes et colonnes, sont des barrières infranchissables pour les termites. Une autre solution consiste à créer des reliefs visibles qui mettent les galeries de termites en évidence. Une fois repérées, elles peuvent être détruites.





Mesures de protection contre les termites (T. Sør, Bibl. 25.12)

- La construction de bâtiments surélevés (80 à 100 cm), posés sur des pieux ou des colonnes (fondations à semelles ponctuelles), permet une inspection régulière sous le plancher (élimination des termites et autres insectes et maintien de la propreté) et facilite aussi la ventilation (permet aux planchers de sécher). Les galeries de termites se repèrent plus facilement sur un fond clair. Le fait de peindre fondations et colonnes exposées dans une couleur claire facilite leur repérage.
- La construction des fondations et dalles de plancher doit être entourée de soins particuliers pour éviter l'apparition de fissures. Des fissures peuvent être causées par: des tassements différentiels, du retrait, des contraintes dues à des charges ou un gradient thermique trop importants, une qualité de matériaux ou d'exécution insuffisantes. Si des fissures sont détectées, il faut les colmater pour éviter que ne s'y nichent des insectes.
- Certaines espèces d'arbres et de bambou sont naturellement résistantes aux insectes. Il faudrait les utiliser partout où c'est possible, mais généralement rares et chères, on leur préfère habituellement des espèces moins résistantes. Dans ce cas, un séchage adéquat et certains traitements chimiques évitent une détérioration prématurée (veuillez vous référer aux sections *Bambou et Bois*). *Des éléments en bois ou en bambou ne peuvent, en aucun cas, être fixés dans le sol.*
- Du treillis fin recouvrant toutes les ouvertures d'un bâtiment empêche l'intrusion de moustiques, mouches, termites volants et de nombreux autres insectes. Cette protection réduit toutefois, sensiblement, la ventilation naturelle.
- De nouvelles méthodes de protection contre les termites sont expérimentées en République Fédérale d'Allemagne. Celles-ci privilégient des procédés naturels: production de termites hybrides incapables de se reproduire; production d'hormones sexuelles pour les désorienter ou de phéromones et d'agents répulsifs pour déclencher une réaction de fuite; exposition

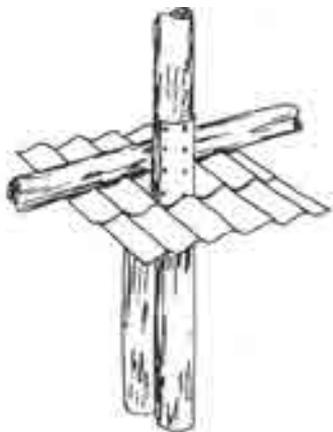
des termites à certains champignons toxiques (efficace seulement pendant les 3 premières semaines de vie du champignon). Des recherches complémentaires sont encore nécessaires pour résoudre les problèmes que posent encore ces méthodes biotechniques et microbiologiques.

Protection contre les animaux

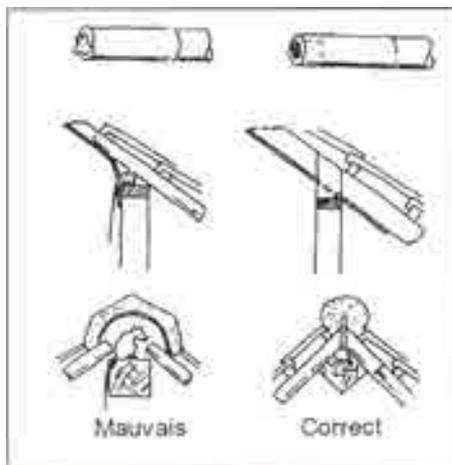
- Les rats et souris sont éliminés en démolissant leurs nids, en supprimant toutes sources de nourriture possible, de même que les amas de terre et les empilements de pierres et de bois.
- Les entrées, donnant accès aux réserves de nourriture, placées suffisamment haut sont inaccessibles aux rats. Des plaques

métalliques (30 cm de large), parallèles au sol et placées à 60 cm de hauteur, empêchent les rats de grimper aux murs. Des cols similaires à ceux utilisés dans la lutte contre les termites, mais larges de 20 cm, empêchent les rats de grimper aux colonnes et aux tubes.

- Les dalles de plancher en béton empêchent les animaux de s'introduire dans un bâtiment par le dessous.
- La protection des trous de ventilation et tuyaux par un treillis métallique empêche l'intrusion d'oiseaux, de chauve-souris, de serpents et autres animaux à la recherche d'un abri.



Protection simple contre les rats (Bibl. 25.08)



Détails empêchant les rats de s'incruster (Bibl. 13.13)



- En général, des surfaces propres, lisses et dures, de même que des inspections régulières contrarient efficacement l'incrustation d'animaux indésirables.

Protection contre les champignons

- Les champignons sont des organismes qui se nourrissent de matières organiques mortes (bois, bambou, etc.). Les endroits humides, sombres, chauds et peu ventilés rassemblent les conditions idéales à leur développement. La meilleure protection consiste donc à maintenir des locaux propres, secs, bien ventilés et à les éclairer régulièrement. Avec un degré hygrométrique inférieur à 20 % (obtenu par un séchage adéquat), le bois est à l'abri des champignons.
- Les cibles des champignons sont hors de danger sous 0°C (irréaliste sous les tropiques), au-dessus de 40°C, de même sous eau.
- La conception de bâtiments utilisant le bois, ou d'autres végétaux, doit permettre une évacuation rapide de l'eau et éviter les contacts directs entre le bois et le béton ou le mortier. Une membrane étanche enveloppant les parties en bois concernées permet de satisfaire cette dernière exigence.
- Il est conseillé de brûler des éléments en bois contaminé par des champignons et de les remplacer par des éléments sains.
- Des traitements chimiques peuvent aider à éliminer les champignons, mais alors, les commentaires des sections *Bambou* et *Bois* sont une fois encore d'application.

LE FEU

Généralités

Le feu est une réaction chimique, qui se déroule lorsqu'un matériau combustible, mis en présence d'oxygène, atteint une température suffisante. Chauffés, les combustibles liquides et solides dégagent des gaz qui s'enflamment au contact de l'oxygène, s'ils sont assez chauds.

Le rapport de la surface d'un matériau et son volume ainsi que sa densité détermine le caractère inflammable d'un matériau. Des matériaux denses et massifs sont relativement difficiles à enflammer et ils ne brûlent qu'en surface ou sur une faible profondeur. Des feuilles minces brûlent rapidement et des matériaux finement divisés ou pulvérisés peuvent devenir explosifs, lorsqu'ils sont en suspension dans l'air.

L'origine d'un feu peut être accidentelle ou voulue. Dans les pays en développement, il arrive souvent qu'un incendie ait pour origine la cuisson d'aliments sur un foyer ouvert. Les éclairs et les tremblements de terre peuvent aussi être à l'origine d'incendies accidentels. Par contre pour allumer un feu de manière intentionnelle, l'homme procède en projetant des étincelles sur des matériaux parfaitement secs ou en y concentrant le rayonnement solaire. Les étincelles sont produites par friction entre deux éléments, tandis que la concentration du rayonnement solaire est obtenue grâce à l'effet de lentille de certaines pièces en verre.

La gravité des dégâts causés par un incendie sur un bâtiment, dépend des matériaux utilisés, de sa conception et de son exécution. Certains matériaux rétrécissent et se lézardent, d'autres se dilatent, fondent ou se désintègrent, entraînant une destruction totale. Pendant un incendie, des vies sont mises en danger par le feu lui-même, mais

aussi par l'effondrement de murs ou de planchers. L'inhalation de gaz et de fumées toxiques, ainsi que la panique et la perte de sensibilité et de visibilité compromettent aussi la santé des victimes d'un incendie.

Dans les régions chaudes et arides, les murs sont habituellement construits avec des matériaux denses et lourds, lesquels sont difficiles à enflammer. Dans les régions chaudes et humides, les matériaux employés sont souvent combustibles mais l'humidité et la pluie les rendent difficiles à enflammer. Néanmoins, il existe toujours un risque d'incendie, quelle que soit la région considérée; la conception d'un bâtiment doit en tenir compte.

Mesures de protection

- Dans les régions chaudes et humides, on a soin d'éloigner les constructions les unes des autres, pour permettre à la ventilation naturelle de jouer. Cette précaution est encore plus nécessaire pour les habitations alignées dans la direction des vents dominants, qui risquent d'être la cible de brindilles enflammées emportées par le vent.
- Dans les régions chaudes et sèches, il est conseillé de regrouper les habitations pour en réduire l'échauffement. Des ruelles de fuite et des routes suffisamment larges pour les véhicules des pompiers sont cependant indispensables.
- L'écart entre des éléments de construction combustibles et des sources d'incendie potentielles (fourneaux, cheminées, etc.) ne devrait pas être inférieur à 1 mètre. Il en est de même des matériaux combustibles stockés dans, et autour des maisons qui devraient être protégés par des matériaux non combustibles (p. ex. gypse, verre, briques, béton, métal, pierre, laine minérale).



- Dans un bâtiment, la conception de cavités (vides techniques, etc.) doit tenir compte du risque d'incendie. Le concepteur aura soin de faire en sorte que ces cavités ne deviennent pas des chemins de propagation préférentiels pour un incendie.
- Des traitements chimiques permettent d'ignifuger le bois, ainsi que d'autres matériaux végétaux. Il s'agit principalement d'imprégnations avec des produits à base de borax. Ces traitements sont cependant chers et l'ignifugation n'est jamais totale.
- Le CBRI de Roorkee en Inde a développé un procédé qui retarde la combustion des couvertures en chaume. Un enduit non érodable, de terre stabilisée au bitume est appliqué sur la surface supérieure de la couverture. Les fissures de retrait, qui apparaissent au séchage, sont colmatées avec un coulis composé de terre, de bouse de vache et d'une faible proportion de bitume dissous. L'enduit dense empêche le passage de l'air et retarde ainsi la combustion d'au moins 1 heure. Cet enduit rend aussi la couverture imperméable à l'eau.
- Il n'est jamais inutile de prévoir un réservoir rempli d'eau, des tuyaux, une pompe ou un extincteur à proximité des éléments à risque.

Matériaux combustibles et matériaux non combustibles (Bibl. 00. 12)

<i>Matériaux combustibles</i>	<i>Matériaux non combustibles</i>
- Bois (même si imprégné avec un produit retardant la combustion)	- Asbeste ciment
- Panneaux de fibres pour la construction (même si imprégnés avec un produit retardant la combustion)	- Fibro- et vibromortier
- Liège	- Plâtre
- Panneaux en laine de bois	- Verre
- Panneaux de pailles pressées	- Laine de verre (teneur en liant inférieure à 4 ou 5 %)
- Panneaux en plâtre (surfaces combustibles si panneaux recouverts de papier)	- Brique
- Feutres bitumineux (y compris feutres à base de fibres d'asbeste)	- Pierre
- Laines de verre ou laines minérales si elles contiennent des agents liants ou des couvertures combustibles	- Béton
- Tôles métalliques enduites de bitume	- Métaux
- Tous les plastiques et caoutchoucs	- Vermiculite
	- Laine minérale

Les cyclones peuvent encore provoquer d'autres désastres, tuant des milliers de personnes et ravageant tout sur leur passage.

Mesures de protection

Sable et poussière

- Le sable emporté par les vents est efficacement arrêté par un mur (hauteur minimale de 1,6 m) entourant la maison. Il peut s'agir p. ex. d'un mur maçonné. Plus intéressantes encore sont les maisons avec une cour intérieure entièrement fermée. Les murs extérieurs n'ont alors aucune ouverture ou juste de petites situées assez haut.
- L'effet filtrant de la végétation débarrasse l'air d'une grande quantité de sable et de poussières. Des rues étroites et zigzagantes, bordées de hauts murs protègent aussi de ces nuisances.
- Sur les murs extérieurs, les éléments en relief et les cavités sont à éviter, car ils accumulent le sable et la poussière. Les surfaces doivent être lisses et résistantes à l'abrasion.

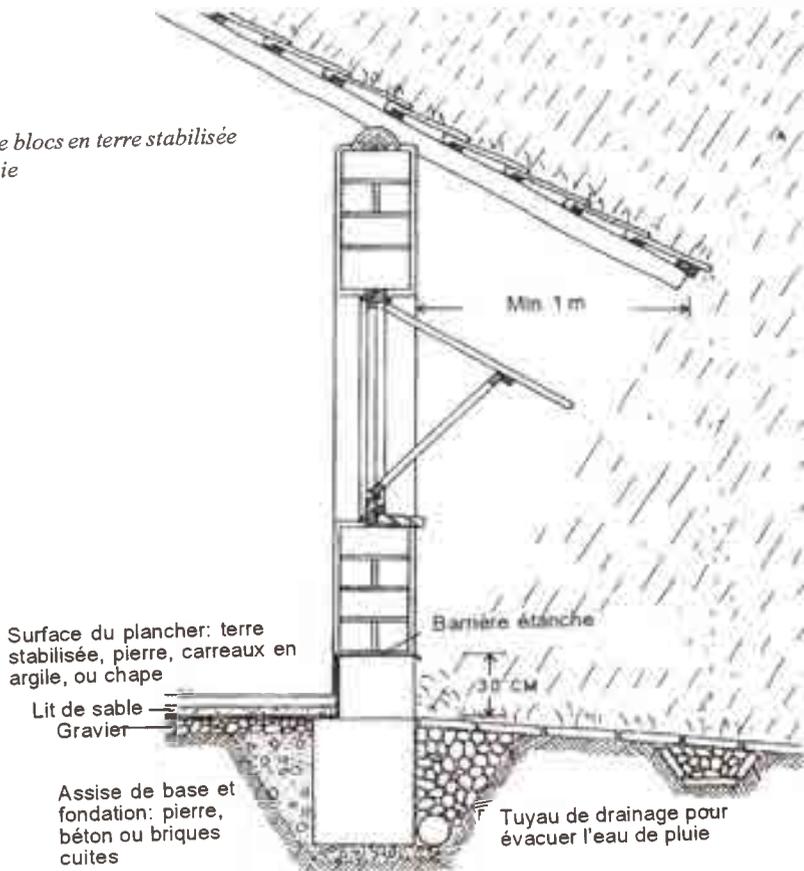
Grosses averses tropicales

- L'implantation d'un bâtiment doit être pensée pour permettre l'évacuation rapide de l'eau. Le plancher des maisons doit être suffisamment surélevé et des rigoles doivent entourer la construction.
- Les versants doivent être fort inclinés. De larges débordements de toitures protègent les murs extérieurs de même que les ouvertures. Ils déversent la pluie à une distance suffisante de la base des murs, les protégeant des salissures et de l'érosion provoquées par le rejaillissement de l'eau frappant le sol.

- Des joints étroits et imperméables, de même que des matériaux résistant à l'eau ou des surfaces traitées à cet effet, évitent les infiltrations d'eau. La ventilation transversale assèche les bâtiments.
- Des insecticides et fongicides appliqués à l'extérieur peuvent être lessivés, laissant les matériaux sans protection, mais empoisonnant le terrain alentour. On essaye donc de les éviter et s'ils sont indispensables, ils doivent être utilisés avec beaucoup de précautions.
- Les connecteurs et éléments métalliques susceptibles de rouiller doivent être protégés des pluies et bien ventilés pour éviter qu'ils ne retiennent de l'humidité.
- Supports des tôles rapprochés, enduit au bitume sur la face inférieure des tôles, points de fixation équipés de rondelles en caoutchouc, couche d'isolation posée sur le plafond suspendu: toutes ces mesures contribuent à diminuer le vacarme provoqué par les grosses averses tropicales sur les couvertures en tôles. L'efficacité de ces mesures s'additionne lorsqu'on les combine l'une à l'autre. Une autre mesure fréquente consiste à recouvrir les tôles d'une couche de paille. Les pailles doivent être fixées, sans quoi le vent aurait tôt fait de les emporter.
- Dans les zones inondables, les toitures doivent être spécialement résistantes, pour supporter la surcharge des habitants qui peuvent être amenés à y chercher refuge. La prévision d'espaces de stockage, juste sous la couverture, et d'ouvertures permettant à l'air emprisonné de s'échapper sont également des mesures utiles. Des maisons prévues pour flotter en cas d'inondation évitent bien des dégâts.



Protection de blocs en terre stabilisée contre la pluie



Cyclones

- Il est préférable de construire sur des terrains élevés, suffisamment distants des côtes et dont la topographie ne risque pas d'accroître la vitesse des vents. Attention, une disposition malheureuse des bâtiments environnants peut aussi provoquer un effet venturi, qui augmente la vitesse des vents.
- Les fondations doivent être généreusement dimensionnées et posséder de larges bases, pour résister à l'aspiration vers le haut, ainsi qu'à la poussée latérale exercée par le vent. L'ancrage des murs ou des colonnes dans les fondations doit être exceptionnellement solide.
- La partition des planchers en pièces de petites dimensions est favorable à la stabilité des bâtiments. Pour résister aux poussées latérales, les murs doivent être renforcés par des angles solides, ou des contreventements diagonaux, et solidement ancrés à la fondation et à la toiture. Pour diminuer la prise au vent, les murs extérieurs doivent être lisses et aérodynamiques (angles arrondis, pas d'élément en relief).
- Les versants inclinés à 30° et plus sont moins affectés par l'effet de succion vers le haut. Pour éviter l'arrachement de la toiture, il est aussi conseillé d'éviter les larges débordements de toiture (ce qui est en contradiction avec la protection des murs et ouvertures contre la pluie). Parce que les sollicitations sont multidirectionnelles, les connexions entre les éléments structuraux doivent être particulièrement résistantes et rigides.
- Les ouvertures sont de préférence petites et munies de volets (en forme de persiennes mobiles plus indiquées que volets pivotants sur des charnières). Le vitrage est à éviter (particulièrement le vitrage de faible épaisseur).
- En général, des matériaux et une exécution de qualité sont les meilleurs garants. La conception doit permettre un accès facile aux parties vulnérables, pour une inspection régulière et leur maintenance.

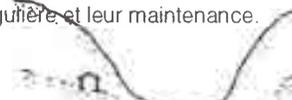
Localisation



1. Les coupe-vent naturels (arbres ou haies) réduisent l'impact des vents dominants



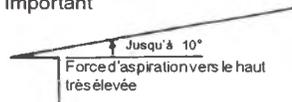
2. Prudence lors d'implantations sur une colline ou à proximité d'un sommet, car la vitesse des vents peut y être plus élevée



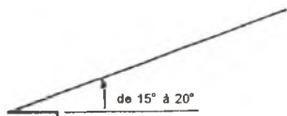
3. Les vallées peuvent provoquer une accélération des vents

Inclinaison des versants

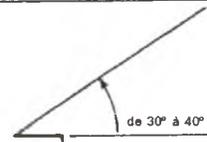
4. Le choix de la pente est très important



Jusqu'à 10°
Force d'aspiration vers le haut très élevée



de 15° à 20°
Situation plus favorable, la succion diminue



de 30° à 40°
Pente idéale, la succion diminue

Considérations relatives aux vents violents (Bibl. 25. 06)

LES TREMBLEMENTS DE TERRE

Généralités

De toutes les calamités naturelles, les tremblements de terre sont les plus graves (morts et destruction). Généralement un séisme ne prévient pas et, selon son intensité, il peut transformer en quelques secondes, une ville prospère en un amas de ruines.

Leur cause principale est le mouvement des plateaux continentaux (quelques mm par an) qui se heurtent ou glissent l'un sur l'autre. De ces mouvements résultent d'importantes tensions. Lorsque le niveau de tension dans les roches est trop important, un rajustement soudain et brutal se produit. Des ondes sismiques se propagent alors dans toutes les directions. Une autre cause est l'éruption de lave en fusion au travers des fissures de la croûte terrestre. Ces éruptions peuvent être sous-marines ou aériennes. Sous-marines, elles donnent naissance à un tsunami (terme japonais désignant un raz de marée) qui dévaste totalement les régions côtières rencontrées. Comparativement, les éruptions volcaniques aériennes affectent des surfaces plus réduites, et les dommages sont alors principalement causés par de la lave en fusion et des projections de cendres qui se répandent sur les habitations et les champs.

Récemment, on s'est aperçu que des tremblements de terre pouvaient aussi être provoqués par la construction de barrages. Les importantes quantités d'eau retenues exercent une pression considérable sur la croûte terrestre et d'autre part, l'eau en s'infiltrant dans des fissures de celle-ci, agit comme un lubrifiant. Lorsque se produit un rééquilibrage brutal de la croûte terrestre, il apparaît une onde sismique. De même, l'exploitation de gisements de pétrole et de gaz, font apparaître des déséquilibres de pression qui peuvent aussi provoquer des tremblements

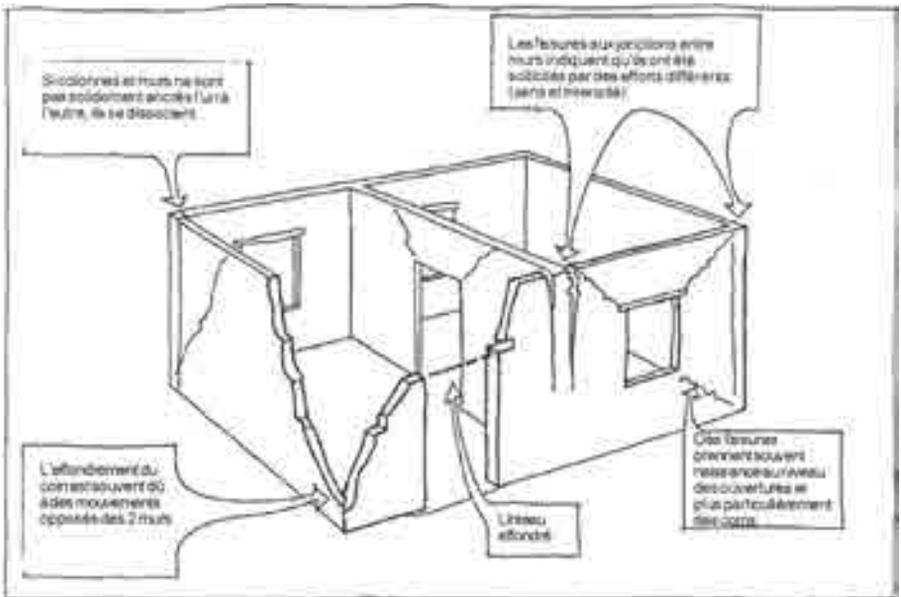
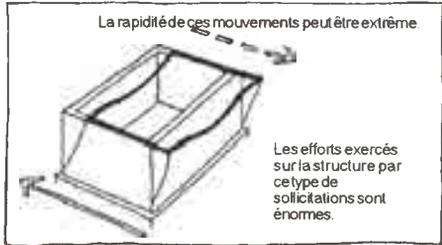
de terre.

Certaines régions sont donc plus sensibles que d'autres, mais une prévision exacte du moment et de l'intensité d'un séisme est impossible. Dans ces régions, il est recommandé d'appliquer des mesures spéciales, pour limiter les dégâts matériels et corporels, mais une sécurité totale est impossible à garantir.

Les ondes sismiques ont à la fois des composantes horizontales, verticales et de torsion. Des édifices fragiles et non élastiques se brisent ou se désagrègent. Des édifices élastiques vibrent et absorbent les vibrations. Des édifices solides et rigides peuvent résister. La destruction d'une construction commence principalement par l'effondrement des murs. Privés de supports, les plafonds et la toiture, suivent, ensevelissant les occupants et les biens. Des incendies, glissements de terrain, rupture de barrage, épidémies, etc., peuvent ensuite sérieusement aggraver les dommages causés initialement par un tremblement de terre. Une série de secousses plus faibles suit un séisme de forte intensité. Elles peuvent provoquer d'autres effondrements qui compliquent les secours.

A intensité comparable, un tremblement de terre qui touche une région industrialisée ou un quartier riche d'une ville du tiers-monde, cause bien moins de dégâts matériels et de victimes, que s'il touche une région rurale pauvre ou un bidonville d'un pays en développement. Les maisons y sont généralement construites avec des matériaux et des procédés de moindre qualité, sur des sites à risques (terrains en pente, régions côtière, vallées en aval d'un barrage, etc.). C'est pourquoi, en anglais, les tremblements de terre sont souvent appelés «Classquakes» littéralement «tremblement de classe».





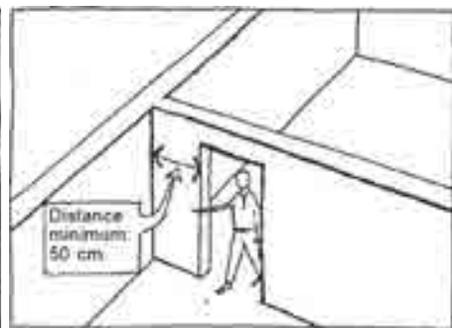
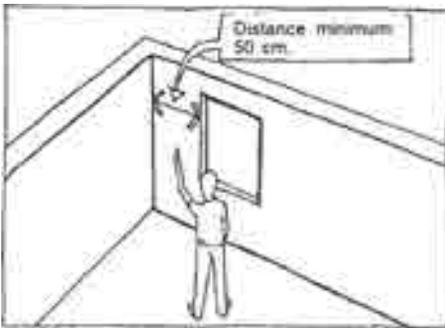
Effets et dégâts typiques causés par un tremblement de terre
(dessiné par John Norton, Bibl. 25.10)

Mesures de protection

- Il est déconseillé de construire sur, ou à proximité, des flancs de collines (risques de glissements de terrain ou d'avalanches), de même qu'à proximité de la mer (risques de tsunamis). Il est également déconseillé de construire en aval d'une retenue d'eau (rupture du barrage), de même qu'à proximité de fossés remblayés et de cours d'eau. Une distance suffisante entre des constructions voisines limite les risques en cas d'effondrement ou d'incendie (attention à la direction des vents dominants).
- Il est préférable de concevoir des bâtiments selon des formes simples et symétriques (à la fois horizontalement et verticalement). Si les formes sont compli-

tre qualité, une solide dalle de fondation a l'avantage de «flotter» sur les ondes sismiques, amortissant la violence des secousses.

- Des murs légers abaissent le centre de gravité d'un bâtiment et diminuent la sévérité des dégâts en cas d'effondrement. Les murs doivent être capables d'absorber les vibrations, mais les liaisons entre fondation, murs et toiture, doivent être rigides. En conclusion, ce sont des structures à portiques (en bois, en bambou, en béton armé ou métalliques) et parois légères qui résistent le mieux aux tremblements de terre. Pour les ouvrages conventionnels en maçonnerie, une solide poutre de chaînage continue, située au sommet des murs, améliore leur stabilité en bloquant les



quées, la construction doit être ramenée à des éléments simples indépendants les uns des autres.

- Les fondations doivent être en béton armé (armature continue) et reposer sur une assise stable (de préférence de la roche). Les fondations à profondeur variable sont déconseillées (pas de fondations en escalier sur sol en pente). Sur des sols de piè-

coins et en rigidifiant les bords supérieurs.

- Les ouvertures sont de préférence petites, et situées à plus de 50 cm des coins ou d'autres ouvertures. Les vitrages en verre sont à éviter.
- Les couvertures doivent être les plus légères possibles, soit monolithiques (matériaux résistants à la traction, p. ex. le béton armé), soit composées de membrures so-

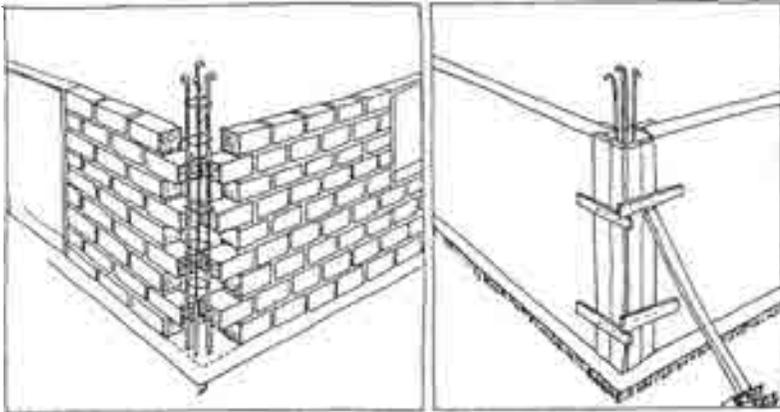


lides et flexibles, solidement fixées à la structure portante. Il est conseillé d'adopter des formes symétriques et des portées faibles. La charpente des toits doit être solidement ancrée au chaînage ou à l'ossature du bâtiment. Une autre conception consiste à fixer la toiture sur des supports indépendants des murs, de sorte qu'en cas d'effondrement de ces derniers, la toiture reste en place.

- Les appendices indispensables (p. ex. parapets, cheminées, réservoir d'eau) doivent être solidement fixés pour éviter leur chute pendant les secousses.
- En général, des murs en pierre, en terre ou en briques d'argile supportent mal les tremblements de terre. Des renforts, la consolidation des coins et une poutre de chaînage les rendent plus résistants. Les murs maçonnés ainsi que les coupoles

sont à éviter dans les régions sismiques. Les couvertures en tuiles d'argile nécessitent une lourde et solide charpente en bois. Sous les vibrations les tuiles peuvent se détacher et tomber. L'effondrement de ce type de couverture fait courir de sérieux risques aux occupants du bâtiment.

- Le béton armé et le ferrociment sont des matériaux idéaux pour la construction de bâtiments résistant aux séismes. Il faut cependant que le ciment, les agrégats et l'exécution soient de qualité et que les armatures soient protégées de la rouille. Les ossatures en béton, ainsi que les coques minces sont idéales, tandis que des plafonds et des dalles lourdes sont à éviter.
- La solution optimale du point de vue de la résistance, consiste à associer des ossatures en bois ou en bambou, à des murs de remplissage ou à un parement légers.



Renforcement de murs maçonnés avec du béton armé (Bibl. 25.10)

En cas d'effondrement ils causent moins de dégâts que des matériaux lourds. Attention, les matériaux végétaux étant inflammables, ils peuvent alimenter les incendies qui souvent se déclarent après un tremblement de terre (rupture des cheminées et des lignes de distribution du gaz et de l'électricité, etc.). La protection contre les agents biologiques est essentielle pour éviter l'affaiblissement des constructions.

- Les éléments métalliques permettent de réaliser des structures légères et flexibles. La conception et le dimensionnement doivent cependant prévoir le risque de flambage. La protection des structures métalliques contre le feu et la corrosion est primordiale. Les couvertures en tôles métalliques résistent généralement bien aux tremblements de terre.
- D'une manière générale, une exécution correcte, une inspection régulière des parties critiques, pour maintenance et réparations, de même que la protection contre le feu constituent des mesures de précaution indispensables.



INFORMATION FONDAMENTALE SUR LA BIOCLIMATISATION



LA BIOCLIMATISATION

Généralités

Le concepteur d'un édifice fait des choix (forme et orientation d'un édifice, matériaux et type de mise en oeuvre) qui conditionnent la qualité du *confort* intérieur.

De même, en choisissant un lieu d'implantation et en aménageant les abords de sa maison (couverture du sol, végétation, construction d'annexes) un propriétaire pose des actes qui influencent la qualité du *confort* intérieur.

Or la qualité du *confort* à l'intérieur d'un bâtiment «moderne» est souvent très inférieure à celle obtenue à l'extérieur sous un arbre. N'est-ce pas un comble?

Cette situation est due à des erreurs de conception et/ou à l'absence de d'aménagements extérieurs bien pensés.

La *bioclimatisation* consiste à créer un microclimat intérieur plus confortable que le climat extérieur, par le biais d'une conception intelligente, du bâtiment et de ses abords. La conception doit tirer profit des atouts du milieu (climat, topographie) et des propriétés thermiques des matériaux. Les moyens de climatisation artificielle (ventilateur, climatiseur) peuvent éventuellement être utilisés en appoint. Leur puissance est alors nettement inférieure à celle nécessaire pour climatiser un bâtiment mal conçu.

Pour atteindre cet objectif, il est essentiel:

- de comprendre les phénomènes qui régissent le *fonctionnement thermique* des matériaux,
- de comprendre de quoi dépend le *confort*,
- de connaître le climat local.

Ce chapitre tente d'expliquer à l'aide de termes simples les notions nécessaires pour guider la réflexion des lecteurs non avertis, interpellés par les faibles performances naturelles de l'habitat «moderne» dans le Tiers Monde. Les lecteurs qui désirent en savoir plus trouveront en bibliographie, des références d'ouvrages qui traitent en détail de la bioclimatisation.

Le fonctionnement bioclimatique des architectures traditionnelles est souvent performant. L'incorporation de nouveaux matériaux, souvent moins astreignant en entretien et plus attirant par la modernité qu'ils représentent, sacrifie, cependant, la qualité du confort. En effet, les modifications architecturales qui découlent de leur utilisation et leurs propriétés thermiques différentes, perturbent les mécanismes de régulation.

L'attitude constructive consiste à rechercher de nouvelles solutions techniques et architecturales, d'une part pour incorporer les nouveaux matériaux plus durables sans sacrifier le confort, et d'autre part pour améliorer la durabilité des matériaux traditionnels.

Les principaux paramètres dont il faut tenir compte au moment de la conception sont récapitulés en fin de chapitre. Le lecteur y trouvera des conseils pour le guider dans la conception d'un édifice adapté à un climat chaud et humide ou chaud et sec.



NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE PHYSIQUE

Transfert de la chaleur et inertie thermique

La température est l'image de l'état d'agitation des molécules d'un matériau. La chaleur est l'effet provoqué par cette agitation moléculaire. Dans le Système International d'Unité, la chaleur s'exprime en joule (J) ou kilojoule (kJ). La chaleur se propage toujours de la zone la plus chaude vers la zone la plus froide.

Transfert de chaleur par conduction (Fig. 1)

- La chaleur se propage de proche en proche, à l'intérieur d'une paroi et par les surfaces de contact de deux parois qui se touchent.
- La conductivité thermique (λ en $W/m^{\circ}C$) exprime la capacité d'un matériau à se laisser traverser par un flux de chaleur.

Transfert de chaleur par convection (Fig. 2)

- Une paroi à une température différente de celle de l'air, échange de la chaleur avec les molécules d'air proches.
- Cet échange de chaleur chauffe ou refroidit ces molécules d'air, selon que la paroi est plus chaude ou plus froide. Il en résulte une modification la densité de ces molécules, qui alors s'élèvent ou descendent: on parle de *convection naturelle*.

Transfert de chaleur par rayonnement (Fig. 3)

- Tout objet émet un rayonnement. Fréquences et intensités du rayonnement dépendent de la température et de la nature de l'objet. Le rayonnement porte une énergie.
- Lorsqu'un objet est atteint par un rayonne-

ment, une partie est réfléchiée « ρ », une partie est absorbée « α » et une partie « τ » traverse l'objet touché.

- Les quantités ρ , α et τ dépendent de l'objet touché et de la longueur d'onde du rayonnement reçu.

Inertie thermique (Fig. 4)

- Lorsque la température extérieure varie, cette variation met un certain temps pour se propager au travers d'un mur. Il apparaît donc un *déphasage* entre les variations de température intérieure et extérieure. De plus l'amplitude de la variation intérieure est plus faible qu'à l'extérieur. Il y a donc *amortissement*.
- Déphasage et amortissement dépendent de l'épaisseur de la paroi et des matériaux constitutifs.



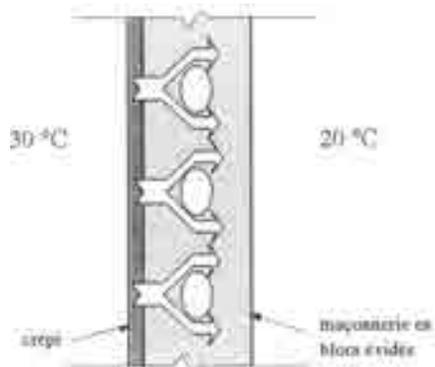


Figure 1

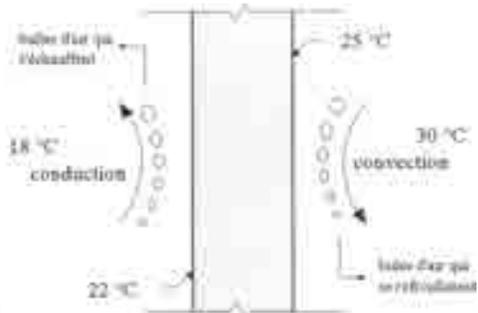


Figure 2

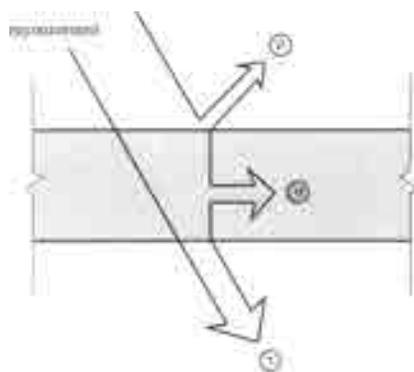


Figure 3

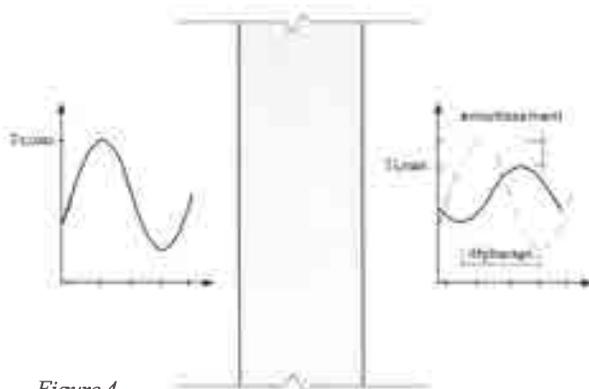


Figure 4

L'isolation

- Isoler consiste à réduire la quantité de chaleur qui traverse une paroi. Dans un climat chaud, l'isolation limite l'augmentation de température à l'intérieur d'un bâtiment pendant la journée et limite le refroidissement pendant la nuit.
- Certains matériaux sont de bons isolants (λ faible), d'autres conduisent la chaleur (λ élevé).

conductivité		
air:	$\lambda =$	0,02 W/m°C
bois:	$\lambda =$	$\pm 0,18$ W/m°C
terre:	$\lambda =$	$\pm 1,00$ W/m°C
béton:	$\lambda =$	$\pm 1,50$ W/m°C
pierres:	$\lambda =$	$\pm 2,50$ W/m°C
métaux:	$\lambda =$	+50 W/m°C

Tableau 1

La réflectance

- La réflectance est la propriété d'un corps de réfléchir le rayonnement que lui envoient le soleil et / ou les objets environnants. Le rayonnement solaire responsable de l'échauffement des corps qu'il atteint est dans l'infra rouge de courtes ondes = IRCL (entre 1 et 3 micromètre). Le rayonnement infrarouge émis par l'environnement est, lui, dans l'IR de grande longueur d'onde = IRGL (entre 3 et 30 micromètre).
- Un corps fort réfléchissant (ρ élevé) renvoie une bonne partie des rayonnements IR qui l'atteignent. Par conséquent, il absorbe peu d'énergie et s'échauffe peu.

réflectance aux IRCL		
peint. blanche:	$\rho =$	$\pm 0,80$
bac alu:	$\rho =$	$\pm 0,50$
brique rouge:	$\rho =$	$\pm 0,45$
tôle galva:	$\rho =$	$\pm 0,25$
béton, terre:	$\rho =$	$\pm 0,15$

réflectance aux IRGL		
bac alu:	$\rho =$	$\pm 0,90$
tôle galva:	$\rho =$	$\pm 0,80$
autres	$\rho =$	$\pm 0,10$

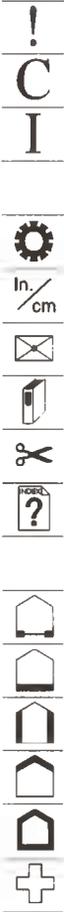
Tableau 2

Humidité

- Vapeur d'eau:** Il s'agit d'eau sous forme gazeuse. Dans l'atmosphère, aux températures habituelles, l'eau peut exister sous forme liquide et/ou gazeuse.
- Humidité absolue (Ha):** Cette valeur précise la quantité d'eau présente sous forme de vapeur dans l'air atmosphérique. En pratique, il existe une quantité maximum

(fonction de la température et de la pression atmosphérique), au-delà de laquelle la vapeur d'eau condense (brouillard, pluie).

- Humidité relative (Hr):** Cette valeur précise le rapport entre la quantité d'eau vapeur présente dans un volume d'air donné et le maximum que ce volume pourrait en contenir.



- *Condensation*: Lorsque la température de l'air diminue, son Hr augmente. Lorsque l'Hr atteint 100%, toute nouvelle diminution de température se traduit par la transformation de vapeur en eau liquide. Ainsi des gouttelettes de condensation font leur apparition sur des matériaux froids en contact avec de l'air chaud très humide.
- *Effet de l'évaporation*: La transformation d'eau de l'état liquide en vapeur (= évaporation) exige un important apport de cha-

leur. Lorsqu'un corps humide évapore son humidité, il se refroidit car il doit fournir de la chaleur à l'eau liquide pour qu'elle se transforme en vapeur. L'évaporation est d'autant plus forte, et donc le refroidissement aussi, que le débit d'air est élevé et que son Hr est faible.

LE CONFORT THERMOHYGROMÉTRIQUE

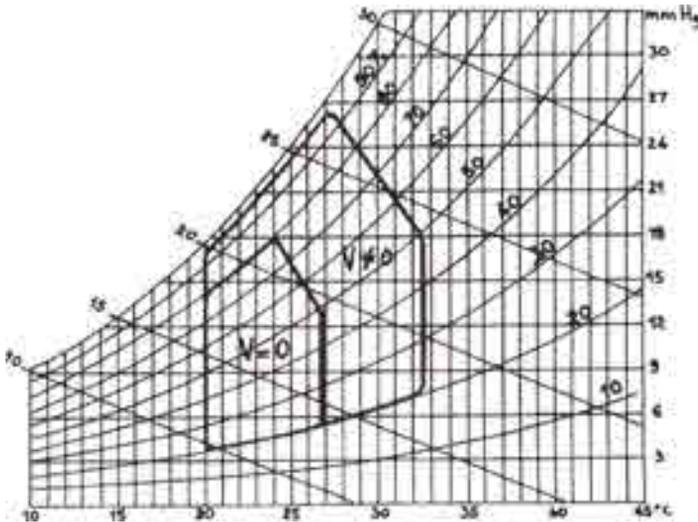
Généralités

- Les principaux paramètres physiques qui déterminent le *confort* sont: la température, l'Hr. C'est pour cela qu'on parle du *confort thermohygrométrique*.
- Tous les êtres humains étant différents, deux individus peuvent ressentir différemment une même ambiance. Toutefois, à partir de réalités physiologiques moyennes, il est possible de délimiter une zone de confort thermohygrométrique (ZCT) valable pour un individu moyen, vêtu d'une tenue d'été, au repos ou engagé dans une activité sédentaire. Dans de telles conditions, le confort thermohygrométrique est

obtenu entre 20 et 27°C, pour une Hr de l'air comprise entre 20 et 80 %. Le diagramme psychométrique permet de visualiser la ZCT (Figure 5)

- Les limites de la ZCT ne sont pas des frontières bien tranchées car, d'une part elles sont établies pour un individu moyen et d'autre part la transition d'une impression de confort à une impression d'inconfort est progressive.
- En cas de ventilation (vitesse de l'air différente de zéro), les limites de température et d'Hr sont repoussées vers des valeurs plus élevées (zone $V \neq 0$ Figure 5).

Figure 5:



Aspects psychologiques

Le confort est une notion très subjective. La sensation de confort est par exemple influencée par ce que perçoivent les sens. Ainsi, le bruit d'un ruissellement et une odeur de jasmin donnent une impression de fraîcheur.



Influence de la végétation

La végétation fait partie des éléments que le concepteur bioclimaticien peut utiliser.

- L'ombre d'un arbre projetée au sol ou sur une construction, protège du rayonnement solaire.
- La photosynthèse et l'évapotranspiration d'un feuillage réduisent sensiblement la température de l'air.

Figure 6
(Bibl. 26.10)

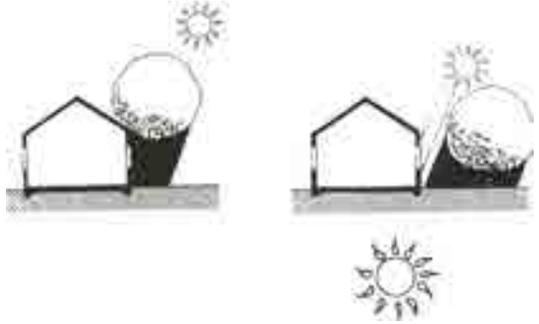
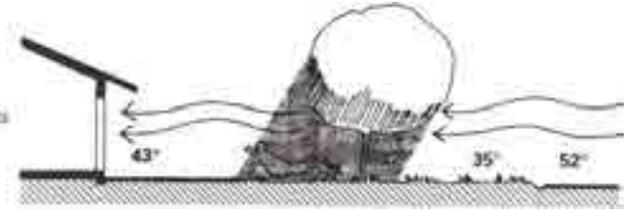
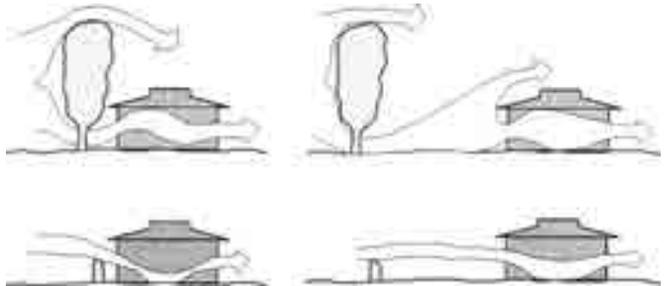


Figure 7
(Bibl. 26.10)
Températures au sol
pour différents types de surfaces



- Arbres et arbustes peuvent être utilisés pour réaliser des écrans afin de dévier ou de canaliser le vent pour protéger un édifice ou le ventiler.

Figure 8
(Bibl. 26.10, 26.11)



Ainsi, judicieusement ordonnée aux abords d'un édifice, la végétation contribue à définir le climat qui règne à l'intérieur de celui-ci.

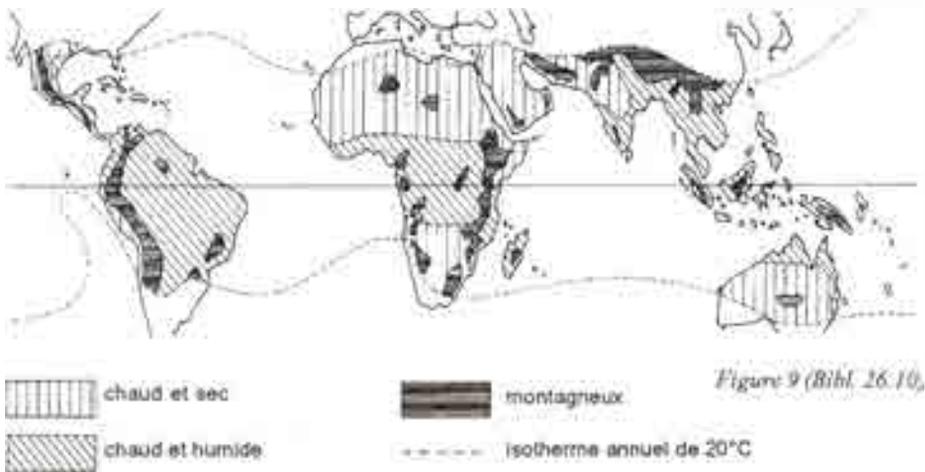
LE CLIMAT

Zones climatiques

Les climats qui couvrent les pays du Tiers Monde sont variés. On distingue cependant 3 zones climatiques.

- Les régions chaudes et arides: déserts et savanes sèches.

- Les régions chaudes et humides: savanes humides et régions à climat tropical.
- Les régions montagneuses. Le climat de ces régions s'apparente à celui des régions de même latitude, mais il est plus frais.



	saison	°C	pluies (mm)	Hr (%)	ensoleillement
chauds et arides	sèche humide	10 à 50 20 à 30	0 à 1250	10 à 70 15 à 90	très intense à modéré
chauds et humides	chaude fraîche	20 à 32 21 à 27	2000 et plus	50 et plus	intense à modéré

Remarques

- Cette classification est fort globale, mais elle met certaines tendances en évidence.
- La transition entre zones climatiques est progressive, comme ne le laissent pas supposer les frontières marquées d'un

trait. Ainsi, les régions désertiques sont bordées par des savanes sèches. A leur autre extrême, ces dernières sont bordées par les savanes humides, bordées elles-même des régions à climat tropical.



Les paramètres du climat

Avant la phase de conception, le bioclimaticien doit se procurer les diagrammes qui présentent les fluctuations des principaux paramètres du climat: température, ensoleillement, pluie, humidité relative, vent

Ces paramètres varient au cours de la journée et au fil des saisons. Des diagrammes qui présentent les évolutions journalières et les moyennes mensuelles peuvent être obtenus, par exemple dans les stations météo, les stations agricoles ou les aéroports.

La topographie, l'altitude, d'importantes surfaces boisées ou urbanisées, de même que d'importantes masses d'eau peuvent localement modifier le climat. Il est donc essentiel de détecter de telles sources d'influence lorsqu'elles existent.

Température et Ensoleillement

Ces deux paramètres dépendent:

- de la position du lieu considéré par rapport au soleil,
- de la nébulosité et de la poussière,
- de l'altitude (la température diminue et l'ensoleillement augmente avec l'altitude)

Les diagrammes de température permettent de détecter les périodes au cours desquelles les limites en température de la ZCT sont dépassées.

Les données relatives à l'ensoleillement permettent par exemple au concepteur:

- de choisir des matériaux de réflectance adéquate
- de prévoir l'énergie solaire reçue par les murs et le toit en fonction de leur orientation,

- de dimensionner et d'orienter les ouvertures pour qu'elles laissent entrer un minimum, ou au contraire un maximum de soleil.

Vents

- Les variations de température et d'humidité des masses d'air qui enveloppent la terre sont à l'origine des vents: l'air chaud est plus léger que l'air froid, et l'air humide est plus léger que l'air sec.
- Trois paramètres caractérisent le vent: vitesse, sens et leurs fréquences. Ces données sont rapportées sur une *rose des vents*. Lorsque les vents sont saisonniers, il convient de disposer d'une rose des vents pour chaque saison.
- Le concepteur peut utiliser le vent pour créer une ventilation naturelle dans un édifice.

Pluies et humidité

- Une masse d'air échauffée se dilate, s'élève et ce faisant se refroidit. Le refroidissement provoque une augmentation de l'humidité relative. Lorsque l'humidité relative atteint 100%, il y a condensation. Cette condensation est à l'origine de la formation des nuages et des pluies.
- Les données relatives à la pluviométrie combinées au sens et à la quantité des pluies permettent d'opter pour une pente de toiture adéquate et bien orientée.
- La pluviométrie permet aussi de choisir des espèces végétales adaptées, pour l'aménagement des abords d'un édifice.
- Les diagrammes d'Hr permettent par exemple de détecter les périodes au cours desquelles l'Hr de l'air dépasse les limites de la ZCT.

RECOMMANDATIONS POUR LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE

Généralités

La qualité du confort thermohygrométrique d'un édifice est fortement influencée par la conception de celui-ci et l'aménagement de ses abords.

La prévision fine des conditions de température et d'humidité qui régneront à l'intérieur d'un édifice, en fonction du climat, de l'environnement, de l'architecture et des matériaux, fait appel à des calculs très complexes.

Ceci dit, l'adoption de quelques mesures concernant des paramètres sensibles à

prendre en compte au moment de la conception permet d'éviter des erreurs, qui si elles sont commises, réduisent fortement la qualité du confort d'un édifice.

Paramètres à prendre en compte

- La gradation des paramètres est donnée par un chiffre d'autant plus élevé que ce paramètre doit être élevé.
- OK signifie que ce paramètre doit être respecté pour tous les climats envisagés.

	Inertie thermique	favoriser déperditions nocturnes	ventilation de la toiture	ventilation des pièces	végétation	protection contre le rayonnement solaire
/ = sans objet						
climat désertique	2	2	OK	1	OK	OK
climat chaud et aride	1	1	OK	2	OK	OK
climat chaud et humide	0	/	OK	3	OK	OK
climat tropical	0	/	OK	3	OK	OK

Orientation du bâtiment (soleil, vent)

- Le soleil, le vent dominant, la topographie et la végétation sont à prendre en compte au moment de la conception, pour choisir l'orientation la mieux adaptée.
- En orientant la longueur d'un édifice dans la direction Est-Ouest, le concepteur limite l'échauffement des murs frappés par le rayonnement solaire.
- En orientant la longueur d'un édifice face au vent dominant, qui prévaut lorsque les conditions de chaleur et d'humidité sont les plus pénibles, le concepteur profite au mieux de la ventilation naturelle.
- Lorsque ces deux recommandations ne coïncident pas, il faut faire un compromis en donnant priorité à la première car le vent, peut, dans une certaine mesure, être



dirigé par des éléments d'architecture ou par des rideaux d'arbres.

- Des reliefs peuvent localement modifier la direction du vent dominant et les flancs d'une colline dénudée reflètent les radiations solaires sur un édifice. Le concepteur doit en tenir compte.
- Il peut être utile de prendre en compte la présence d'arbres et des ombres qu'ils projettent pour décider de l'orientation d'un édifice.

Forme du bâtiment

- L'échange de chaleur (réchauffement ou refroidissement) entre un édifice et son environnement dépend beaucoup de la grandeur de la surface de son enveloppe extérieure. En limitant le rapport *surface de l'enveloppe / volume de l'édifice*, le concepteur limite les échanges thermiques avec l'environnement. Au contraire, lorsque ce rapport est élevé, les échanges thermiques permis sont plus importants. Un rapport élevé convient particulièrement lorsque le concepteur désire des écarts de température importants entre l'extérieur et l'intérieur (stockage de chaleur ou de fraîcheur).

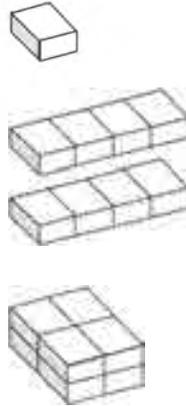
Dimensions des ouvertures

- Dans les régions chaudes et humides, la température varie peu au cours d'une journée. De grandes ouvertures profitent au maximum du moindre courant d'air.
- Dans les régions chaudes et sèches, en journée, la variation de température est grande. Pendant la journée, en limitant la quantité d'air qui pénètre dans un édifice, on en limite l'échauffement. Pour cela, le concepteur prévoit de petites ouvertures en haut des murs. Ainsi, l'air de la pièce qui s'échauffe peut sortir. Pendant la nuit,

Figure 10



Figure 11



surface d'enveloppe = S1
volume = V1

surface d'enveloppe = S2
S2 = 6 x S1

volume = V2
V2 = 8 x V1

surface d'enveloppe = S3
S3 = 4 x S1

volume = V2
V3 = 8 x V1

si la température ne chute pas beaucoup, il convient de ventiler au maximum, afin d'évacuer la chaleur stockée pendant la journée. Au contraire, si la chute de température est importante, il faut limiter la ventilation nocturne pour que le froid ne réveille pas les occupants pendant leur sommeil.

Construire en régions chaudes et humides: synthèse

Données climatiques:

- Température moyenne élevée et faible variation diurne de température.
- Humidité relative élevée
- Ensoleillement intense à modéré

Stratégie:

- Profiter au maximum de la ventilation naturelle lorsqu'il fait fort chaud.
- Eviter de produire de la chaleur à l'intérieur: cuisine séparée; éviter les éclairages à incandescence; éteindre les appareils électriques non utilisés; ventiler la toiture
- Limiter l'échauffement des surfaces extérieures de l'enveloppe du bâtiment: longueur orientée Est - Ouest; ombrage; surfaces extérieures réfléchissantes
- Empêcher le rayonnement solaire de pénétrer dans le bâtiment par les ouvertures: orientation; volets; masques verticaux ou horizontaux, végétation
- Favoriser le refroidissement de l'enveloppe: surfaces extérieures émissives

Détails constructifs:

Enveloppe: pailles, feuilles, bois, bambou

Surélevée et perméable au vent pour optimiser la ventilation naturelle
Matériaux isolants, conduisant mal l'élévation de température des parois extérieures soumise aux rayonnements solaires directs et diffus

Toiture: bardeaux en bois, feuilles, tôles, tuiles, paille

Création d'un espace ventilé car les parois horizontales, ou proches de l'horizontale, subissent de plein fouet le rayonnement solaire.
Une toiture débordante maintient les murs à l'ombre en milieu de journée.
Attention, dans les régions où sévissent des ouragans, les débordements de toiture offrent trop de prise au vent.

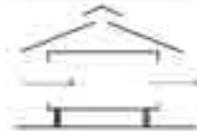
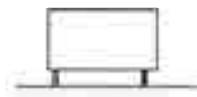
Ouvertures:

Grandes et orientées face à la direction du vent dominant de la saison chaude.
Si à certaines périodes la température descend sous la limite inférieure de la ZCT, les ouvertures doivent fermer de manière étanche (également nécessaire dans les régions où sévissent des ouragans).

Des locaux occupés uniquement en journée et situés dans un endroit où les vents ne sont pas freinés au niveau du sol (p. ex. par des cultures), peuvent être construits à même celui-ci pour profiter de sa fraîcheur.

Des systèmes d'ombrage verticaux peuvent être utilisés pour protéger des murs aveugles du rayonnement solaire.

Les peintures claires (réfléctives à l'IR du soleil et émissives en IRGL) limitent l'échauffement de l'enveloppe en journée et favorisent son refroidissement la nuit. Il est utile d'en tenir compte lors du traitement des surfaces extérieure



Construire en régions chaudes et arides: synthèse

Données climatiques:

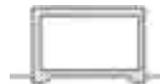
- Température moyenne élevée et importante variation diurne de température
- Humidité relative faible; à élevée
- Ensoleillement souvent intense; à très intense, parfois modéré

Stratégie:

- Éviter de produire de la chaleur à l'intérieur: éviter les éclairages à incandescence; cuisine séparée; éteindre les appareils électriques non utilisés; ventiler la toiture
- Limiter l'échauffement des surfaces extérieures de l'enveloppe: longueur orientée Est - Ouest; ombrage; surfaces extérieures réfléchissantes
- Limiter l'élévation de température des surfaces intérieures de l'enveloppe: murs intérieurs et extérieurs épais et en matériaux *effusifs* (= qui «absorbent» les variations de température)
- Empêcher le rayonnement solaire de pénétrer par les ouvertures: orientation, volets, masques verticaux ou horizontaux; végétation
- Limiter l'entrée d'air extérieur lorsque sa T° est plus élevée que la T° intérieure
- Permettre une évacuation régulière de la chaleur qui traverse l'enveloppe
- Refroidir l'enveloppe: ouvrir les fenêtres dès que $T_{ext} < T_{int}$, surfaces extérieures émissives

Détails constructifs:

Enveloppe: matériaux effusifs (terre crue, terre cuite, béton) de min. 20 cm d'épaisseur
 Cette conception limite les variations de température et est fort bien adaptée pour abriter les personnes en journée, lorsque dehors l'ensoleillement est intense. Si à la tombée du soleil la température baisse peu, il est préférable de dormir à l'extérieur.



Toiture ventilée à forte capacité d'absorption de chaleur: tuiles, tôles ou paille sur dalle épaisse
 Plus cher qu'une simple dalle, mais permet, si on le désire, de réduire les maximum le jour et les minimum la nuit.
 La ventilation de l'espace entre couverture et dalle est indispensable. Quelques briques ajourées ne suffisent pas.



Ouvertures: petites et situées le plus haut possible
 Evacuation régulière de la chaleur produite à l'intérieur et de la chaleur qui entre par les murs

Fenêtres:
 Lorsque la température ne descend pas assez la nuit, il est utile de prévoir des fenêtres pour ventiler le bâtiment. Le confort en est amélioré et l'enveloppe peut dégager la chaleur absorbée. Elles doivent fermer de façon assez étanche en journée et être orientées en fonction du vent.



Ecrans verticaux: bardage ou plantes grimpantes
 Protection de murs aveugles du soleil (surtout utile sur les murs Est et Ouest). Si des plantes grimpantes sont utilisées à cet effet, il faut choisir une variété gamie de feuilles au moment où la protection est la plus nécessaire et dont les racines ne sont pas trop agressives.



Finitions extérieures: chaulage, crépis, peintures, bardage
 Les couleurs claires limitent l'échauffement de l'enveloppe en journée et en favorise le refroidissement la nuit.
 Isolation: fibres naturelles, polystyrène, etc.) réalisée sur la face extérieure
 En priorité sous la couverture et si possible sur la face extérieure des murs Est et Ouest de l'enveloppe.

EXEMPLES DE: MATÉRIAUX DE FONDATION



FONDACTIONS EN PIERRES NATURELLES

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Recommandées lorsque le béton est cher
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Main d'oeuvre qualifiée
Équipement(s) nécessaire(s)	Outils pour les travaux de maçonnerie
Résistance sismique	Moyenne à bonne; dépend avant tout de la conception
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tous les climats
Degré d'expérimentation	Utilisées dans le monde entier

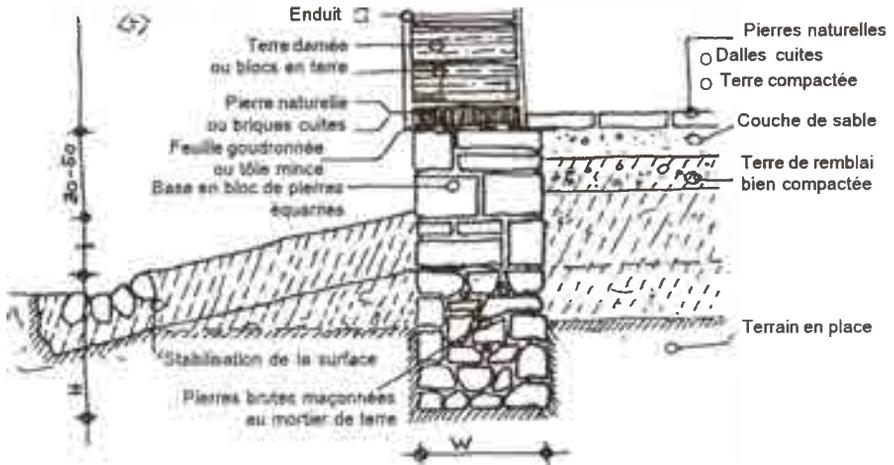
BRÈVE DESCRIPTION :

- Les fondations en pierres sont réalisées à partir de moellons (blocs de pierre brute) ou de pierres équarries; une variante consiste à utiliser des morceaux de brique et de béton provenant de démolitions.
- La résistance est fortement liée à la qualité du mortier. Un bon mortier pourra par exemple être obtenu en respectant les proportions suivantes:
 - 4 parts de ciment
 - 1 part de chaux
 - 12 parts de sable propre
 - suffisamment d'eau pour obtenir un mortier de bonne consistance.
- La construction doit prendre assise sur une base ferme et de résistance homogène. Elle ne peut démarrer à même l'herbe, ni sur un sol riche en humus, sur du remblai ou de la boue.
- Avant d'exécuter la fondation, une couche de béton maigre (min. 5 cm) ou de sable compacté est réalisée sur le fond de fouille (profondeur minimale: 40 cm).
- Dans les régions à risques sismiques, ce type de fondation doit être renforcé d'un treillis métallique ou de barres de fer selon les prescriptions de professionnels spécialement consultés.

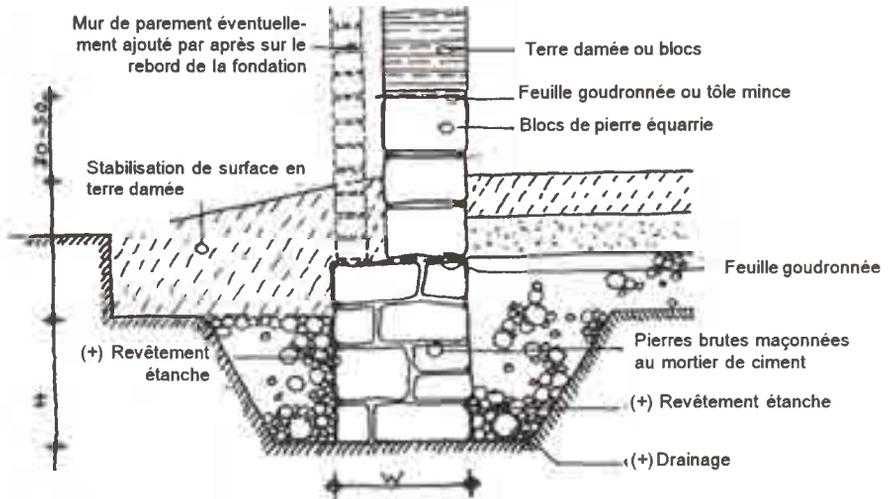
Pour de plus amples informations: Bibl. 01.01, 01.05, 01.06, 20.05.



Pierres maçonnées au mortier de terre (de Vorhauer, bibl. 20.05)



Pierres maçonnées au mortier de ciment (Bibl. 20.05)



FONDATIONS EN TERRE DAMÉE

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Uniquement pour constructions en terre, en régions sèches
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Faible à moyenne
Compétence(s) requise(s)	Travailleurs semi-qualifiés
Équipement(s) nécessaire(s)	Outillage de terrassement et de damage
Résistance sismique	Faible
Résistance aux ouragans	Faible
Résistance à la pluie	Faible
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Uniquement les climats très secs
Degré d'expérimentation	Méthode traditionnelle

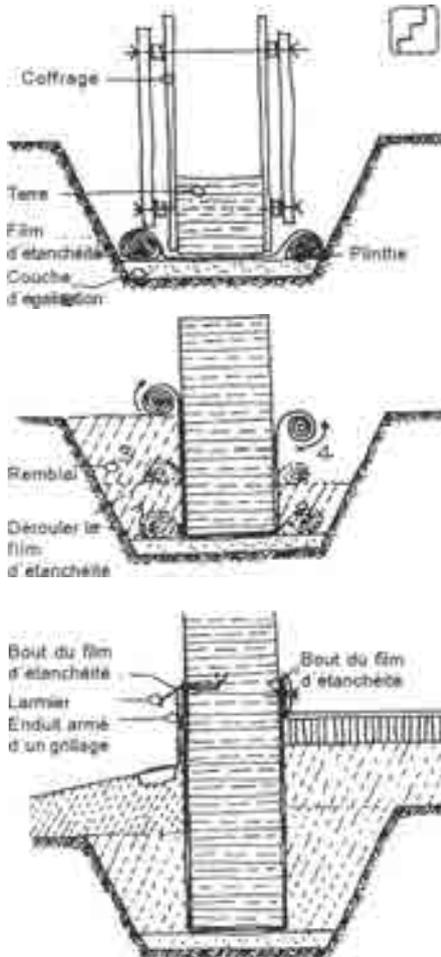
BRÈVE DESCRIPTION :

- Les fondations en terre damée sont réalisées avec des terres qui présentent une granulométrie appropriée. L'utilisation d'un stabilisant améliore leur résistance à l'eau et leur solidité.
- Le terrain doit être parfaitement drainé et un soin tout particulier doit être porté à la protection de la fondation contre l'humidité provenant du sol (utilisation de voiles polyéthylène, de feutre bitumineux, ou de peintures à base de bitume, ou encore de parements en pierres ou en briques cuites).
- S'il existe un doute sur le caractère approprié d'une fondation en terre damée, cette option doit être écartée. Des blocs en terre stabilisée peuvent être utilisés en remplacement, tout en respectant les mêmes mesures de protection.
- Si c'est possible, la fondation en terre sera placée sur une base bétonnée.
- La technique est identique à celle utilisée pour la construction des murs en terre damée.

Pour de plus amples informations: Bibl. 02.06, 02.08, 02.19, 02.32, 20.05.



Construction d'une fondation en terre damée (Bibl. 20.05)



ÉLIMINER LA TERRE VÉGÉTALE JUSQU'À ATTEINDRE LE BON SOL

ÉTALER UNE FINE COUCHE DE SABLE OU DE TERRE POUR APLANIR LE FOND DE FOUILLE

COUPER LE FILM D'ÉTANCHÉITÉ AUX ANGLES

POSER LE FILM D'ÉTANCHÉITÉ SUR LE FOND DE FOUILLE EN SUIVANT LE TRACÉ DE LA FONDATION

POUR GARANTIR L'ÉTANCHÉITÉ: RECOUVRIER LES FILMS D'ÉTANCHÉITÉ SUR UN MINIMUM DE 20 cm

PROTEGER LES EXTRÉMITÉS ENROULÉES CONTRE LES DÉTÉRIORATIONS

POSER LE COFFRAGE SUR LE FILM D'ÉTANCHÉITÉ. ÉTALER LA TERRE EN COUCHES ET LA DAMER COUCHE APRÈS COUCHE OU BIEN BLOCS EN TERRE.

BIEN LAISSER SÉCHER LA FONDATION EN TERRE ET LA PROTÉGER DE LA PLUIE

DEROULER LE FILM D'ÉTANCHÉITÉ, REMBLAYER COUCHE PAR COUCHE ET, APPUYER SOIGNEUSEMENT LE FILM D'ÉTANCHÉITÉ CONTRE LES PAROIS DE LA FONDATION

DU CÔTÉ EXTERIEUR: FIXER LE BOUT DU FILM D'ÉTANCHÉITÉ SOUS UN LARMIER ET LE PROTÉGER AVEC UN ENDUIT RENFORCÉ D'UN GRILLAGE

DU CÔTÉ INTERIEUR: CLOUER LE BOUT DU FILM D'ÉTANCHÉITÉ AU MUR, DERRIERE LA PLINTHE.

FONDATEMENTS EN BRIQUES CUITES

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Bonne alternative aux fondations en béton
Aspects économiques	Coût moyen
Stabilité	Moyenne à bonne
Compétence(s) requise(s)	Maçons qualifiés
Équipement(s) nécessaire(s)	Outils pour la maçonnerie
Résistance sismique	Moyenne à bonne
Résistance aux ouragans	Moyenne à bonne
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	La plupart, excepté régions en permanence humides
Degré d'expérimentation	Utilisées dans le monde entier

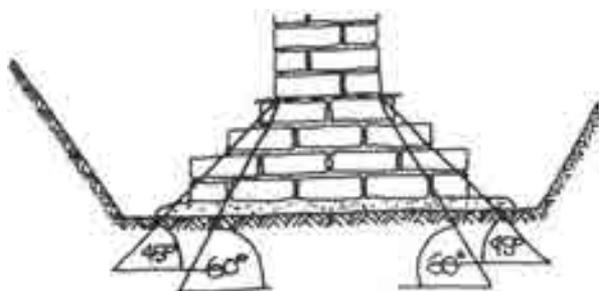
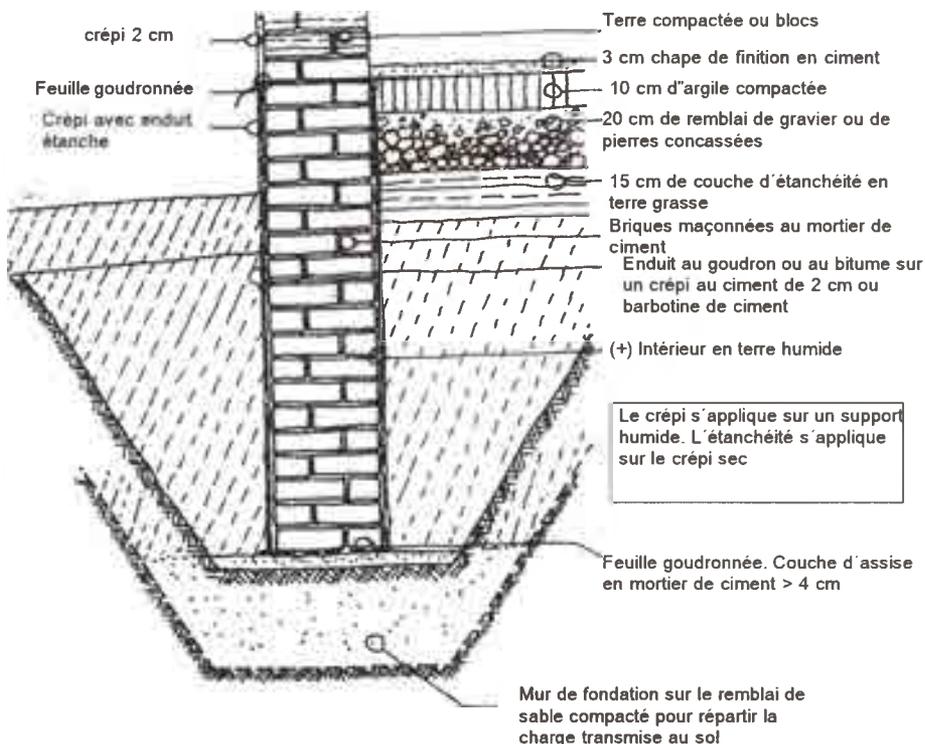
BRÈVE DESCRIPTION :

- La construction de fondations en briques cuites est fort semblable à la construction de murs maçonnés, excepté que le travail commence sous le niveau du sol. Le mur de fondation est élevé soit sur un lit de sable compacté, soit sur une couche de béton maigre, soit sur une base bétonnée.
- Il est préférable d'élargir la base pour répartir la charge transférée par les murs.
- Des précautions doivent être prises pour respecter le niveau des assises et pour préserver la fondation contre l'humidité.
- Composition d'un bon mortier pour fondations maçonnées:
 - 4 parts de ciment
 - 1 part de chaux
 - 12 parts de sable propre
 - suffisamment d'eau pour obtenir un mortier de bonne consistance.
- Dans les régions sismiques, les fondations en briques cuites sont renforcées d'un treillis métallique ou de barres de fer, selon les prescriptions de professionnels spécialement consultés.

Pour de plus amples informations: Bibl. 20.04, 20.05.



Briques cuites maçonnées au mortier de ciment (Bibl. 20.05)



Élargir la base de la fondation selon un angle de 60° ou mieux selon un angle de 45° pour augmenter la stabilité

L'appareil illustré permet d'obtenir un assemblage résistant

Couche d'assise > 4 cm

FONDATIONS EN BÉTON

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Fondations les plus solides
Aspects économiques	Coûteuses
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Travailleurs qualifiés
Équipement(s) nécessaire(s)	Coffrages, bétonnière
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Très bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tous les climats
Degré d'expérimentation	Communément utilisées dans le monde entier

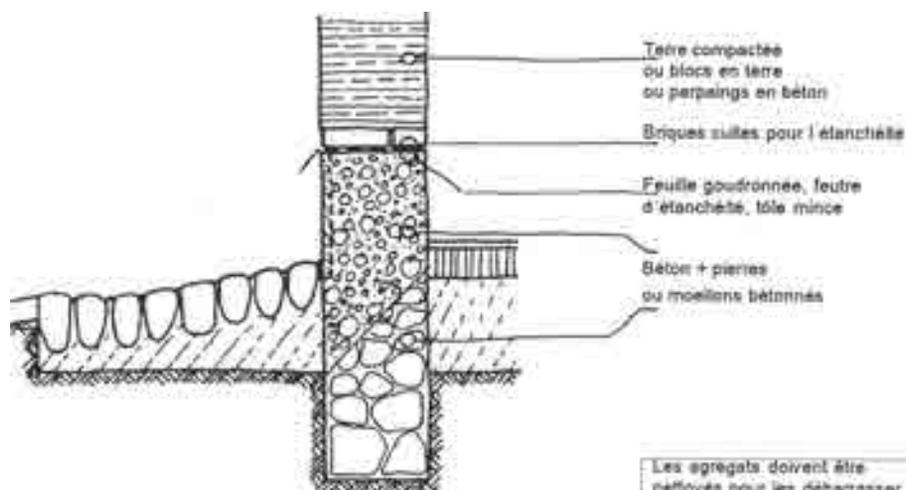
BRÈVE DESCRIPTION :

- Exécutées sur une base ferme et homogène, les fondations en béton peuvent être réalisées sans armature, à condition qu'il n'y ait pas de risques de tremblements de terre ou d'ouragans.
- Sur les sols non homogènes ou à problèmes, le béton doit être armé, surtout dans les régions à pluviométrie moyenne ou élevée, de même que dans les régions sujettes aux séismes ou aux ouragans.
- Selon la solidité souhaitée, les proportions du mélange varient de 1:3:4 (ciment : sable : gravier) à 1:4:7. Le premier dosage, qui prévoit une forte proportion de ciment, est utilisé pour réaliser des fondations en béton armé.
- La teneur en eau du mélange frais doit être ajustée de façon à obtenir une ouvrabilité tout juste suffisante. Trop d'eau donne lieu à un béton poreux, ce qui diminue sa solidité et le rend très sensible à l'absorption d'eau dans des sols humides. Les tranchées doivent être proprement humidifiées avant d'y couler le béton, pour éviter l'absorption d'eau par le terrain en place.
- Le béton est ensuite maintenu humide pendant 3 à 7 jours avant d'y élever un mur. Une barrière contre les remontées capillaires doit séparer le mur, du béton de la fondation.

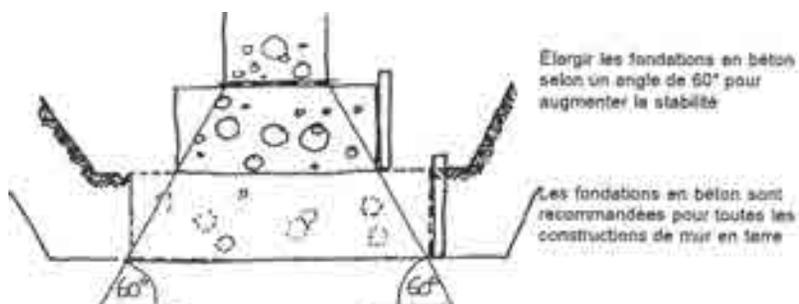
Pour de plus amples informations: Bibl. 20.03, 20.04, 20.05.

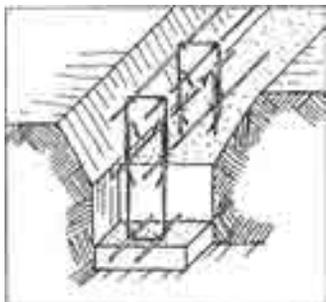


Fondations en béton coffré (Bibl. 20.05)



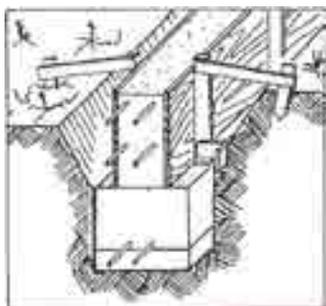
Les agrégats doivent être nettoyés pour les débarrasser des impuretés telles que limon et argile



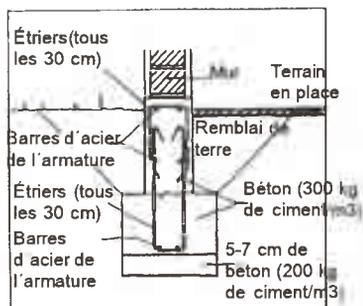


Fondations armées

Réalisation du socle non coffré: l'armature est mise en place sur une base en béton maigre déjà durcie. Une seconde couche de béton plus riche est ensuite coulée. Une fois durci, le béton maintient l'armature en place.



L'âme de la fondation est moulée dans un coffrage en bois (planches ou panneaux). Pour faciliter le décoffrage, celui-ci est huilé avant d'y couler le béton.



Finition: la terre excavée lors du creusement des tranchées sert au remblai (compacté) des volumes non bétonnés des tranchées.

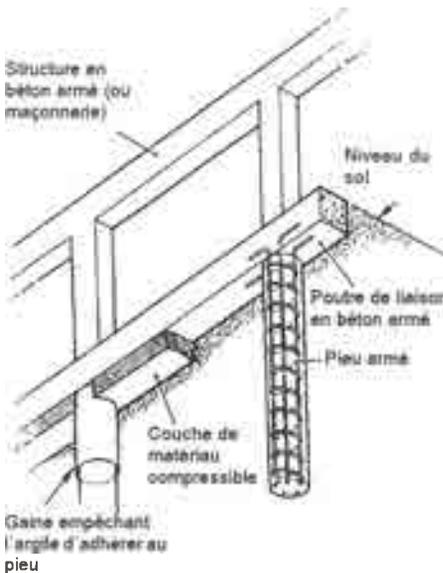


Fondations sur argile gonflante (Bibl. 20.03)

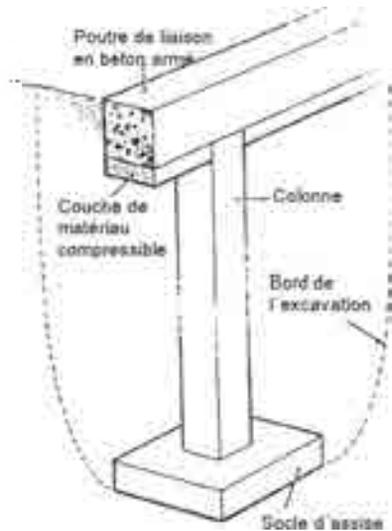
- Certains sols argileux répondent aux variations d'humidité (variations saisonnières, assèchement du sol par des arbres, etc.), par d'importants mouvements de retrait ou de gonflement. Ceux-ci peuvent endommager les fondations et par suite un bâtiment tout entier.
- Des désordres dus aux mouvements d'argiles gonflantes sont évités en réalisant soit des fondations qui traversent la zone à problème, soit des fondations et des superstructures qui tolèrent les mouvements du sol.
- Fondation à pieux et poutres de liaison: Ce type de fondation est constitué de pieux de petits diamètres dont les têtes sont re-

liées par des poutres en béton armé. Les pieux traversent la couche d'argile gonflante, jusqu'à prendre appui sur une couche stable du sous-sol. Les poutres sont réalisées sur un matériau compressible (p. ex. du polystyrène expansé) capable d'absorber les mouvements de l'argile, qui ne sont plus ressentis par la superstructure. Le contact direct entre les pieux et l'argile gonflante est à éviter.

- Fondation à colonnes sur socles et poutres de liaison: Des socles sont réalisés sur une base stable, sous la couche d'argile gonflante et des colonnes en béton armé, qui prennent appui sur ces socles, supportent des poutres de liaison. Ces dernières sont réalisées de la même façon que pour les fondations à pieux et poutres de liaison.



Fondation à pieux et poutres de liaison



Fondation à colonnes sur socle et poutres de liaison

PIEUX EN SEGMENTS DE BAMBOU FENDU

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Utilisés pour stabiliser le sous-sol
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Requiert une formation spécifique
Équipement(s) nécessaire(s)	Mouton de battage
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Bonne, aide au drainage de l'eau
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Toutes les régions tropicales
Degré d'expérimentation	Expérimental

BRÈVE DESCRIPTION :

- Les pieux en segments de bambou fendu ont été développés pour améliorer la portance de sols compressibles et réduire le tassement de différents types d'ouvrages tels que bâtiments, routes, etc.
- Les segments de bambou creux sont fourrés de mèches en fibres de coco et ficelles de jute légèrement torsadées et enveloppées dans de la toile de jute. Des perforations réalisées dans les segments de bambou permettent à l'eau présente dans le sol d'y pénétrer. Il en résulte un assèchement du terrain et une augmentation de la portance.

Pour de plus amples informations: Dr. M.A. Aziz ou S.D. Ramaswamy, Department of Civil Engineering, National University of Singapore, 10 Kent Ridge Crescent, Singapore 05.11; Bibl. 20.01.



Pieux en segments de bambou fendu

Des pieux en segments de bambou ont été utilisés avec succès. Ils sont fourrés avec des mèches (6 mm de diamètre) en fibres de coco légèrement torsadées. Les mèches sont reliées entre elles avec une ficelle de jute enroulée en spirale et enveloppée d'une toile de jute tissée serrée. Des segments de bambou fendu apprêtés sont perforés au hasard sur leur pourtour et après insertion des mèches en fibre de coco sur toute la longueur, ils sont reliés à intervalles réguliers par un fil de fer galvanisé (Fig. 1).

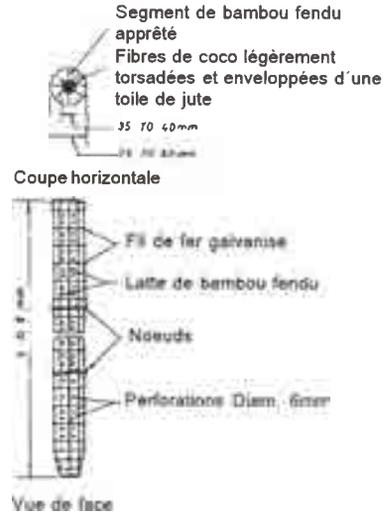


Fig. 1 Pieux en segments de bambou fendu

Zone stabilisée

Les pieux en segments de bambou fendu sont utilisés pour stabiliser des couches superficielles d'argile limoneuse, peu compacte, qui ne dépassent pas 6 m d'épaisseur. La couche à assécher doit surmonter une couche de sol perméable de compacité moyenne (p. ex. un sable argilo-limoneux).

Les pieux, de 8 m de long chacun, sont enfoncés à l'aide d'un mouton, selon une maille de 2 m x 2 m. Après mise en place des pieux, toute la zone est chargée par une couche de matériau sableux afin de provoquer son tassement.

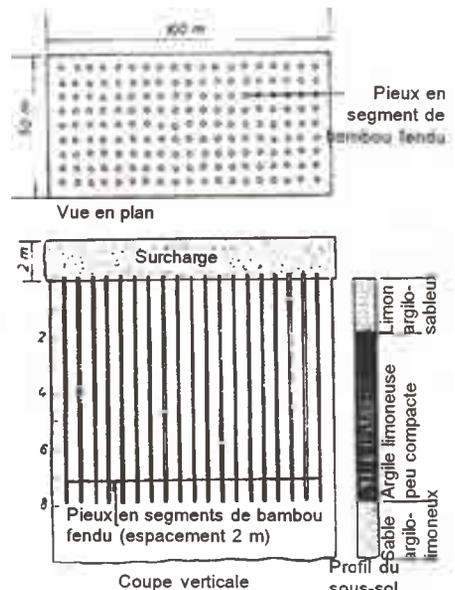


Fig. 2 Situation présentant le profil du sol et la disposition des pieux de bambou fendu

FONDACTIONS À PIEUX EN BOIS

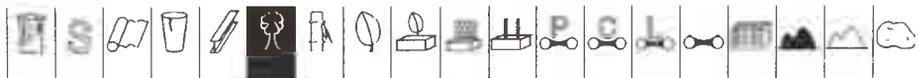
MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Utilisé pour des fondations sur pieux et poteaux
Aspects économiques	Faible coût si le bois est facilement disponible
Stabilité	Faible à bonne
Compétence(s) requise(s)	Main d'oeuvre qualifiée en charpenterie et construction
Equipement(s) nécessaire(s)	Outils de charpentier et de maçon
Résistance sismique	Faible à bonne
Résistance aux ouragans	Faible à bonne
Résistance à la pluie	Faible à bonne
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Tous climats, excepté climats humides en permanence
Degré d'expérimentation	Méthodes traditionnelles

BRÈVE DESCRIPTION :

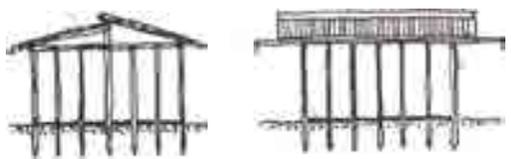
- Les fondations à pieux en bois ne conviennent que pour des structures légères construites en bois, en bambou et/ou autres matériaux végétaux.
- Le principal inconvénient lié à l'utilisation du bois en fondation est le risque d'affaiblissement progressif dû aux attaques des insectes (principalement termites et coléoptères), des champignons et des rongeurs. En conséquence des mesures de protection sont indispensables (voir chapitres consacrés au Bois *et aux* MESURES DE PROTECTION).
- Des pieux en bois peuvent être enfoncés dans le sol en région sèche, si le sol est bien drainé et que les agents biologiques destructeurs (principalement les termites) sont rares à l'endroit concerné.

Pour de plus amples informations: Bibl. 14.18, 14.22, 20.04, 20.05.

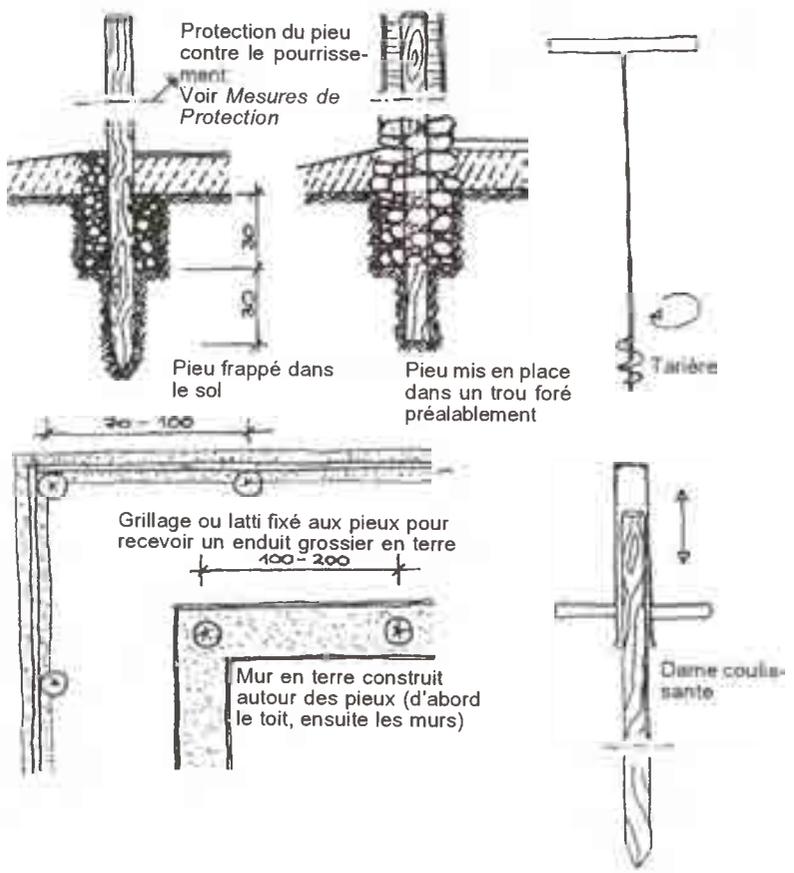


Fondation simplifiée à pieux en bois (Bibl. 20.05)

Seulement pour régions sèches et où les termites n'existent pas



Présentation sans revêtement ou sans remplissage des murs

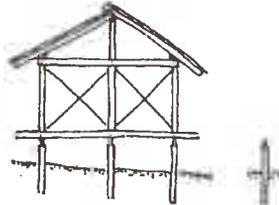


Pieux en bois sur socles en béton (Bibl. 20.05)

Seulement pour régions sèches où les termites n'existent pas.



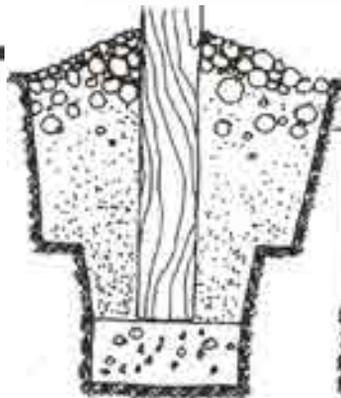
Construction à ossature rigide



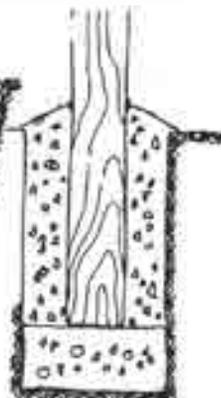
Construction à ossature treillis



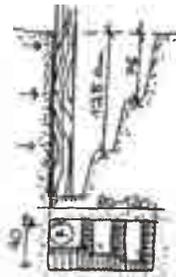
Pieu dans un trou creusé préalablement



Pieu sur socle de béton



Pieu sur socle de béton



Le trou est creusé de sorte que le pieu puisse prendre appui contre le sol en place

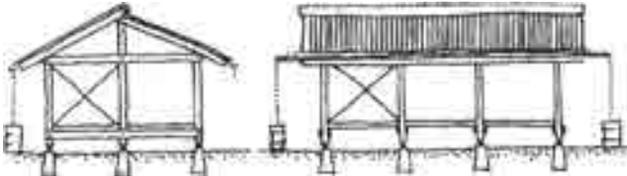
Protection contre le pourrissement: Voir Mesures de Protection

- Les trous sont comblés avec de la terre (pas de terre superficielle) ou du gravier ou un mélange terre-gravier-ciment)

Compacter le remblai en couches successives



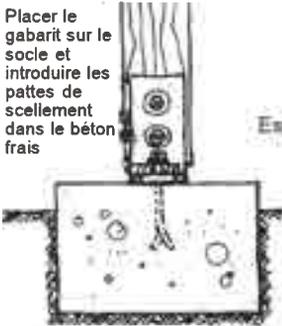
Pieux en bois sans contact avec le sol (Bibl. 20.05)



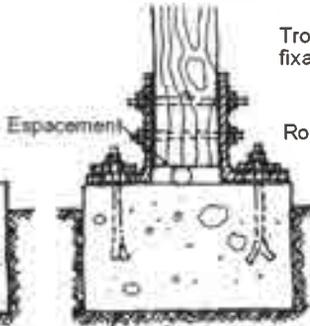
Ossature de la construction

Pieux en bois: 100/100 - 150/150 cm
Équerres: L 100/200 avec boulons et pattes de scellement

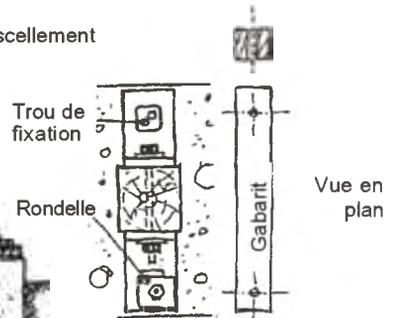
Placer le gabarit sur le socle et introduire les pattes de scellement dans le béton frais



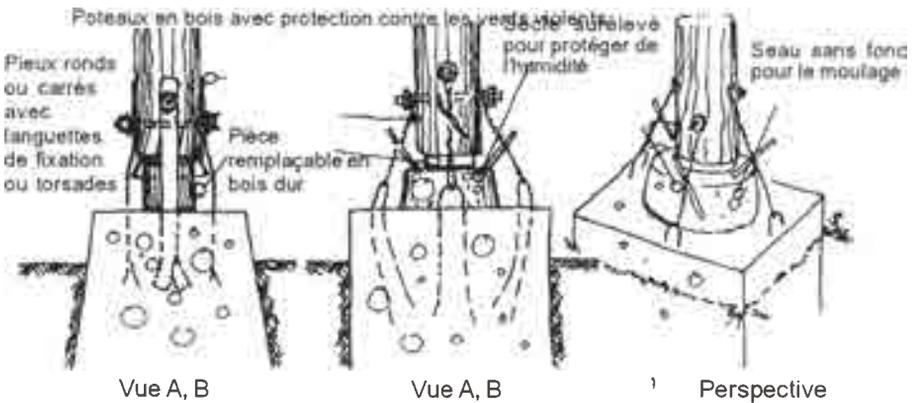
Vue A



Vue B



Trous d'ancrage assez larges pour tenir compte des imprécisions lors de la mise en place des pattes de scellement dans le béton
Rondelle > Trou de fixation



Vue A, B

Vue A, B

Perspective

PLANCHERS EN TERRE STABILISÉE

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Matériau local naturel
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Faible à moyenne
Compétence(s) requise(s)	Travailleurs qualifiés en matière de construction en terre
Équipement(s) nécessaires(s)	Dame ou plaque vibrante; presse à brique
Résistance sismiques	Faible
Résistance aux ouragans	Faible si l'eau trouve à pénétrer dans le bâtiment
Résistance à la pluie	Faible si l'eau trouve à pénétrer dans le bâtiment
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Climats secs
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

BRÈVE DESCRIPTION :

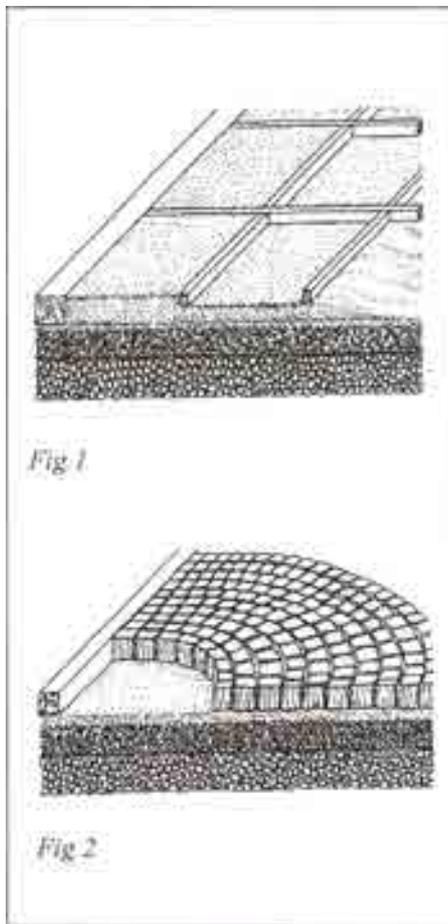
- Les planchers en terre sont répandus dans tous les pays en développement et tout spécialement dans l'habitat rural. La couche de terre superficielle (contenant des matières organiques) est remplacée par une terre non organique (argile, sable, gravier) bien damée. Un enduit de surface, à base d'argile, mélangé à de la bouse de vache assure une certaine stabilisation, mais il doit être fréquemment renouvelé.
- Le Kassel College of Technology, de République Fédérale d'Allemagne, a développé un plancher en terre damée, qui est composé d'un mélange de terres fines stabilisé à l'huile de lin. La teneur en argile du mélange doit être inférieure à 15% et il ne doit contenir ni sable grossier et ni gravier. La dilution de 3 à 4 litres d'huile de lin (selon la teneur en argile) avec 1 ou 2 litres d'eau, permet de stabiliser 100 litres de matériau sec.
- Le corps du plancher est réalisé en plusieurs couches (voir explications page suivante). La surface d'usure peut être exécutée soit en remplissant de terre damée un maillage réalisé avec des avivés, soit en intégrant un pavement en blocs de bois. Les joints comblés de terre assurent la stabilité des blocs en bois. Une solution alternative consiste à utiliser des blocs en terre comprimée (fabriqués à partir d'une presse à briques) à la place des blocs en bois.

Pour de plus amples informations: Bibl. 21.10.



Réalisation du plancher

- Une première couche de 15 cm de gros gravier est étalée sur une surface plane et bien damée. Celle-ci sert de barrière aux remontées capillaires.
- Une seconde couche de 3 à 5 cm de gravier fin ou de gros sable est étalée et recouverte d'une membrane étanche.
- Dans les régions froides, une couche de 10 cm d'isolant (p. ex. nodules d'argile expansée) peut être interposée entre la première et la seconde couche.
- La première couche de terre stabilisée est étalée uniformément et compactée avec une dame manuelle ou une plaque vibrante.
- Un premier maillage (1.80 x 1.80 m) est réalisé en bois de section carrée (10 x 10 cm), puis rempli avec de la terre stabilisée et damée.
- Un second maillage (30 x 30 cm) est réalisé avec des lattes en bois (2 x 4 cm), puis rempli avec de la terre stabilisée, soigneusement damée. La surface est ensuite lissée en pressant fortement le bord de la truelle donnant à la terre un aspect brillant.
- Après plusieurs mois de durcissement, la surface peut être traitée avec une fine couche de cire dure pour améliorer la durabilité et la résistance à l'humidité (la forte odeur de la cire peut cependant poser problème).
- Les 2 dernières couches, réalisées avec le mélange de terres fines, peuvent être remplacées par des blocs en bois dont les joints sont soigneusement remplis du même mélange.



- Une solution alternative consiste à remplacer les blocs en bois par des blocs pressés en terre stabilisée (voir annexe). Les blocs doivent cependant être suffisamment stabilisés (avec de la chaux ou du ciment) pour résister à l'abrasion et à l'humidité.

ÉLÉMENTS EN ARGILE CUITE ET/OU EN BÉTON

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Systèmes simples de préfabrication, construction rapide
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Maçons qualifiés et ouvriers semi-qualifiés
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils standard pour la maçonnerie et le travail du béton
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

BRÈVE DESCRIPTION :

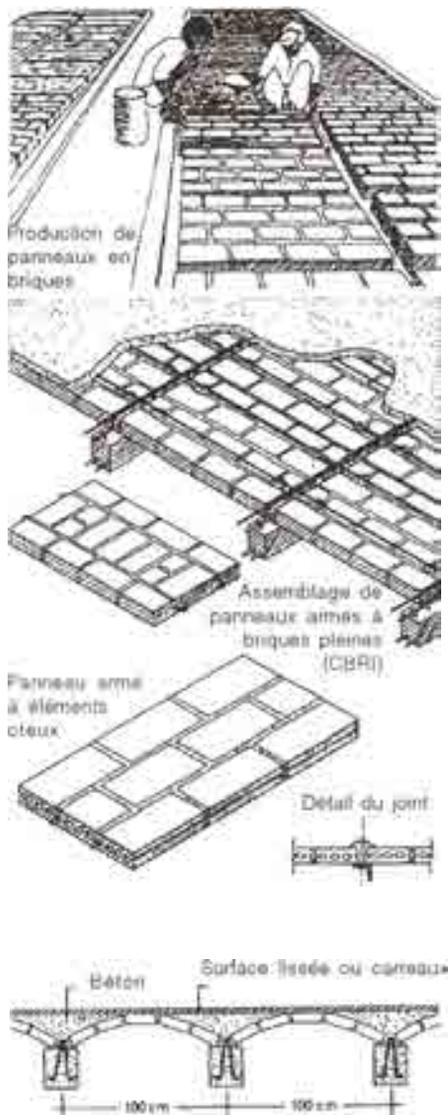
- Les techniques de préfabrication pour planchers, ici présentées, sont destinées à la réalisation de constructions solides et durables de qualité semblable à celle du béton armé. Elles permettent cependant de diminuer considérablement la consommation de ciment.
- Ces planchers et toitures sont construits sans bois de coffrage, ou avec des quantités nettement moindres que celles consommées par les planchers en béton armé conventionnels. L'économie de bois n'entraîne pas seulement une réduction des coûts, elle contribue à la conservation des forêts dont les étendues diminuent rapidement.
- Les matériaux et systèmes de construction présentés, résistent aux agents agressifs aussi bien que le béton armé.
- L'existence de produits (briques, carreaux...) de bonne qualité est un préalable indispensable à la mise en oeuvre des techniques présentées. Les productions locales de briques en zone rurale ne rencontrent pas toujours cette exigence de qualité.

Pour de plus amples informations: Bibl. 00.10, 00.37, 21.03, 21.07, 21.09, 23.12.

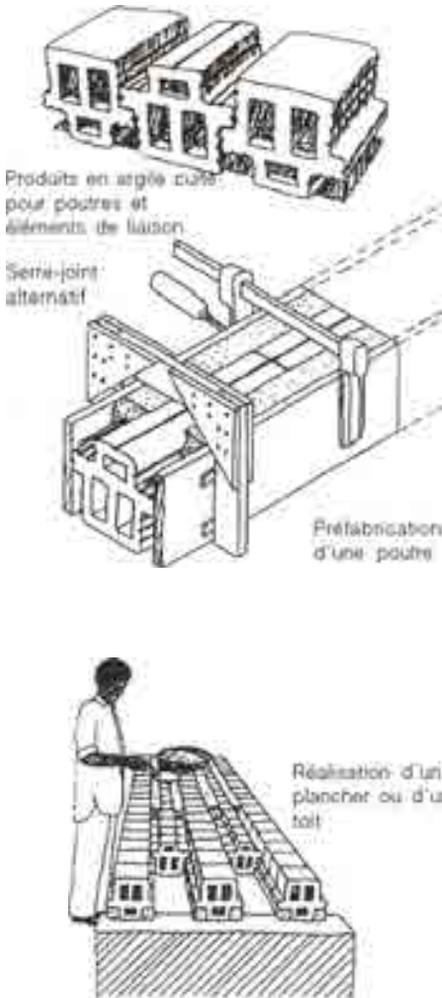


Panneaux armés réalisés à partir de briques pleines ou de carreaux creux

- Les panneaux présentés ici ont été développés en Inde.
- En principe, ils sont réalisés à partir de briques pleines ou d'éléments creux assemblés sur une surface préparée à cet effet. Les joints longitudinaux entre produits sont équipés d'une armature de renfort, avant d'être remplis de mortier. Des poutrelles en béton armé de section relativement réduite sont préfabriquées à la longueur des portées à franchir. Ces poutrelles sont placées manuellement au sommet des murs avec un entre axe légèrement supérieur à la longueur des panneaux. Elles sont étagées, avant de recevoir les panneaux qu'on aligne perpendiculairement aux poutrelles. Une armature en treillis est alors réalisée en disposant des fers de répartition perpendiculaires aux poutrelles et un fer de liaison sur chaque poutrelle. Les joints sont ensuite comblés avec un mortier dosé 1 : 3 (ciment : sable), avant de recouvrir le tout d'une couche de 30 mm de béton. On obtient donc une structure en T dans laquelle le sommet du T joue le rôle de table de compression.
- Les *panneaux plans*, développés par le Central Building Research Institute à Roorkee, sont réalisés à partir de briques cuites standard (épaisseur: 75 mm, largeur: 560 mm, longueur: 1040 à 1200 mm).
- Des panneaux similaires ont été développés à ASTRA, Indian Institute of Science à Bangalore. Des éléments creux, extrudés, remplacent les briques pleines pour réduire le poids propre des panneaux. La hauteur du claustra limitée à 50 mm (largeur: 125 mm, longueur: 250 mm) permet aussi d'en réduire l'épaisseur. Dimension standard des panneaux: 400 x 800 mm (9 pièces) et 400 x 1050 mm (12 pièces).
- Des planchers peuvent aussi être fabriqués à partir de *panneaux cintrés*. Ils supportent des charges plus importantes que les panneaux plats, mais nécessitent plus de béton pour noyer la courbure du plafond.



Panneaux cintrés pour toits plats ou plafonds



Éléments extrudés en argile cuite pour poutres et entrevous

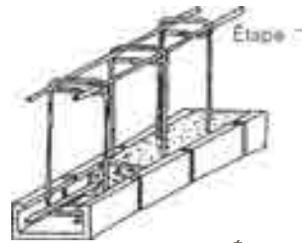
- Un élément extrudé en argile cuite de forme particulière a été développé au CBRI Roorkee. Sa forme a été conçue afin qu'il puisse à la fois servir à fabriquer des poutres ou comme simple entrevous. Les dimensions de ce produit sont de 16.5 x 15.0 x 19.0 cm. Il est percé de trois cavités rectangulaires et les surfaces destinées à être en contact avec le béton ou le mortier sont rainurées pour obtenir un bon accrochage.
- La préfabrication d'une poutre s'opère sur une aire plane, en alignant bout à bout les éléments extrudés (côté large en dessous). Les joints sont ensuite comblés avec un mortier 1 : 3 (ciment : sable). Le nombre d'éléments alignés est déterminé par la longueur de la poutre à réaliser. Deux planches en bois, propres et huilées, sont plaquées de chaque côté de l'alignement et maintenues par des serre-joints. Les 2 rigoles formées entre les planches et les éléments extrudés sont remplies de béton, tandis qu'une barre d'armature est noyée dans chacune d'elle. Selon les conditions climatiques, les planches peuvent être retirées après 45 ou 90 minutes. Avant d'être utilisables, les poutres sont curées à l'eau pendant 7 jours et à l'air pendant 21 jours.
- À la construction d'un plancher ou d'un toit, les poutres, qui pèsent entre 80 et 90 kg, sont retournées et mises en place manuellement, en lignes parallèles distantes de 30 cm (axe en axe). Pour la stabilité et la mise à niveau, les extrémités de la poutre sont posées sur des galettes de nivellement en mortier (ciment-sable) et temporairement étançonnées si nécessaire. Ensuite, les éléments extrudés, utilisés comme entrevous (côté large en dessous), sont posés sur les saillies longitudinales de 2 poutres voisines. On utilise comme premier et dernier entrevous, des éléments de demi-longueur pour que leurs jonctions soient décalées par rapport à celles des éléments utilisés pour les poutres. Les joints sont remplis avec du mortier et les rigoles avec du béton + armature (comme lors de la fabrication de la poutre). Avant de procéder à la finition de la surface du plancher, l'ensemble est maintenu humide pendant 14 jours.



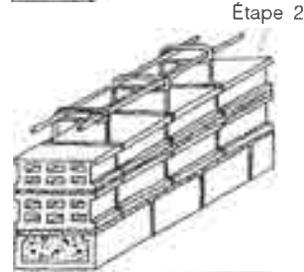
Poutre mixte associant produits en argile cuite et béton armé

- Dans les régions où le bois est rare, ou tend à le devenir, la réalisation de coffrage en bois est onéreuse et contribue à la dégradation de l'environnement. Pour contourner ces problèmes, une solution alternative aux poutres en béton armé conventionnelles a été développée à la Chulalongkorn University à Bangkok.
- Des éléments de section U en argile cuite sont alignés sur une longueur déterminée, de façon à former un canal. Ils sont ensuite assemblés avec un mortier sable-ciment. Une armature en acier constituée de barres longitudinales et d'étriers est mise en place dans ce canal. Celui-ci, ensuite rempli de béton jusqu'à ras bord, constitue l'aile inférieure d'une poutre. La partie centrale de la poutre est, elle, constituée de blocs creux en argile cuite, qui s'intercalent entre les étriers. Ces blocs peuvent être superposés en une ou plusieurs couches au-dessus du canal bétonné (humidifier abondamment les blocs en argile cuite, sur toutes leurs faces, avant de les mettre en place). Le jointoiment de ces blocs entre eux et entre le canal bétonné est exécuté avec un mortier sable - ciment. L'aile supérieure de compression de la poutre est réalisée avec les éléments de section U, en argile cuite. Ils sont alignés entre les étriers, sur les blocs creux. Le canal ainsi formé est ensuite bétonné.
- L'aile supérieure (et éventuellement aussi la partie centrale de la poutre) peut être réalisée après mise en place de la poutre. Celle-ci étant plus légère, elle peut être manipulée sans engin. L'aile supérieure peut aussi être intégrée dans une dalle de plancher coulée en place. Cela donne lieu alors, à une structure de plancher constituée de poutres en T.
- En plus de la facilité de réalisation, les poutres mixtes sont économiques. Selon les cas, ce type de poutre est 11 à 35% moins cher que des poutres conventionnelles en béton armé, de dimensions et d'armatures comparables.

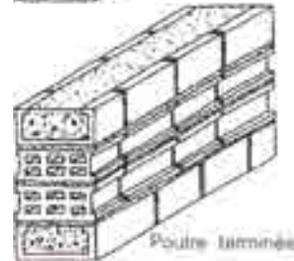
(Source: Bibl. 21.09)



Étape 1



Étape 2



Poutre terminée



Poutre intégrée dans une dalle de plancher coulée en place

ÉLÉMENTS DE PLANCHER PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Installation et préfabrication simples
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Ouvriers semi-qualifiés, charpentiers et maçons qualifiés
Equipement(s) nécessaires(s)	Coffrages (bois et acier), vibreur
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Applications pratiques en Inde et en Chine

BRÈVE DESCRIPTION :

- Ces éléments en béton armé peuvent être préfabriqués sur le chantier même, sans équipement onéreux et sans appareil de levage.
- Ils sont conçus de manière à atteindre une résistance élevée pour un volume de béton minimum. La consommation en ciment est réduite et la production, de même que l'installation, ne font appel qu'à des opérations manuelles.
- Les principaux avantages de l'utilisation d'éléments préfabriqués en béton pour plancher sont la suppression des coffrages (hormis quelques étais) et la rapidité d'installation.
- Selon le coût et la disponibilité en ciment, ces méthodes de construction peuvent conduire à des coûts plus élevés que dans le cas de la réalisation de planchers n'utilisant pas le béton. Elles permettent cependant d'atteindre une solidité et une durabilité plus élevée, sans entretien particulier.

Pour de plus amples informations: Bibl. 21.01, 21.04, 21.08.



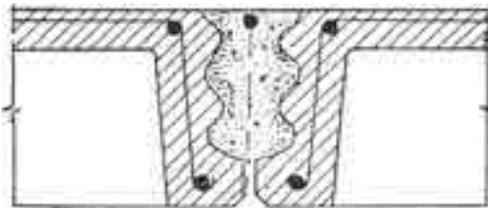
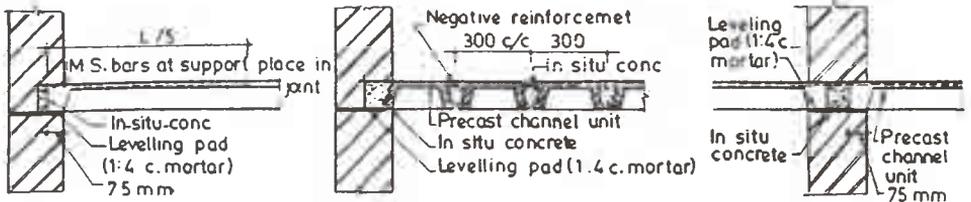
Éléments U renversés (Bibl. 21.04)

- Les éléments développés, au Central Building Research Institute de Roorkee en Inde, ont 13 cm de hauteur et 30 ou 60 cm de largeur. Leur longueur est fonction de la portée à franchir, mais se limite à un maximum de 4 m. Au-delà, la rigidité de l'élément et sa capacité portante deviennent insuffisantes.
- Les moules peuvent être construits en bois ou en acier. Les stries sur les faces extérieures et les cannelures verticales des extrémités servent à la reprise des efforts de cisaillement.

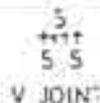
- Après huilage du moule, l'armature est mise en place (distance aux bords: 12 mm). Le béton est alors coulé et compacté avec une plaque vibrante. Les éléments frais sont maintenus humides pendant 2 jours, après quoi ils sont démoulés et ensuite remplis d'eau pendant 12 jours. Avant de les utiliser, une cure à l'air de 14 jours supplémentaires doit être respectée.
- Le montage ne requiert pas d'étañonnement. Les éléments sont placés parallèlement l'un à l'autre sur leurs appuis. Les joints sont ensuite remplis de béton et renforcés par une barre d'acier.



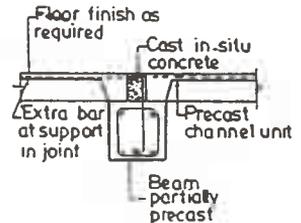
FIG. 1 A CHANNEL UNIT



Ruled joint



Details of installation



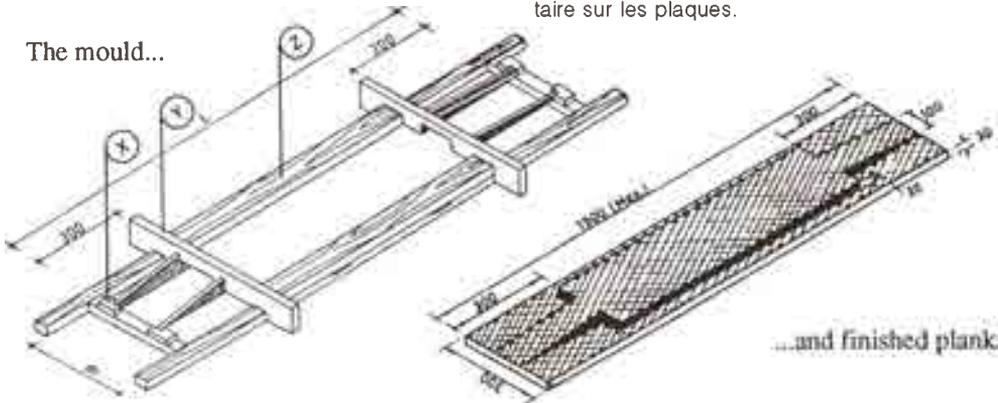
Plaques minces en béton armé (Bibl. 21.01)



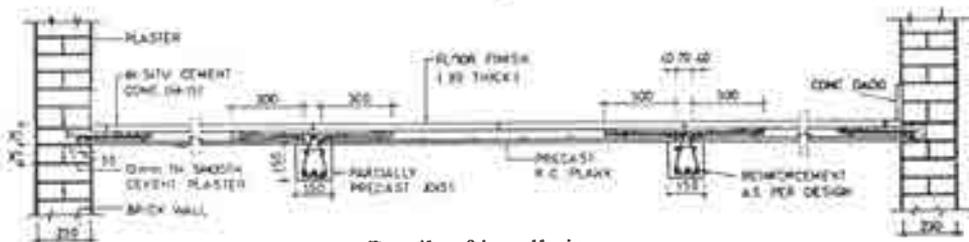
- Ce système a également été développé en Inde. Les plaques (30 x 145 cm) ont une épaisseur variant de 3 cm, sur les bords, à 6 cm au centre. Un plan incliné, large de 10 cm, fait la transition et renforce les extrémités pour faciliter la manutention. Des poutres de section 15 x 15 cm sont préfabriquées dans de simples coffrages métalliques ou en bois et des étriers d'attente émergent du béton.

- Les poutres étançonnées, à mi-travée, sont alignées en respectant un entre axe de 150 cm. Les plaques sont ensuite posées bord à bord sur les poutres. Après fixation des armatures à la poutre, un béton de remplissage est coulé sur site. Lorsque la résistance finale est atteinte, les étançons sont enlevés. Il n'est pas nécessaire de réaliser une chape de béton supplémentaire sur les plaques.

The mould...



...and finished plank



Details of installation



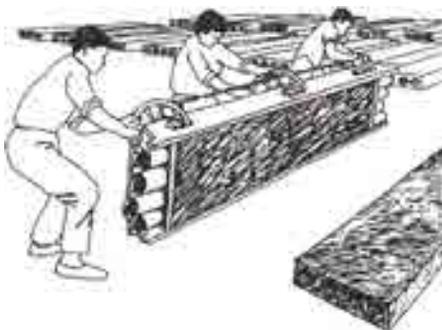
Dalles creuses de plancher (Bibl. 21.08)

- Il s'agit d'une méthode simple de préfabrication in situ d'éléments creux en béton armé pour plancher. Cette technique a été développée et est pratiquée en Chine. Au cours d'une journée de travail normale, 20 à 25 dalles de 333 x 60 x 12 cm peuvent être produites.
- Le coffrage en bois est fixé à une mâchoire basculante en profilés d'acier mécano soudés. Les plaques métalliques d'extrémité, percées de 4 trous, ont une forme trapézoïdale qui détermine la section des éléments préfabriqués. Le bétonnage de la jonction latérale entre 2 de ces éléments préfabriqués est facilité du fait de la forme en V du joint, qui résulte de la forme trapézoïdale des dalles préfabriquées.
- Un voile est placé à l'intérieur du coffrage pour éviter tout problème d'adhérence lors du décoffrage. Les aciers d'armature sont mis en place à une distance suffisante de la surface de l'élément préfabriqué, tandis que quatre tuyaux métalliques sont introduits dans les trous des plaques d'extrémité. Le béton est coulé et vibré simultanément pour empêcher la formation de poches d'air autour des tuyaux. Le béton est mis en place très sec pour qu'il ne s'affaisse pas lors du retrait des tuyaux.
- Lorsque le bétonnage est terminé, 3 ou 4 hommes retournent, d'un mouvement continu, le moule d'un demi-tour complet en manipulant les mâchoires métalliques. La dalle préfabriquée, non encore durcie, arrive donc sur le sol préalablement recouvert de sable pour éviter l'accrochage du béton. Les tuyaux sont démoulés l'un après l'autre, avec précaution, en les fai-

Le moule



Retournement du moule



sant d'abord tourner sur eux-mêmes et en les tirant ensuite avec l'aide d'un treuil électrique.

- Le coffrage est démonté et immédiatement réassemblé pour la fabrication de la dalle suivante. Un cycle complet dure environ 15 minutes et occupe 3 à 4 personnes.

PLANCHERS EN BAMBOU

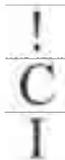
MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Légers, flexibles et remplaçables
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Moyenne à bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualification traditionnelle
Equipement(s) nécessaires(s)	Outils pour la coupe et la fente du bambou
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Moyenne à bonne
Résistance à la pluie	Moyenne
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Régions chaudes et humides
Degré d'expérimentation	Technique traditionnelle

BRÈVE DESCRIPTION :

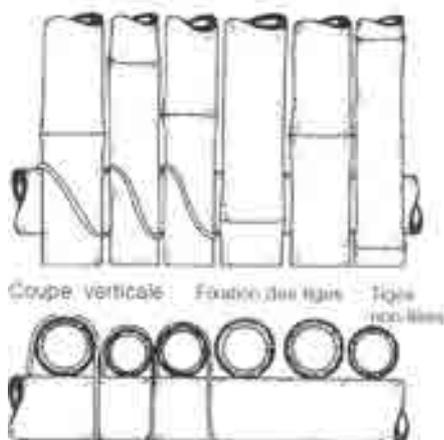
- Les planchers en bambou se rencontrent habituellement dans des constructions en bambou et par extension dans des constructions à ossature bois.
- La méthode la plus simple consiste à poser des tiges de bambou à plat, parallèlement les unes aux autres, et à les lier à la structure porteuse. On obtient alors une surface très irrégulière, sur laquelle il peut être inconfortable de s'asseoir ou de se tenir debout pour de longs moments.
- Des surfaces plus régulières sont obtenues en recouvrant la structure du plancher en bambou soit par des panneaux faits de tiges fendues et aplaties ou par un tissage de minces bandes de bambou.
- Un plancher en bambou est toujours bien ventilé du fait des joints ouverts. Ceci est favorable pour le climat intérieur et empêche l'accumulation d'humidité.
- Des mesures de protections doivent être prises pour limiter l'attaque des agents biologiques et prévenir le feu (voir aussi *MESURES DE PROTECTION*)

Pour de plus amples informations: Bibl. 13.02, 13.04, 13.05, 13.09, 13.10, 13.12, 13.13.

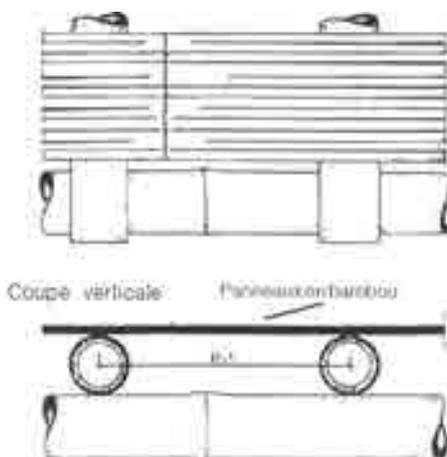


Planchers en bambou (d'après Dunkelberg, Bibl. 13.02)

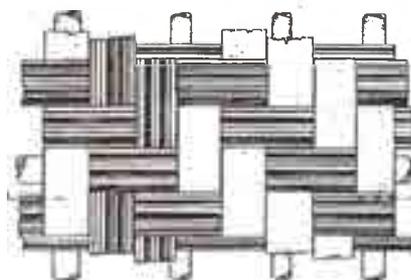
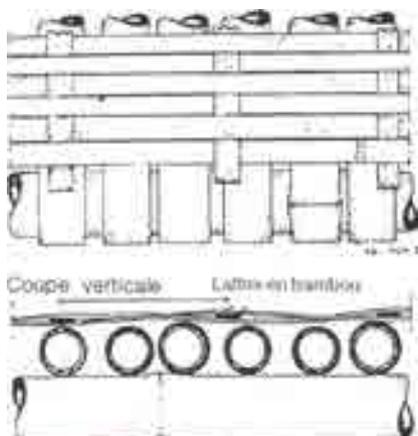
Tiges entières



Panneaux en bambou (tiges aplaties)



Sols tissés avec de minces bandes de bambou



PLANCHERS EN BOIS

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Convient à la préfabrication, assemblage rapide
Aspects économiques	Coût moyen
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Charpentiers qualifiés
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils de charpenterie
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Faible à moyenne
Résistance à la pluie	Faible à moyenne
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Climats chauds et humides
Degré d'expérimentation	Technique classique

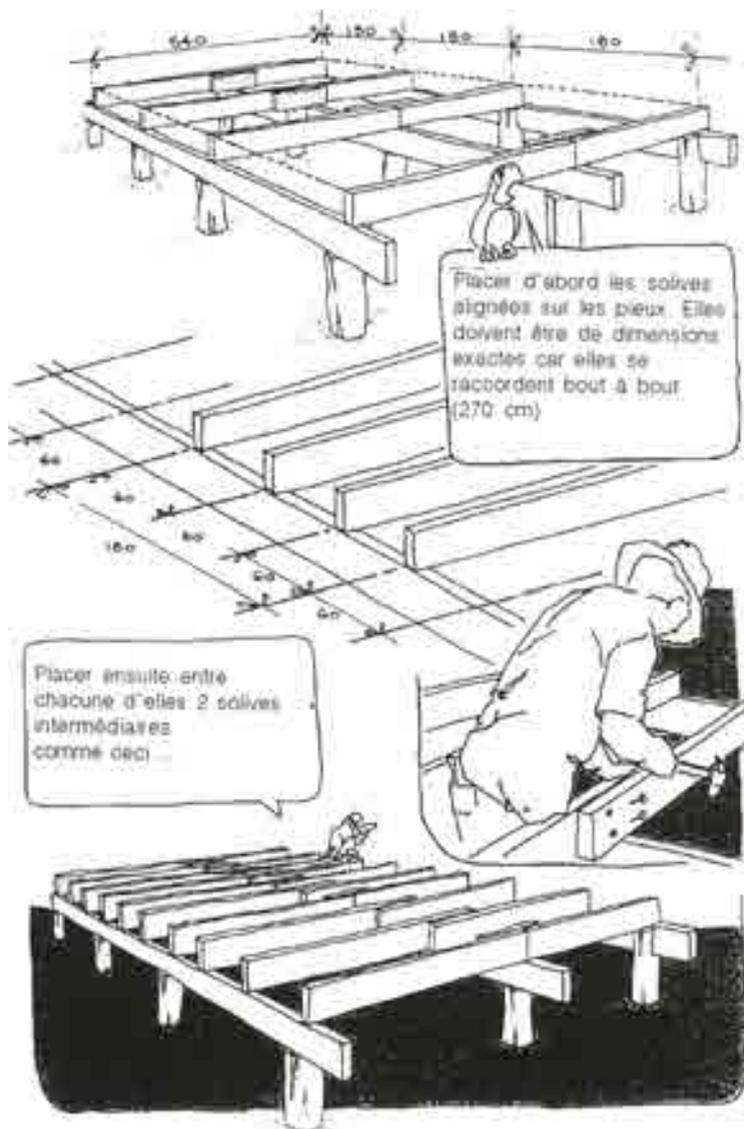
BRÈVE DESCRIPTION :

- La technique du plancher en bois est classique et pratiquée dans le monde entier.
- Les planchers en bois sont principalement réalisés à partir de planches en bois, lesquelles sont clouées sur une structure portante en bois de sciage. Plus petite est la distance entre les membrures de la structure portante, plus grande sera la résistance du plancher, plus faible sera la transmission des vibrations et du son, mais plus élevé sera le prix.
- Des mesures de protection doivent être prises pour limiter l'attaque des agents biologiques et prévenir le feu (voir aussi *MESURES DE PROTECTION*).
- Les illustrations des 3 pages qui suivent, sont tirées de l'excellent ouvrage illustré de l'UNIDO, qui traite de la construction de maisons en bois. Cet ouvrage a été préparé par l'Instituto Pesquisas Tecnológicas (IPT), de São Paulo au Brésil, pour un projet communautaire d'autoconstruction à Coroados, Manaus, sous un contrat avec la Housing Society for the Amazon State (SHAM).

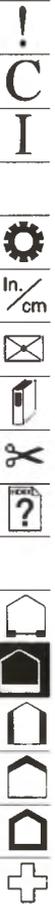
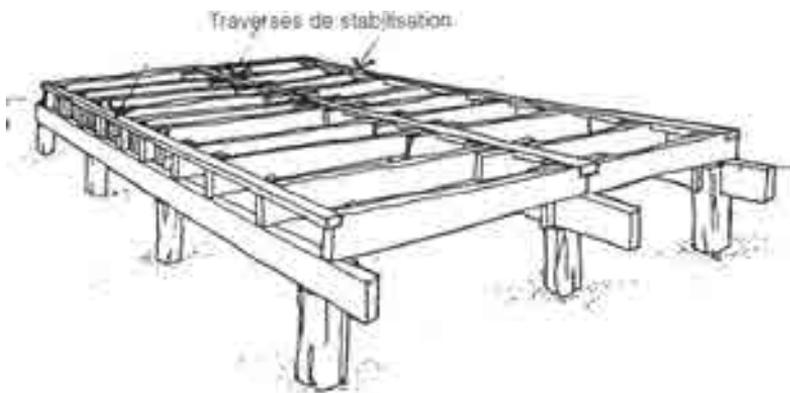
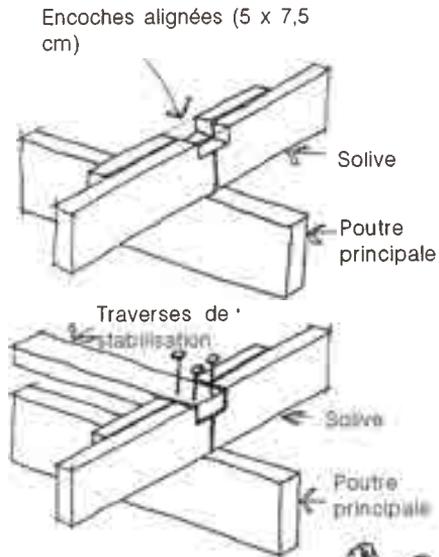
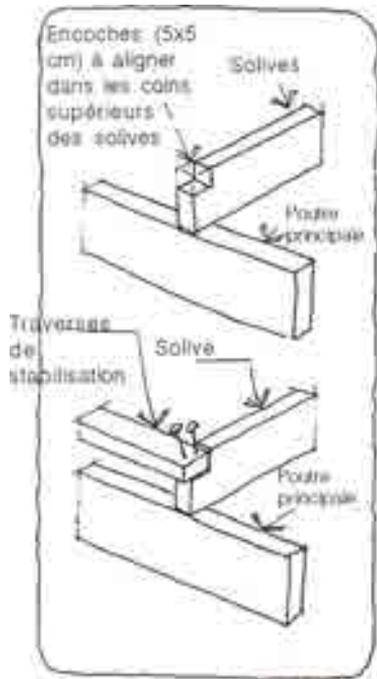
Pour de plus amples informations: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de l'état de São Paulo, S.A., P.O. Box 7141, 05508 São Paulo, CEP 01051, Brésil; Bibl. 14.22.



Construction de planchers en bois (Bibl. 14.22)



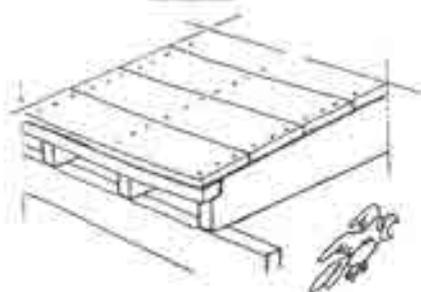
Le clouage des traverses est réalisé de la manière suivante...



... et finalement les bardeaux sont posés et fixés sur les solives...



Les joints entre planches
doivent être très hermétiques.
Chaque bardeau est cloué
sur chaque solive traversée
par 3 clous L = 7,5 cm.



Vérifier l'ajustement et la
 finition des bordures de
 la plate-forme.



SOLS EN BÉTON DE SOUFRE

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Solides, durables et résistants à l'eau
Aspects économiques	Coût moyen
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Expérience en matière d'utilisation du soufre
Équipement(s) nécessaires(s)	Mélangeur à béton conventionnel, équipé d'un chauffage
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

BRÈVE DESCRIPTION :

- Le béton de soufre est constitué de soufre naturel et d'un agrégat inorganique, en général du sable grossier ou du sable fin (voir aussi la section consacrée au *Soufre*).
- Le béton de soufre peut être indifféremment coulé sur site ou en atelier pour la préfabrication de carreaux de dallage de formes très variées.
- Les mises en oeuvre sur site exigent de l'adresse, de l'expérience et de la rapidité, car le soufre fondu durcit vite en se refroidissant.
- Les carreaux en béton de soufre se posent sur un lit de sable, de la même façon que les produits en argile cuite, en béton et autres carreaux de dallage.

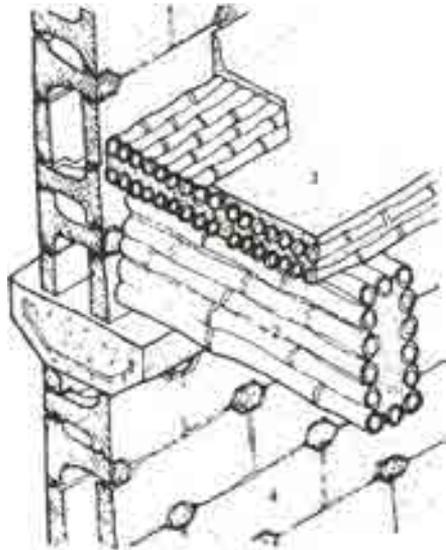
Pour de plus amples informations: Alvaro Ortega, Research Consultant, 3460 Peel Street, Apt. 811, Montreal P.Q., Canada; Bibl. 18.01, 18.04, 18.05, 18.06, 18.07.



Sols expérimentaux en béton de soufre

Une couverture en béton de soufre d'une structure de plancher bambou-polyuréthane a été développée par Christopher Alexander au Pérou, en tant que procédé de construction pour logements économiques. (PREVI - Proyecto Experimental de Vivienda, concours international subventionné par les Nations Unies, le gouvernement péruvien et la Banque de l'Habitat, 1969).

(Bibl. 18.01)



Carreaux de pavement en béton de soufre, utilisés dans le cadre de l'«Ecol Operation» (Bibl. 18.06). Les carreaux de 5 cm d'épaisseur ont été fabriqués dans des moules en fer-blanc (moules ménagers pour la pâtisserie) et posés sur un lit de sable.

FINITIONS DE SOLS ORDINAIRES

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Sols de durabilité moyenne à élevée
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications spécialisées
Équipement(s) nécessaires(s)	Équipement standard pour la construction
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	Tous climats
Degré d'expérimentation	Techniques conventionnelles

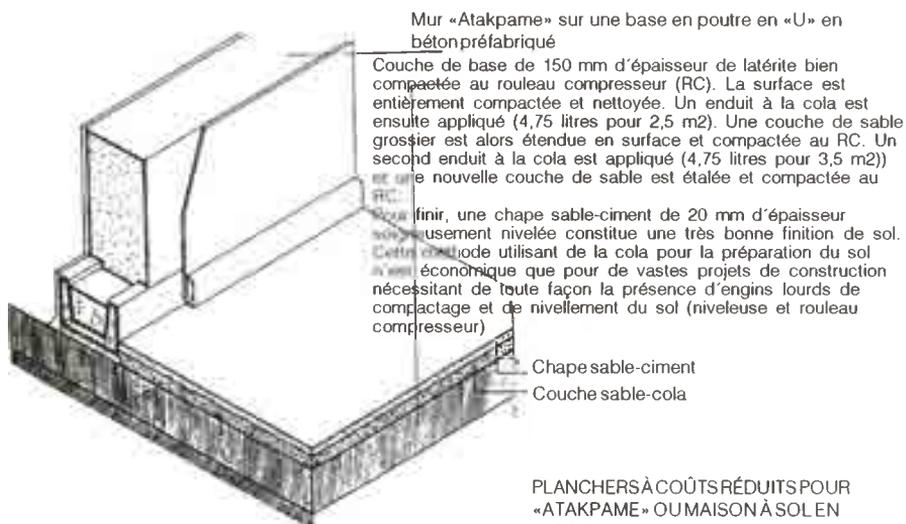
BRÈVE DESCRIPTION :

- Les fonctions des finitions de sol (couches de finitions ou de recouvrement de la structure du plancher) ont été parfaitement résumées comme suit en Bibl. 21.11. Les couches de finition doivent:
 - avoir une haute résistance à l'usure et une longue durée de vie;
 - donner aux planchers une surface sûre, antidérapante et facile à nettoyer;
 - augmenter la résistance au feu et aux insectes de la structure du plancher;
 - amortir les bruits et améliorer l'isolation;
 - contribuer à l'esthétique de l'intérieur de la construction;
 - être suffisamment souples pour ne pas être affectées par de légers mouvements de la structure d'un plancher (retrait/gonflement, tassement, dilatation thermique)
- Des finitions ordinaires de planchers sont illustrées dans les pages suivantes. Ces illustrations présentent divers détails de construction bien conçus.
- La réalisation d'un sol de véranda est également détaillée, car dans les pays en développement certaines activités (p. ex. préparation de la nourriture, cuisine, jeux, réunions) ont lieu à l'extérieur (sous véranda, dans une cour, sur une toiture terrasse, etc.).

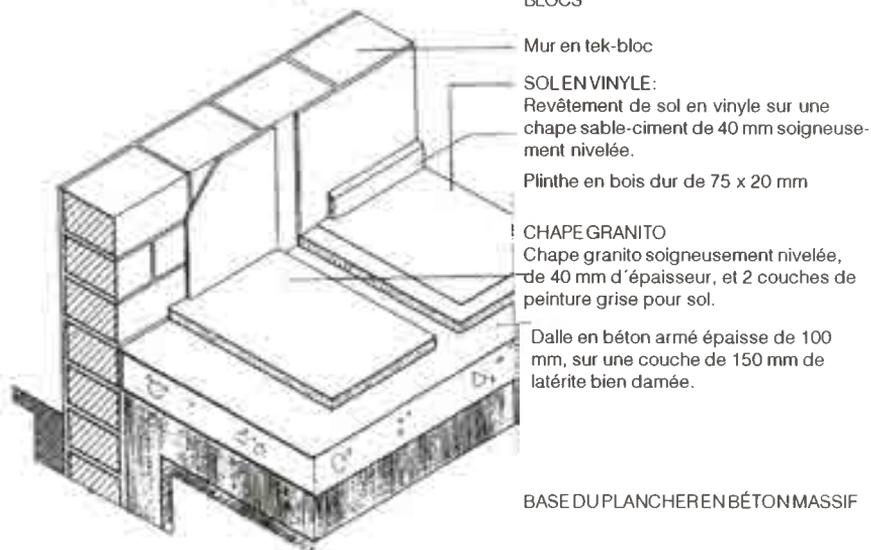
Pour de plus amples informations: Bibl. 00.48, 21.11.

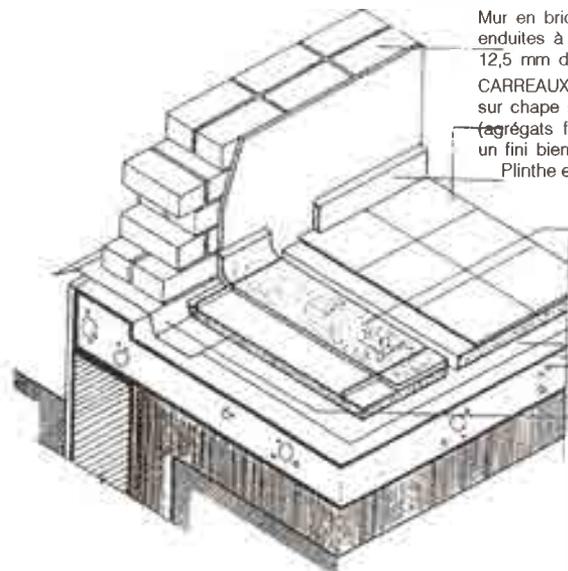


Planchers et finitions de sol (Bibl. 21.11)



PLANCHERS À COÛTS RÉDUITS POUR «ATAKPAME» OU MAISON À SOLENS BLOCS





Mur en briques cuites apparentes à l'extérieur et enduites à l'intérieur avec un crépi sable-ciment de 12,5 mm d'épaisseur

CARREAUX DE PAVEMENT EN PVC:
sur chape sable-ciment de 50 mm d'épaisseur (agrégats fins) soigneusement nivelée pour obtenir un fini bien lisse

Plinthe en bois dur de 90 x 20 mm

GRANITO RÉALISÉ IN SITU:

moucheté noir et blanc (granito de 20 mm d'épaisseur sur chape sable-ciment de 30 mm d'épaisseur) de fines lattes noires en plastique découpent le granito en secteurs carrés. La plinthe préfabriquée est également en granito (couleur noire)

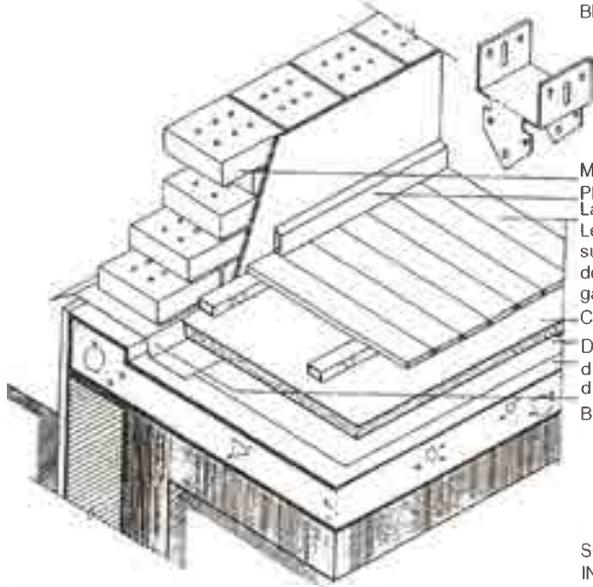
Voile d'étanchéité

Dalle en béton armé de 125 mm d'épaisseur sur une assise de fondation remblayée de 150 mm

Barrière anti-termites jouant aussi le rôle de voile d'étanchéité.

Les dispositions illustrées sur cette vue sont d'application dans les régions à climat humide, ainsi que là où existe un problème de termites.

PLANCHERS SUR DALLE INDÉPENDANTE EN BÉTON ARMÉ



Attaches embouties en acier galvanisé noyées dans la chape avec des interdistances de 600 mm (tiré de «Floors» de G. Hale, MacMillan Press Ltd. London)

Mur en briques cuites

Plinthe en bois dur 90 x 20 mm

Lambri en bois dur d'épaisseur 20 mm.

Les lattes sont clouées (clouage masqué) sur des traverses (50 x 35 mm; traitement de préservation) fixées aux attaches galvanisées noyées dans la chape

Chape sable-ciment de 40 mm d'épaisseur

Dalle en béton armé de 125 mm d'épaisseur sur remblai de 150 mm d'épaisseur

Barrière anti-termites

SOL À LAMBRIS EN BOIS DUR SUR DALLE INDÉPENDANTE EN BÉTON ARMÉ



Carrelages

Le carrelage d'un sol est relativement cher parce que les carreaux sont très souvent importés, que la pose requiert une main d'œuvre spécialisée et qu'il est nécessaire de réaliser, auparavant, une assise stable.

Les deux types de carreaux présentés ci-après ont l'avantage d'être produits localement. Les équipements de production sont relativement simples et cette activité permet de créer de l'emploi tout en valorisant des matières premières locales.

Carrelages ESPACE 2001

- Ces carreaux en microbéton sont résistants. Ils nécessitent l'importation d'adjuvants (pigments, fluidifiant), tandis que les autres matières premières sont disponibles localement (sable, gravier, eau et ciment). Il existe une multitude de moules qui permettent de produire des carreaux de forme et dimensions très variées.
- Les matières premières, soigneusement dosées, sont mélangées dans un malaxeur planétaire. Après le malaxage, on verse une dose de mélange dans un moule en caoutchouc. Le mélange est étalé dans le moule avec une truelle, tandis que le serrage du microbéton est assuré par vibration. Après vibration, 2 moules sont posés côte à côte sur un plateau plan et lisse. Les plateaux sont envoyés au stockage et superposés en piles de 0,8 m. Après une cure d'une semaine, les carreaux sont démoulés et entreposés à l'ombre pour terminer leur durcissement. Les moules sont ensuite immédiatement et soigneusement nettoyés, car ils sont chers et représentent la part la plus importante de l'investissement.
- Les arêtes sont parfaitement nettes et divers finis de surface sont possibles (lisses ou rugueux, plats ou avec des motifs). Certains moules impriment une rainure dans les côtés du carreau, de manière à garantir une parfaite stabilité après jointoyage au ciment.
- En tenant compte d'un rendement de 80 %, les unités de production de carrelage proposées par ESPACE 2001 produisent de quoi carrelé 100 à 1000 m² par jour.

Carrelage ITW/Parry

- Carreaux en microbéton, économiques et résistants à l'usure.
- Diverses formes peuvent être obtenues selon les moules utilisés.
- Matières premières: ciment, sable, gravier et éventuellement pigments.
- Les matières premières sont dosées et mélangées dans une bétonnière. Une petite pelle de contenance calibrée sert à prélever la quantité exacte de mélange à déposer dans chacun des 2 compartiments d'un moule double en polyuréthane. Avant de déposer les doses de mortier dans le moule double, un film de produit démoulant est appliqué au pinceau sur les faces intérieures des compartiments. Lorsqu'il reçoit ces deux doses de mélange, le moule double est posé sur le plateau d'une table vibrante. Pendant la vibration, le mortier est étendu de manière à obtenir une épaisseur homogène. Après la vibration, le moule double est tiré sur un plateau rigide en plastique, lequel est alors envoyé à l'aire de cure et empilé sur le plateau précédent. Le jour suivant les carreaux sont démoulés et mis en cure, soit dans un

bassin rempli d'eau, soit dans un volume saturé de vapeur d'eau. Les moules doivent être nettoyés immédiatement après le démoulage des carreaux.

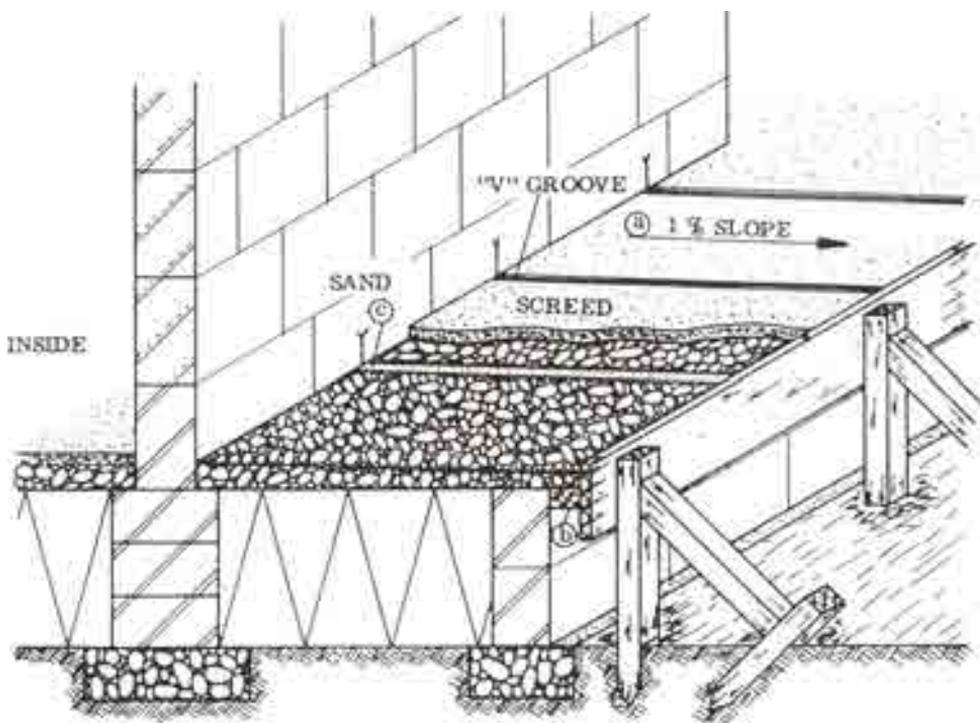
- Une unité semi-mécanisée, équipée de 400 moules doubles et servie par 4 ouvriers, produit par jour assez de carreaux pour couvrir environ 40 m².



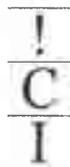
Planchers de véranda (Bibl. 00.48)

- La réalisation de planchers pour véranda diffère en trois points de la réalisation de planchers intérieurs:
 - Les planchers pour véranda sont réalisés avec une légère pente (environ 1%) vers l'extérieur, pour diriger l'écoulement des eaux de pluie (a).

- Les bords extérieurs (b) d'une terrasse débordent de 2 à 3 cm de l'assise, pour masquer le joint entre le plan horizontal de la terrasse et l'assise, qui se marque inmanquablement par une fissure.
- Des joints de dilatation, comblés de sable humide (c), doivent être prévus pour permettre les mouvements dus aux variations de température causées par les conditions d'ensoleillement variables.



EXEMPLES DE MATÉRIAUX POUR MURS



MURS EN BLOCS DE MOELLONS BÉTONNÉS

MOTS CLÉS :

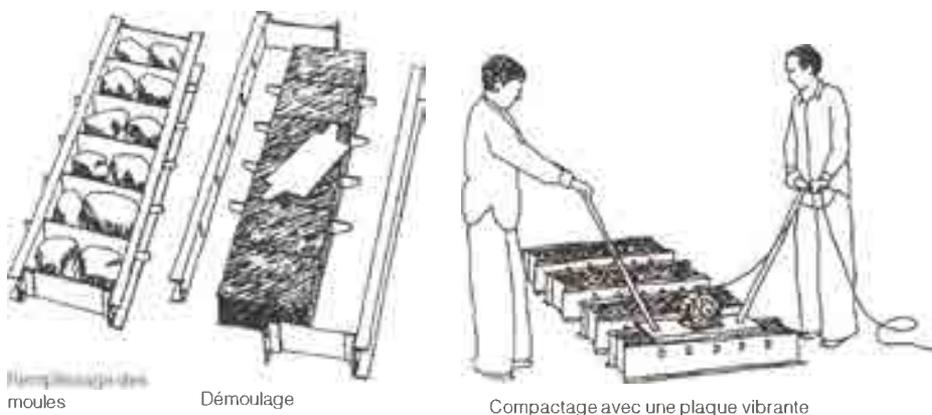
Propriétés particulières	Perfectionnement de la maçonnerie en moellons
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications en Maçonnerie
Équipement(s) nécessaire(s)	Moules en acier, plaque vibrante, outils de maçonnerie
Résistance sismique	Moyenne à bonne
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Très bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Utilisation croissante dans le sous-continent indien

BRÈVE DESCRIPTION:

- Dans les régions montagneuses, la construction de murs en moellons est très répandue. Ce type de construction consomme cependant beaucoup de pierres, de mortier et de travail. Les murs manquent de régularité et sont sujets à des infiltrations d'eau. La préfabrication de blocs de béton à partir de moellons est une méthode qui permet d'éliminer ces inconvénients.
- Le technique développée en Inde utilise des moules en acier, une plaque vibrante et des truelles. Le moulage des blocs est effectué sur une plate-forme en béton préalablement huilée. Il en est de même des surfaces internes de 4 à 5 batteries de moules. Les batteries de moules sont alignées l'une à côté de l'autre sur la plate-forme de moulage. 2 à 3 moellons sont disposés dans chaque moule, en plaçant le côté le plus plat contre la plate-forme de moulage. Espacement minimum entre les moellons eux-mêmes et entre les moellons et les bords d'un moule: 15 mm.
- Un béton 1 : 5 : 8 (ciment : sable : gravier grossier de 10 mm et moins) est coulé dans les moules, compacté avec la plaque vibrante et lissés à la truelle. Les blocs sont démoulés après un temps de repos de 5 à 10 minutes (selon les conditions climatiques). Ils suivent ensuite une cure de 2 semaines en ambiance humide, suivies de 2 semaines au sec.
- Au moment de la mise en oeuvre, les faces laissant les pierres apparentes (face en contact avec la plate-forme lors du bétonnage) sont orientées vers l'extérieur. Les dimensions standard sont de 29 x 19 x 14 cm (l x b x h). Ces blocs sont utilisés pour la construction de maçonneries conventionnelles. Des bâtiments à 3 niveaux peuvent ainsi être construits, avec un mur d'une demi-brique (largeur du mur = 20 cm). Lorsque des tremblements de terre sont à craindre, il est possible de mouler des blocs avec une gorge pour réaliser un chaînage intégré.

Pour de plus amples informations: Bibl. 22.01.





Au moment de la production et de la mise en oeuvre, les blocs en moellons bétonnés consomment légèrement plus de ciment que la maçonnerie conventionnelle en moellons. Cependant, les murs réalisés sont étanches ou ne nécessitent qu'un léger enduit pour réaliser l'étanchéité. La section des murs porteurs peut être plus faible et le rythme de construction est fortement accru. Il est même possible de construire des bâtiments capables de résister aux tremblements de terre, ce qui est plus important que le coût de la construction. Ci-dessous, l'illustration d'un ouvrage maçonné avec des blocs en moellons bétonnés (Katmandou, Népal) et partiellement crépi. (Photo: K. Mukerjji)



MURS EN TERRE DAMÉE OU PISÉ

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Bonne résistance aux impacts et bonne durabilité
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualification en matière de construction en terre
Équipement(s) nécessaire(s)	Banches et dame
Résistance sismique	Faible à moyenne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Moyenne
Résistance aux insectes	Moyenne
Climat(s) approprié(s)	Climats chauds et secs, climats montagnards
Degré d'expérimentation	Technique traditionnelle

BRÈVE DESCRIPTION:

- Les hommes ont utilisé cette technique de construction pendant des siècles, dans différentes parties du monde. Elle est connue sous le nom français «Pisé».
- La terre est étalée en couches de 10 cm dans un coffrage. Un compactage systématique à la dame réduit l'épaisseur de la couche de terre à 6 ou 7 cm. Lorsque la terre atteint le niveau supérieur des banches, ces dernières sont démontées, déplacées (normalement horizontalement), remises en position dans le prolongement du tronçon exécuté et solidement fixées. La construction évolue donc progressivement, banche après banches et couche après couche.
- En dehors de la réparation immédiate des défauts constatés dès le décoffrage (fissures, cavités, bords ébréchés), nul autre traitement de surface n'est normalement nécessaire.
- Le choix de l'équipement (banches et dame) influence considérablement la vitesse, le coût et la qualité de la construction, aussi faut-il tester plusieurs solutions. Dans la mesure du possible, on évite d'ajouter un stabilisateur (p.ex. ciment, chaux, etc.), car cela complique toute la procédure. Ce n'est toutefois possible que lorsqu'on dispose de terres de qualité optimale et que la conception du bâtiment est adaptée.
- La terre damée est un matériau naturel qui conduit à une consommation en énergie nettement inférieure à celle nécessaire aux autres matériaux de construction, lorsqu'on compare des bâtiments de résistance et de durabilité semblables. Si elle ne contient pas de stabilisateur, la terre damée n'engendre ni déchet, ni pollution et elle peut être réutilisée après démolition.

Pour de plus amples informations: Bibl. 02.06, 02.19, 02.28, 02.32.



La terre

- Idéalement elle contient: 50 à 70 % de petits graviers et sable; 15 à 30 % de silt (sable très fin) et 10 à 20 % d'argile (fraction douée de cohésion).

Le coffrage

- Les banches doivent être plus rigides que les panneaux de coffrage conventionnels pour béton, à cause de l'énorme poussée développée lors du damage.
- Les banches doivent être faciles à assembler et à démonter, afin de ne pas rendre le travail pénible et lent.
- Les banches doivent être les plus grandes possibles, pour limiter le nombre de déplacements, tout en restant faciles à manipuler.
- Les accessoires de fixation des banches doivent permettre de modifier l'épaisseur des murs.
- Différents systèmes de coffrage sont illustrés ci-contre. Lorsque le compactage d'un tronçon est terminé, le coffrage est généralement déplacé horizontalement. Pour éviter la fissuration horizontale qui tend à se développer à la jonction des couches successives (chaque couche séchant séparément), un système à banches grimpantes a été développé au Kassel College of Technology, Rép. Féd. d'Allemagne (Bibl. 02.28, Vol. 2).
- La longueur d'une banche peut être comprise entre 150 et 300 cm et sa hauteur entre 50 et 100 cm. Le rapport entre l'épaisseur d'un mur et sa hauteur doit être compris entre 1 : 8 et 1 : 12 (ce dernier rapport exige un bon contrôle de qualité). L'épaisseur d'un mur en terre damée peut descendre jusqu'à 30 cm. Pour permettre un déplacement aisé d'un homme à l'intérieur de la banche (damage de la terre), il est plus indiqué de respecter un minimum de 40 cm.

Test pour déterminer les teneurs optimales de sable et d'argile

Former un boudin de terre



Composition optimale de terre:



Trop de sable: ajouter de l'argile

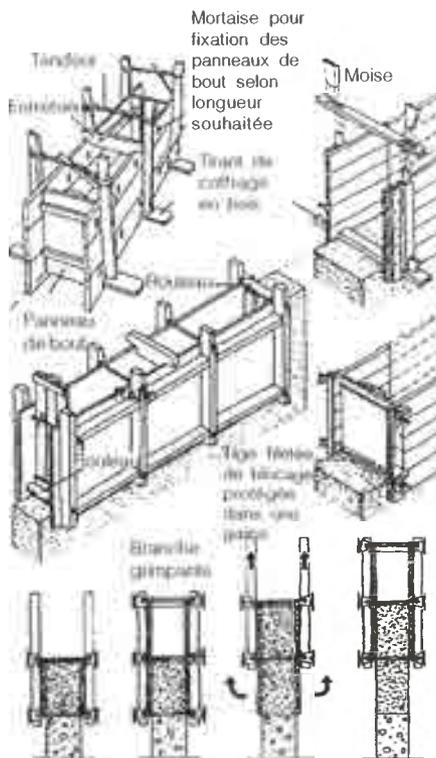


rupture à moins de 8 cm

Trop d'argile: ajouter du sable

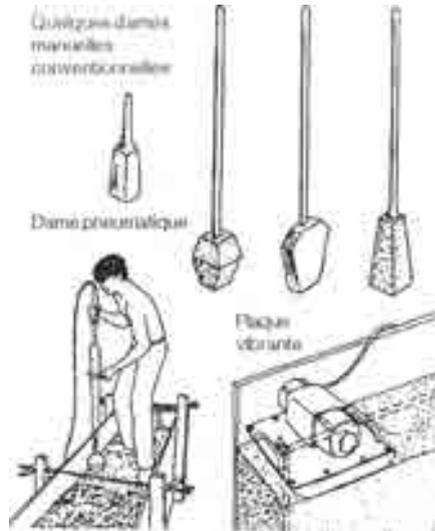


rupture à plus de 12 cm



Dames

- Les dames manuelles consistent en un manche (acier ou bois) muni à son extrémité d'une tête pesante (acier ou bois). Plus une dame est lourde, plus elle est efficace; mais plus le compactage est fatigant.
- Les dames pneumatiques sont semblables aux dames manuelles, mais elles réduisent le temps d'exécution, car la fréquence des impacts est plus rapide. Leur principal inconvénient est leur prix élevé.
- Le Kassel College of Technology a développé une petite plaque vibrante. Un moteur électrique met en rotation une masselotte excentrée qui transmet une vibration à la plaque. Cette vibration possède une composante horizontale permettant au système de se mouvoir tout seul. Un interrupteur inversant automatiquement le sens de la composante horizontale permet à la plaque vibrante d'effectuer des allers et retours dans la banche, sans être dirigée manuellement.



Construction

- Un mur en terre damée doit être posé sur une assise en pierres, en briques cuites ou en béton. Cette assise doit dépasser le niveau du terrain naturel d'au moins 30 cm et sa largeur doit être tout juste égale à celle du mur en terre damée. La face supérieure de cette assise doit être horizontale. Il y a donc lieu de réaliser une assise en escalier si le bâtiment est implanté sur un terrain en pente. Les faces extérieures des murs ne peuvent en aucun cas être inclinées vers l'extérieur. Dans les régions humides, une barrière étanche posée sur l'assise du mur en terre damée arrête les remontées capillaires.
- Pour garantir la stabilité du coffrage, celui-ci recouvre, d'au moins 10 cm, la banchée précédente. Le travail doit toujours commencer dans un angle.
- A l'intérieur du coffrage, la terre ne doit pas

être étalée en couches de plus de 10 cm. La personne chargée du damage est en position dans le coffrage ou sur les bords de celui-ci. Elle compacte la terre en progressant systématiquement: d'abord le long des bords, ensuite au centre. A l'impact de la dame, le passage d'un son étouffé à un son sec signale que la terre est suffisamment compactée. Au décoffrage, il faut protéger les tronçons de terre damée de la pluie, du vent et du rayonnement solaire direct. Peut-être être utilisés à cet effet: de l'herbe, du feuillage, des étoffes ou des bâches en plastique.

- Comme cela se fait dans le cas des ouvrages maçonneries, il faut alterner les joints verticaux entre banchées, de niveau en niveau, et encastrent les banchées à la jonction de 2 murs. Des ancrages et des renforts (p. ex. aux coins), faits de lattes ou de barres métalliques, de tiges de bambou fendues ou de câbles, peuvent être insérés pendant le compactage pour consolider ces jonctions.



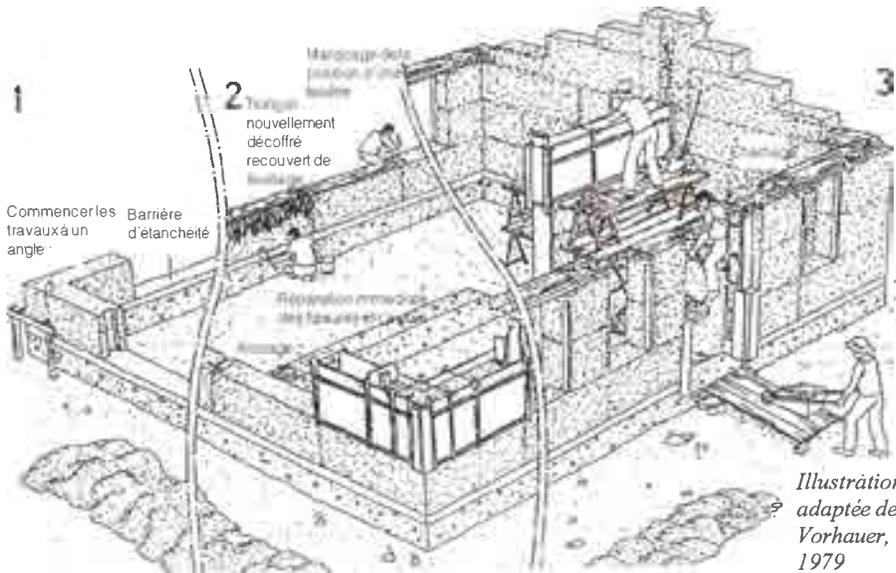
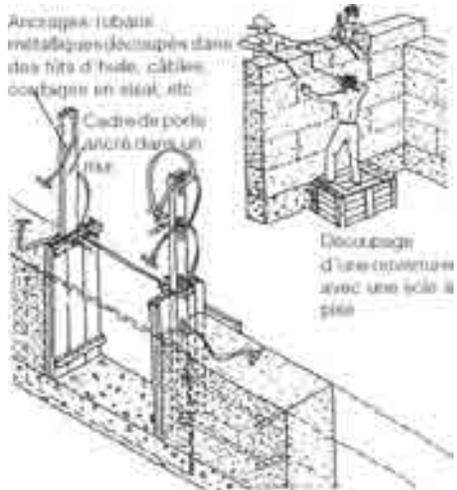


Illustration adaptée de Vorhauer, 1979 (Bibl. 22.09)

Ouvertures

- Leur emplacement doit tenir compte de la dimension des banchées. Lorsque le sommet des ouvertures coïncide avec la face supérieure du dernier niveau de banchées, le chaînage fait office de linteau. Il est aussi possible d'insérer dans le coffrage, des cadres de porte et de fenêtre munis d'ancrages. De cette manière ils sont solidement fixés dans les murs. De petites ouvertures peuvent facilement être découpées dans un mur, en utilisant une scie à pisé (morceau de fil de fer barbelé muni de poignées à chaque extrémité), manipulée par 2 hommes.



Traitement de surface

- Pour que les murs soient durables, il est essentiel de réparer (remplir et compacter) les bords cassés, les fissures et les cavités, dès le décoffrage. En effet, la réparation n'adhérerait pas sur de la terre déjà partiellement sèche.

MURS EN BRIQUES DE TERRE COMPRIMÉE

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Murs comparables aux murs en briques cuites
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Travailleurs semi-qualifiés
Équipement(s) nécessaire(s)	Presses à briques manuelles
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Moyenne; dépend de la stabilisation
Résistance aux insectes	Moyenne
Climat(s) approprié(s)	Tous, excepté les climats très humides
Degré d'expérimentation	Matériaux utilisés dans de nombreux pays

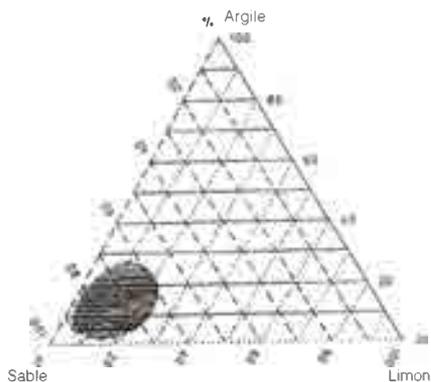
BRÈVE DESCRIPTION:

- Des briques solides et de dimensions stables peuvent être fabriquées en compactant une terre de nature adéquate (granulométrique appropriée et teneur en argile comprise entre 10 et 25%) légèrement humide.
- Pour augmenter la durabilité de telles briques, un liant et/ou un produit hydrophobe peut être mélangé à la terre. Les liants principalement utilisés sont le ciment, la chaux et le bitume. Leurs proportions varient selon la qualité de la terre utilisée. (voir Terre, Sol, Latérite et Stabilisateurs).
- Les avantages des briques en terre stabilisée sur la plupart des autres techniques de construction utilisant la terre sont:
 - résistance élevée à la compression et à l'érosion;
 - manutention possible dès la fabrication;
 - faible occupation d'espace pour le séchage et le stockage, car les briques peuvent être empilées immédiatement ou bien le lendemain de leur fabrication;
 - facilité de transport des briques durcies avec un faible taux de casse;
 - possibilité de construire des murs élancés (rapport hauteur/épaisseur élevé);
 - économie d'argent, de matériaux et d'énergie du fait qu'il n'est pas nécessaire de prévoir d'enduit extérieur sur de bons blocs de terre stabilisée;
 - Production plus économique et consommant moins d'énergie que la brique cuite et le parpaing de ciment, pour un volume équivalent de produits finis.



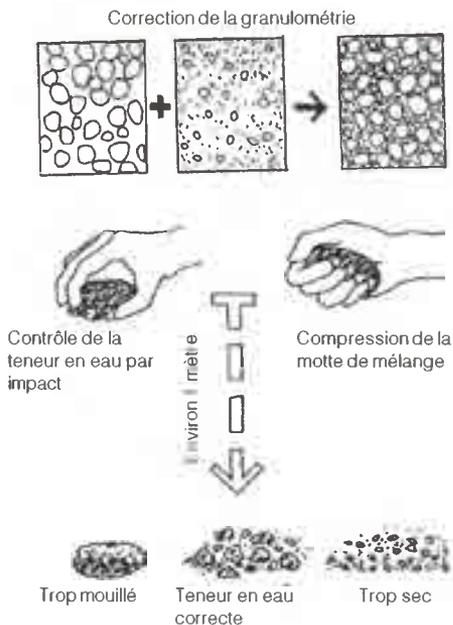
Critères de sélection de la terre

- Les terres convenant le mieux à la production de briques stabilisées ont une teneur en sable d'environ 75% et en argile de minimum 10%. La zone ombrée du diagramme peut donner l'impression que les terres qui conviennent sont rares. En réalité ce type de terre est largement répandu dans le monde entier. La terre est excavée, après décapage de la couche de sol superficielle qui contient des matières organiques.
- Une série de tests in situ permet d'identifier les terres aptes à la fabrication de produits solides et durables. S'il est possible de réaliser les tests d'identification en laboratoire, il faut en profiter car les résultats sont plus précis que ceux effectués sur le chantier.



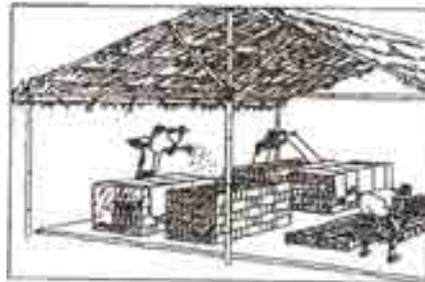
Préparation de la terre

- Il est rare de trouver une terre directement utilisable. Dans la plupart des cas, elle doit être préalablement émiettée et tamisée (maille de 5 mm).
- Les additifs doivent être soigneusement mélangés à la terre sèche. Le malaxage doit être réalisé à proximité immédiate de la presse. Contrairement à la fabrication du béton, la quantité prédéterminée d'eau doit être aspergée uniformément, pour en obtenir une répartition homogène.
- La teneur en eau du mélange doit être contrôlée à chaque nouvelle préparation. Pour cela, le briquetier laisse tomber une motte de mélange d'une hauteur d'environ 1 mètre, sur une surface dure. Si la motte s'écrase sans se décomposer, le mélange est trop humide. Si par contre, la motte se désintègre complètement, le mélange est trop sec. La teneur en eau correcte permet de réaliser une motte compacte qui ne mouille pas la main et qui, au moment de l'impact au sol, se brise en quelques morceaux. Si le stabilisateur utilisé est du ciment, la quantité de mélange préparé doit être utilisée dans les 20 minutes suivant l'adjonction d'eau.



Fabrication des briques

- Le compactage du mélange dans le moule peut être dynamique (p.ex. impact d'un pilon) ou statique (p.ex. compression progressive). Les machines qui produisent des briques comprimées développent généralement une compression statique.
- La méthode de production la plus simple, mais aussi la plus lente et la plus fatigante, consiste à compacter le mélange, avec un pilon, dans un moule à parties pivotantes ou détachables.
- Les presses sont plus efficaces. La compression développée permet de réduire le volume initial de 60 ou 50%. Que ces machines soient manuelles ou motorisées, la procédure reste cependant la même. Remplissage du/des moule(s), compression (parfois après une précompression), démoulage et cure (voir aussi *ANNEXE: Machines et Equipements*). Généralement 3 personnes sont nécessaires pour servir la machine et évacuer les produits frais, tandis qu'à proximité de là, 4 à 6 ouvriers s'occupent de l'excavation de la terre et de la préparation du mélange.



Séchage et cure

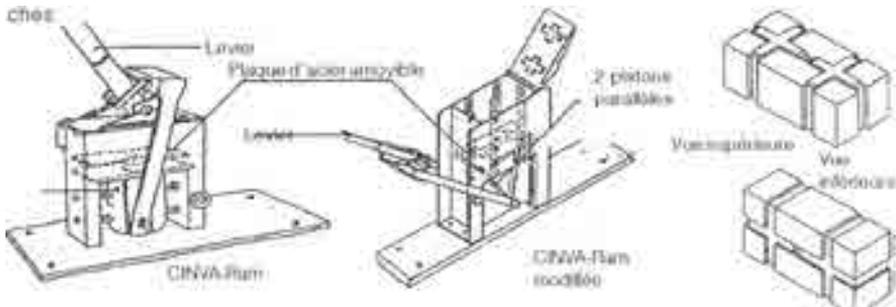
- Contrairement aux briques traditionnelles en terre, lesquelles sont moulées manuellement, non stabilisées et séchées là où elles sont produites, les briques pressées et stabilisées sont mises en cure sur une aire ombragée une fois démoulée. Des briques faiblement comprimées sont alignées au sol et ne peuvent être empilées que le jour suivant, alors que des briques compactes peuvent être immédiatement empilées sur 5 niveaux.
- Pour des briques stabilisées au bitume, 5 jours de cure (séchage) suffisent. Si le stabilisant utilisé est du ciment, le temps de cure doit être porté à 15 jours et à 25 jours dans le cas de la chaux. Les briques stabilisées au ciment et à la chaux doivent être maintenues humides (arrosage journalier) pendant les 5 premiers jours.



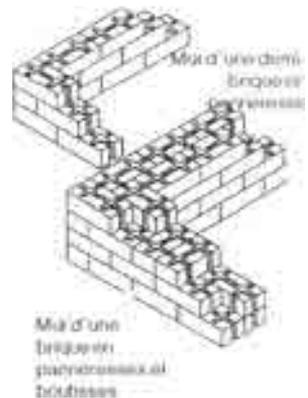
Système LOK BRIK (Bibl. 22.04)

- Ce système développé par le Dr. A. Bruce Etherington du AIT, Bangkok, est une variante de la construction conventionnelle à briques en terre pressée. Il permet de construire des murs rapidement et avec une grande précision, même avec une main d'oeuvre non qualifiée.
- Les briques à emboîtements, en terre stabilisée au ciment, sont produites à partir d'une presse CINVA-Ram modifiée (voir ANNEXE). Ainsi, le guidage du piston a été amélioré pour obtenir des briques d'épaisseur plus régulière et un dispositif permet de réaliser des croix en saillies et en encoches.

- Les briques sont posées à sec (sans mortier), mais des évidements verticaux permettent de couler un mortier fluide (coulis de ciment + sable fin). Pour rendre la construction résistante aux tremblements de terre, des aciers d'armature peuvent être introduits dans les évidements verticaux.
- En plus des économies réalisées sur les postes matières et travail, cette technique permet de se passer d'enduits du fait de l'esthétique séduisante, découlant de l'uniformité et de la précision de la mise en oeuvre.



Construction LOK BRIK à Ubun Ratchathani, Thaïlande: mur construit par des travailleurs non qualifiés. (photo: W. Wilkens, DESWOS)



MURS EN TERRE RENFORCÉE DE BAMBOUS

MOTS CLÉS :

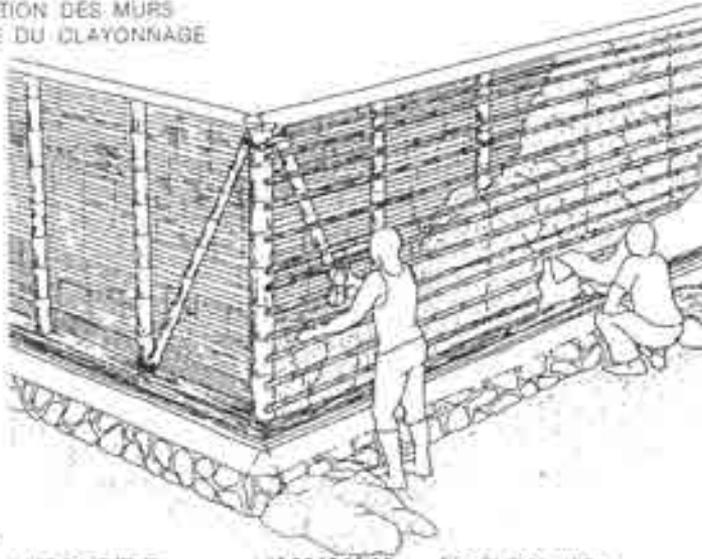
Propriétés particulières	Résistance élevée aux tremblements de terre
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications traditionnelles en matière de construction en terre
Équipement(s) nécessaire(s)	Outils pour la coupe du bambou, coffrage et dame
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Faible
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Tous, excepté les climats très humides
Degré d'expérimentation	Techniques traditionnelles et expérimentales

BRÈVE DESCRIPTION:

- Les murs en pisé ont généralement une faible résistance aux tremblements de terre, mais s'ils sont armés de bambou ce problème est résolu.
- Les exemples illustrés dans les pages suivantes (tirés de Bibl. 22.09) présentent des techniques traditionnelles. Pour les 2 premières, il s'agit de constructions en clayonnage (ou «bajareque» en Amérique du Sud). La troisième technique présentée, a été développée par le Prof. Gernot Minke du Kassel College of Technology (République Fédérale d'Allemagne) et a été expérimentée dans un village du Guatemala (en coopération avec l'University Francisco Marroquin et le CEMAT, Guatemala).
- Les mises en oeuvre traditionnelles peuvent aussi être exécutées avec du bois d'oeuvre de moindre qualité. Le bambou a cependant l'avantage d'être rectiligne (intéressant pour l'uniformité de la structure) et de posséder une résistance à la traction élevée.
- L'exemple du Guatemala combine les avantages du pisé (murs très denses) et les avantages de la résistance à la traction du bambou. Les murs sont composés d'une série de secteurs verticaux indépendants, liaisonnés ensemble au sommet par un chaînage en bambou. Pendant un tremblement de terre, chaque secteur est sollicité individuellement, évitant ainsi toute contrainte différentielle dans les murs, lesquelles peuvent conduire à l'effondrement d'une construction. Le toit est posé sur des supports en bois indépendants des murs, de sorte que les mouvements de ceux-ci n'entraînent pas l'effondrement de la toiture.
- Le traitement du bambou est indispensable pour limiter l'agression destructive des agents biologiques.



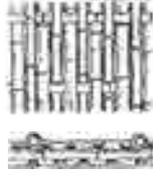
**CONSTRUCTION DES MURS
TECHNIQUE DU CLAYONNAGE**



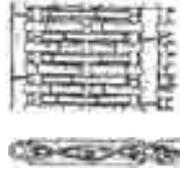
Alternatives:



Poteaux jumelés en bambou à revêtement vertical



Poteaux intérieurs revêtus à l'extérieur



Poteaux avec lamelles de bambou tissées

Fondation: dépassement (50 cm) du niveau du sol. barrière d'étanchéité au sommet du mur de fondation

Construction: ossature en bambou $\varnothing > 7$ cm avec un chaînage inférieur en bois dur. l'espacement des poteaux est d'environ 50 cm. (alternative: poteaux en bois dur encastres). contreventement en diagonale dans les angles (+) poteaux d'angle en bois dur.

Remplissage: les 2 faces sont recouvertes de tiges de bambou fendus (alternative: l'intérieur est recouvert de panneaux en bambou).

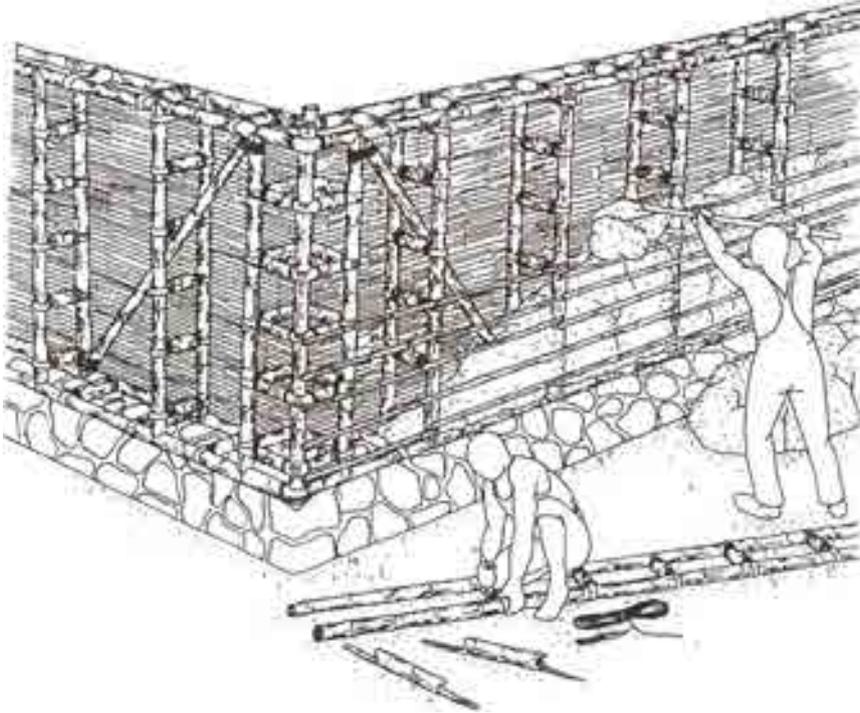
La terre est mise en place entre les revêtements intérieur et extérieur et légèrement compactée.

Crépissage: après une semaine de séchage, le mur en terre est crépi avec un enduit en terre et recouvert d'un badigeon à la chaux.

Avantages: résistant aux tremblements de terre. ne nécessitant pas de coffrage. murs minces ne consommant pas beaucoup de terre.

Désavantages: le bois et le bambou sont susceptibles d'être attaqués par les termites et des moisissures.

CONSTRUCTION DES MURS TECHNIQUE DU CLAYONNAGE SUR ÉCHELLES



Soubassement: dépassement (50 cm) du niveau du sol. barrière d'étanchéité au sommet du muret

Construction: les échelles sont fabriquées à partir de bambou vert $\varnothing > 4$ cm.

Le recouvrement extérieur est constitué de tiges de bambou fendues, clouées ou attachées aux échelles par niveaux successifs, au fur et à mesure de la mise en place de la terre.

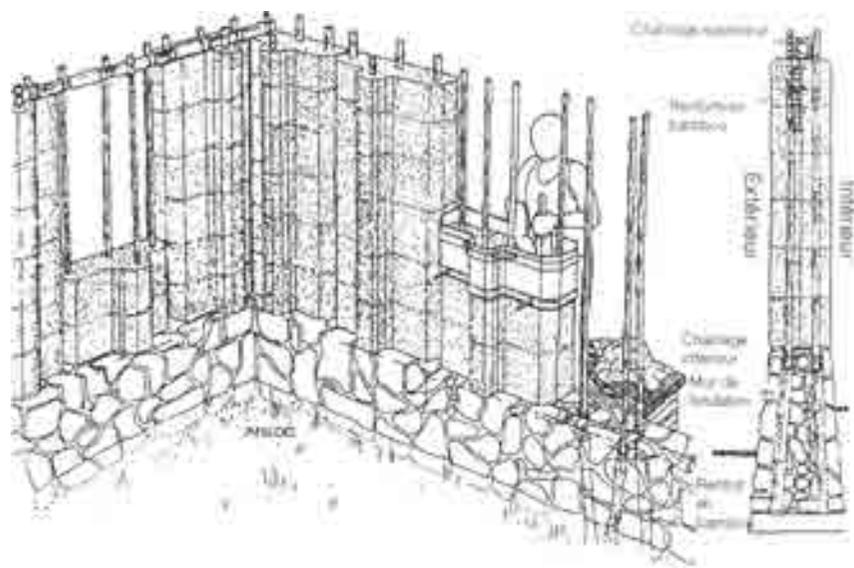
Les angles sont contreventés par des éléments en diagonale.

Dans les régions à risques sismiques, il est recommandé de renforcer la base de l'ossature posant sur le mur de fondation par une couche de mortier terre-chaux.

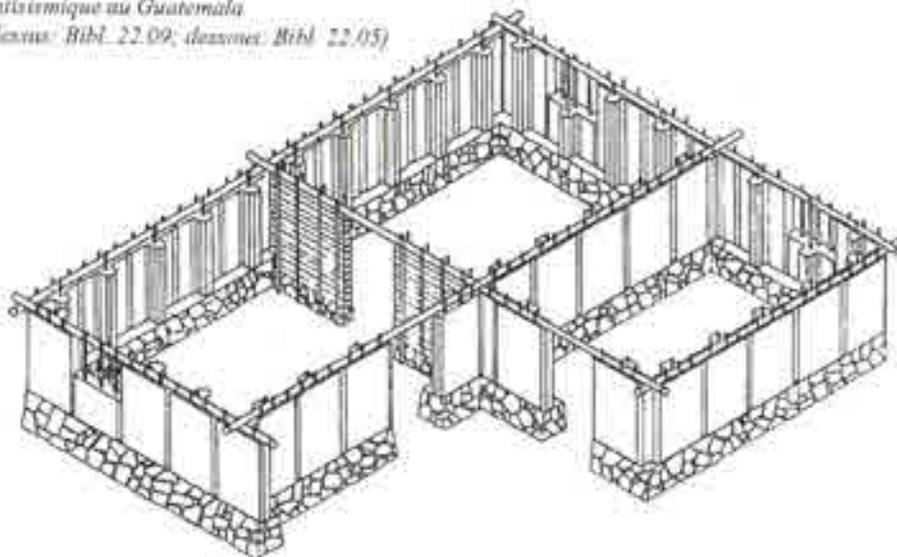
Avantages: les murs sont plus épais qu'avec la technique habituelle (meilleure inertie thermique); résistant aux tremblements de terre; bambous à faible \varnothing .

Desavantages: consomme plus de bambou et de terre.





*Maison expérimentale économique et
antisismique au Guatemala
(dextre: Bibl. 22.09; gauche: Bibl. 22.05)*



MURS EN BRIQUES D'ARGILE CUITE

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Amélioration du procédé de construction conventionnel
Aspects économiques	Coûts moyens
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Maçons qualifiés
Équipement(s) nécessaire(s)	Equerres et cordeaux à crochets
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Très bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tous climats
Degré d'expérimentation	Applications croissantes en Inde

BRÈVE DESCRIPTION:

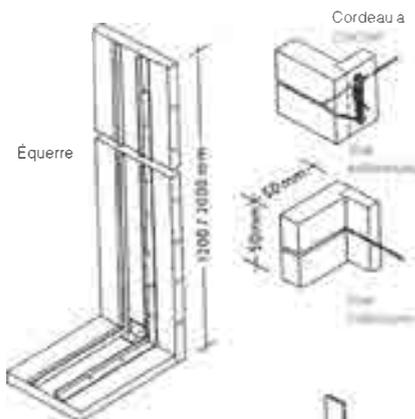
- Le procédé présenté a été développé par le CBRI de Roorkee en Inde. Un appareillage simple et une aire de travail bien organisée permettent d'accroître la rapidité de la mise en oeuvre (des mesures sur chantier ont montré un gain de 30%). Ces dispositions améliorent aussi la précision et la qualité du travail de maçonnerie. L'appareillage consiste en une série d'équerres, de cordeaux à crochets, de tablettes pour recevoir le mortier et de quelques accessoires. La largeur et la hauteur des équerres sont adaptées aux dimensions des murs à construire. La construction doit être faite de segments rectilignes, verticaux et de section rectangulaire (p. ex. colonne en béton) pour permettre l'emploi des cordeaux à crochets.
- Le mortier utilisé pour maçonner les briques doit répondre à un certain nombre d'exigences: il doit être facile à étendre, rester plastique jusqu'au moment de son utilisation, et une fois appliqué il doit durcir rapidement pour éviter des dérangements ultérieurs.
- Les mortiers sont constitués de sable et d'un liant adéquat. Dans la plupart des cas, le liant est du ciment portland ordinaire (CPO) dont le dosage varie de 1 : 3 à 1 : 12 (ciment : sable) selon la solidité souhaitée. Cependant, lorsqu'on utilise uniquement du CPO comme liant, le mortier se fige rapidement et il atteint une résistance bien plus élevée que nécessaire. L'ajout de chaux améliore l'ouvrabilité, réduit la tendance à la fissuration et donne du mortier dont la résistance est semblable à celle des briques.
- L'impact élevé du prix du CPO sur le coût du mortier peut être atténué en remplaçant 30% de CPO par un matériau pouzzolanique (voir section sur les *Matériaux pouzzolaniques*) présentant des propriétés hydrauliques suffisantes.

Pour de plus amples informations: Bibl. 22.03.



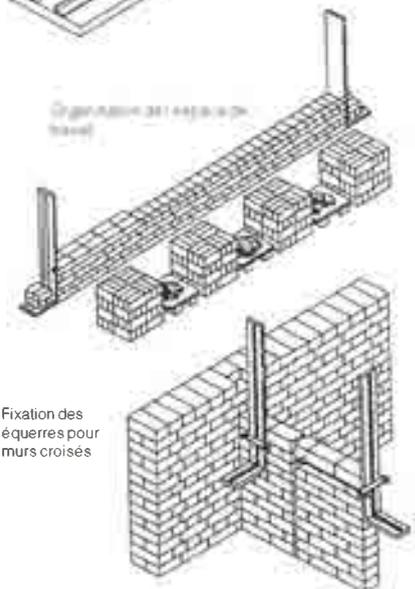
Maçonnerie à forte productivité

- Quelques équerres (voir illustration) permettent d'éviter les procédures habituelles de plombage et de positionnement du cordeau. Chaque équerre consiste en 2 planchettes de bois fixées sur 2 équerres métalliques (angle droit). La largeur des planchettes correspond à l'épaisseur du mur (p.ex. 1/2 brique, 1 brique ou 1½ brique).



- De petits crochets en bois et en forme de «L», maintenus en position par la tension du cordeau, sont positionnés à hauteur voulue en glissant le long des équerres. Les équerres sont munies de graduations, tenant compte de la hauteur d'une brique et de l'épaisseur d'un joint. Le positionnement du cordeau à chaque nouvelle couche, se passe, dès lors, de l'utilisation d'un mètre.

- L'amélioration de l'efficacité est aussi obtenue grâce à une organisation bien étudiée de l'aire de travail. Ainsi, réserves de briques et de mortier sont alignées en alternance, parallèlement au mur à construire. L'alignement est réalisé 50 à 60 cm en retrait du mur pour permettre les déplacements des maçons. Les briques sont posées sur chant pour faciliter leur préhension par le maçon. La réserve de mortier est placée sur une tablette qui remplace l'habituelle palette métallique que les maçons tiennent dans une main. Les réserves de briques et de mortier sont continuellement renouvelées par des ouvriers circulant à l'arrière de celles-ci.



- Le mortier est pris sur une truelle et au lieu d'être déposé en un point, il est étendu sur une longueur d'environ 1 m (8 à 10 briques). Les briques sont alignées d'après le cordeau et les joints verticaux sont remplis de mortier au fur et à mesure. La procédure est ainsi répétée de mètre en mètre. Pour le niveau suivant, le cordeau est glissé sur la graduation suivante.

- Le système de cordeau et crochets peut aussi être utilisé indépendamment des équerres, par exemple pour maçonner des murs à l'intérieur d'une ossature à colonne en béton armé. Les crochets sont alors accrochés directement aux colonnes. Cette méthode est aussi applicable pour des constructions qui nécessitent des échafaudages.

MURS EN BLOCS DE BÉTON CREUX

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Murs solides et minces; construction rapide
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Maçons qualifiés
Équipement(s) nécessaire(s)	Équipements pour la fabrication des blocs; outillage pour la maçonnerie
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Très bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tous climats
Degré d'expérimentation	Technique utilisée dans le monde entier

BRÈVE DESCRIPTION:

- L'utilisation de blocs creux en béton a plusieurs avantages.
 - Ces blocs peuvent être plus larges que les briques pleines. S'ils sont réalisés à partir d'agrégats légers, on obtient alors des produits légers sans que cela affecte beaucoup leur capacité portante.
 - Ils peuvent être fabriqués selon la forme et les dimensions voulues et une fois les blocs durcis celles-ci restent stables.
 - Ils nécessitent beaucoup moins de mortier que les briques pleines (du fait des évidements et de leurs dimensions supérieures entraînant moins de joints) et la construction des murs est plus facile et plus rapide.
 - Les évidements peuvent être remplis avec des armatures et du béton pour obtenir des constructions résistant aux tremblements de terre.
 - Les vides fournissent une bonne isolation thermique, surtout appréciée dans les régions froides et montagneuses (une alternative consiste à remplir les vides de matériaux isolants).
 - Les cavités peuvent aussi être utilisées pour passer les conduits électriques et sanitaires.
- Les blocs creux en béton peuvent être produits manuellement avec de simples moules manuels munis d'un vibreur (production sur le site de construction) ou bien dans de coûteuses machines soit stationnaires, soit mobiles: «pondeuses» (production de masse).

Pour de plus amples informations: Bibl. 22.07, 22.08.

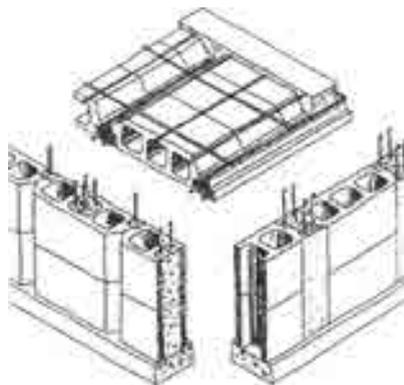
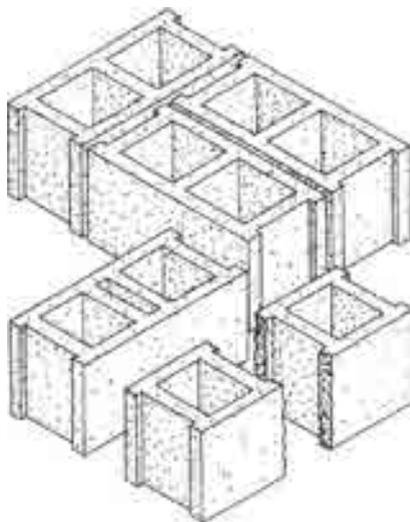


Blocs creux standards

- Généralement les blocs creux en béton ont 2 cavités et leur longueur est le double de leur largeur + 1 cm (épaisseur du joint).
- Certains blocs sont produits avec une troisième cavité centrale qui permet de couper aisément un bloc en 2 demis. Le bloc est coupé en donnant quelques coups de marteau à mi-longueur d'une face latérale.

Le système à blocs Zip

- Ce système est basé sur un bloc creux spécial (53 x 25 x 14 cm) qui peut être utilisé pour différents types de murs, tout comme pour des planchers ou des toitures.
- Pour la construction de murs, les blocs sont assemblés verticalement avec un peu de mortier. Les joints entre les éléments verticaux sont ensuite remplis de béton 1 : 3 : 6 (ciment : sable : gravier). Une armature peut être insérée dans les cavités verticales ensuite remplies de béton. La plupart du temps, il n'est pas nécessaire de remplir plus d'une cavité. Les cadres de portes et de fenêtres sont éliminés car le profil des blocs permet la fixation directe des châssis.
- Pour les planchers et les toitures, les blocs de béton sont portés par deux poutres en T inversées (voir illustration). Les poutres en T sont des éléments préfabriqués à longueur voulue. Ces poutres sont installées au sommet des murs avec un entre-axe de 60 cm et elles sont étagées à mi-portée. Un quadrillage d'armatures est posé sur les blocs (pour les dilatations thermiques) avant de couler une chape de finition in situ.



MURS EN BAMBOU

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Légers, flexibles; grande variété de constructions
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Faible à moyenne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications en matière de constructions traditionnelles en bambou
Équipement(s) nécessaire(s)	Outils pour la coupe et le fendage du bambou
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Faible
Résistance à la pluie	Faible
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Climats chauds et humides
Degré d'expérimentation	Techniques traditionnelles

BRÈVE DESCRIPTION:

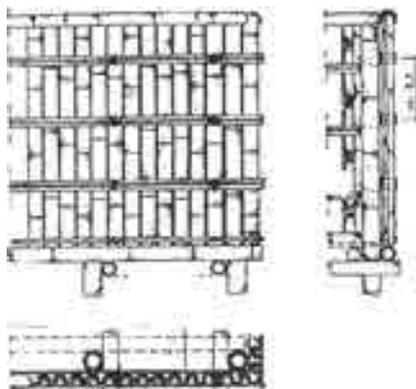
- Dans les régions où pousse le bambou, le climat est généralement chaud et humide. Il est préférable dans de telles régions, d'utiliser des matériaux de construction à faible inertie thermique et de recourir à une architecture qui favorise la ventilation naturelle. Les constructions en bambou satisfont pleinement à ces prescriptions, c'est pourquoi le bambou est utilisé depuis des temps très reculés pour la construction en climat chaud et humide.
- De simples murs en bambou ne peuvent être imperméables à l'air et à l'humidité. La ventilation naturelle est donc une particularité propre à ce type de construction, qui pourvoit au confort intérieur et à la régulation du degré d'humidité.
- La flexibilité et l'importante résistance à la traction font que les murs en bambou sont très résistants aux tremblements de terre et en cas d'effondrement leur légèreté cause peu de dommages aux populations et aux biens; la reconstruction est relativement rapide et facile.
- Le travail du bambou requiert des qualifications particulières. Celles-ci sont traditionnellement disponibles dans la plupart des régions où pousse le bambou.
- Les principaux inconvénients du bambou sont sa durabilité relativement faible (agressions biologiques) et sa faible résistance aux ouragans et au feu. Des mesures de protection sont donc indispensables (voir section sur les *MESURES DE PROTECTION*).

Pour de plus amples informations: Bibl. 13.02, 13.04, 13.05, 13.09, 13.10, 13.12.

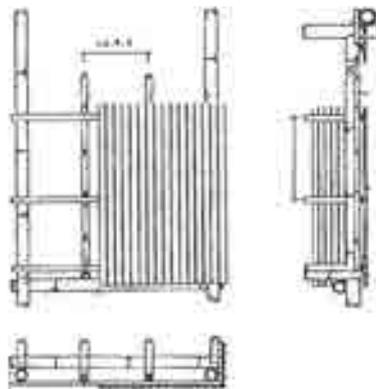


Exemples de construction traditionnelle de murs en bambou (Bibl. 13.02)

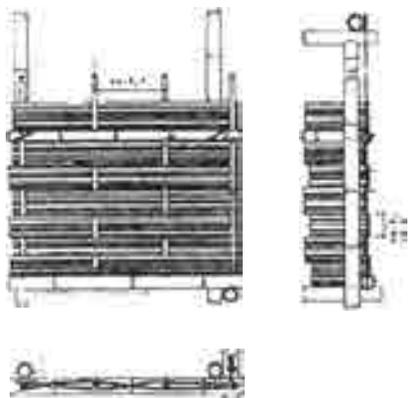
Demi-tiges en bambou disposées verticalement comme des tuiles espagnoles



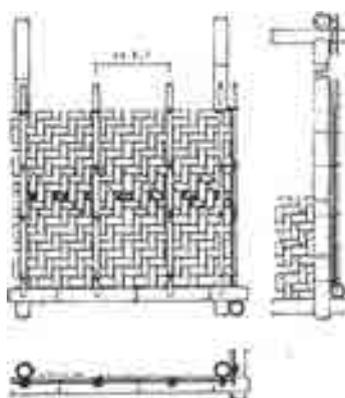
Lattes de bambou (tiges fendues en 8) clouées sur une structure légère



Panneau en bambou (tiges fendues et aplaties) entrelacé avec la structure



Panneaux en lattes de bambou tressées, cloués et/ou liés sur la structure



MURS EN PANNEAUX D'AVIVÉS

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Convient à la préfabrication, assemblage rapide
Aspects économiques	Coûts moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Charpentiers qualifiés
Équipement(s) nécessaire(s)	Outils pour la charpenterie
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Faible à moyenne
Résistance à la pluie	Faible à moyenne
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Climats chauds et humides
Degré d'expérimentation	Technique conventionnelle

BRÈVE DESCRIPTION:

- Une conception modulaire bien étudiée permet de déboucher sur un nombre limité de modules. Moins il y a de modules différents, plus la procédure de préfabrication est rapide et économique.
- L'utilisation d'avivés correctement séchés évite les problèmes de mouvements et de déformations qui peuvent rendre l'assemblage difficile et engendrer l'apparition de dangereuses tensions au fil du temps.
- Des mesures de protection contre les agressions biologiques, les ouragans et le feu sont essentielles (voir aussi la section consacrée aux MESURES DE PROTECTION).
- Les illustrations présentées dans les 3 pages qui suivent sont tirées de l'excellent manuel illustré de l'UNIDO traitant de la construction de maisons en bois. Cet ouvrage a été préparé par l'Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), São Paulo, Brésil, pour un projet d'autoconstruction communautaire à Coroados, Manaus, sous un contrat de la Housing Society for the Amazon State (SHAM).

Pour de plus amples informations: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo, S.A., P.O. Box 7141, 05508 São Paulo, CEP 01051, Brésil; Bibl. 14.22.



1 Et maintenant nous allons procéder au montage des **PANNEAUX PRÉFABRIQUÉS**

Pour faciliter le positionnement des panneaux, marquez le sol comme ceci



Centrez toujours les panneaux sur le marquage au sol

Positionnons le 1er panneau. Clouez 3 butées au sol pour déterminer la position des panneaux. A présent ajustez la base du panneau contre la butée comme ceci.



2 Commençons l'installation des panneaux



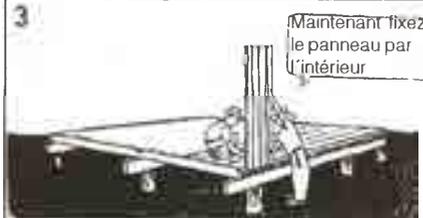
Le bord externe des panneaux s'aligne



Clouez le bord extérieur du panneau avec des clous de L=6,25 cm



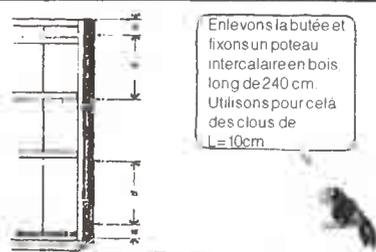
3 Maintenant fixez le panneau par l'intérieur



Le panneau est fixé avec un clou de 10 cm dans chaque coin

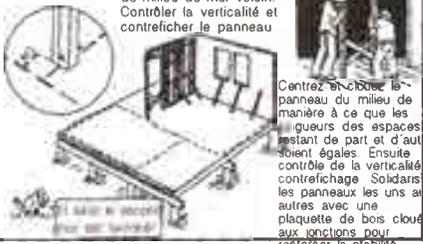
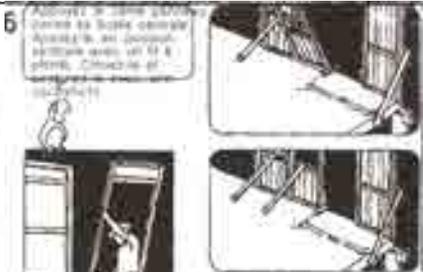
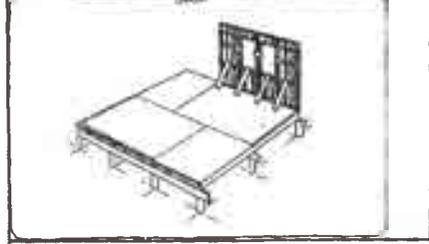
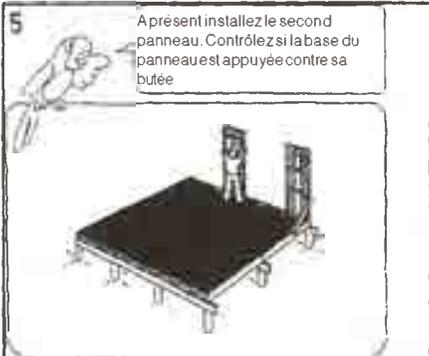


4 Enlevons la butée et fixons un poteau intercalaire en bois long de 240 cm. Utilisons pour cela des clous de L=10cm



Un fois fixé verticalement, le panneau doit être contreché pour éviter qu'il ne se renverse





9

Maintenant, il nous faut installer les poteaux intermédiaires dans les poutres de la charpente. Ils doivent être espacés de 120 cm.

La hauteur de la structure de la charpente doit être de 2,10 m.

10

Et pour terminer, la structure en bois doit supporter la charpente. Montez les poteaux et les poutres de la charpente.

11

Sablère (rabotage de cette face)

Ossature d'un panneau

Parement du panneau à l'extérieur

Attention:
 Il y a lieu de prendre des précautions particulières lors de la fixation des sablières.
 - Utilisez un clou de 10cm tous les 45 cm.
 - Si possible, utilisez toujours des avivés d'un seul tenant.
 - En cas de longueur insuffisante, arrangez-vous pour que la jonction tombe au milieu d'un panneau.
 - Les faces visibles doivent être rabotées.

12

Maintenant, nous allons construire L'OSSATURE DU TOIT

Emplacement de la poutre faîtière

La construction de l'ossature du toit commence par l'assemblage et la fixation de la poutre faîtière.
 La poutre faîtière est composée de 2 poutres de 197,5cm de longueur et d'une 3ème de 245cm de longueur.

3 clous de chaque côté. L = 6,75 cm

La poutre faîtière est fixée au sommet des poteaux intercalaires en bois.

MURS EN BÉTON DE SOUFRE

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Alternative économique aux murs en béton de ciment
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Expérience dans l'utilisation du soufre
Équipement(s) nécessaire(s)	Mélangeur pour le béton équipé d'un système de chauffage
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Très bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tous climats
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

BRÈVE DESCRIPTION:

- Le béton de soufre est composé de soufre naturel, de sable et d'un plastifiant. Le béton de soufre n'est pas affecté par des impuretés telles que les sels qui sont au contraire préjudiciables pour le béton armé conventionnel.
- Pour construire des murs en béton de soufre, le plus facile est de fabriquer des blocs creux en béton de soufre et de les maçonner. Des blocs à emboîtement permettent une mise en oeuvre précise et rapide.
- La production de blocs requiert une main d'oeuvre qualifiée et expérimentée dans l'utilisation du soufre, parce que le soufre fondu durcit rapidement. Etant donné le temps de cure réduit, un nombre restreint de moules suffit. Les blocs cassés peuvent être refondus et recyclés.
- Les illustrations présentées page suivante montrent un exemple pratique de murs en blocs emboîtants en béton de soufre, à Doubaï, aux Emirats Arabes Unis. La forme des blocs s'inspire de celle des blocs du système LOK BILD développé par le Professeur Bruce Ethington (voir système LOK BILD) et adapté au béton de soufre par Bernard Lefebvre.

Pour de plus amples informations: Alvaro Ortega, Research Consultant, 3460 Peel Street, Apt. 811, Montréal P.Q., Canada; Bibl. 18.06, 18.07.



Murs en blocs de béton de soufre, Dubai, Émirats Arabes Unis (Photos: A. Ortega)

- Les blocs à emboîtement s'assemblent rapidement et sans mortier.
- Les surfaces lisses, non absorbantes et semblables à du marbre ne nécessitent pas de crépir ou de peindre les murs et elles peuvent être lavées à l'eau simple.
- En fonction des agrégats, il est possible de produire des blocs de différentes couleurs qui permettent de réaliser des murs attractifs.



MURS RÉALISÉS À PARTIR DE DÉCHETS VÉGÉTAUX

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Permet d'envisager l'utilisation de déchets locaux
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications moyennes en matière de construction
Équipement(s) nécessaire(s)	Moule manuel en bois, équipement de maçon
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Dépend de la stabilisation
Résistance aux insectes	Moyenne
Climat(s) approprié(s)	Tous climats, excepté les climats très humides
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

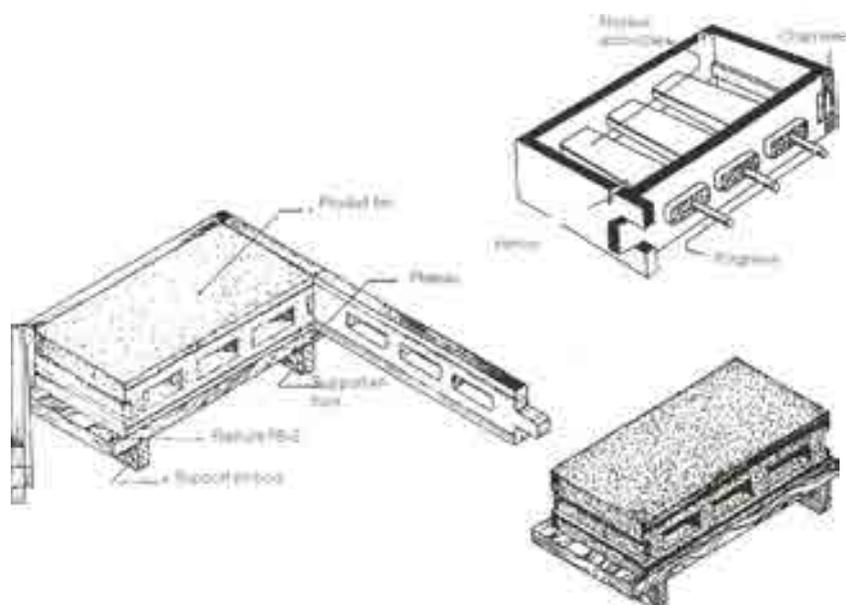
BRÈVE DESCRIPTION:

- Le système qui va être présenté ici a été développé au Forest Products Research and Development Institute, Philippines. Il est basé sur l'emploi de blocs creux en terre stabilisée au ciment. Outre la terre, la charge est constituée d'une certaine proportion de sable de plage et de déchets végétaux (son de riz, sciure ou copeaux de bois, éclats de coquille de noix de coco).
- Les blocs (10 x 20 x 40 cm avec 3 cavités rectangulaires) sont mis en forme manuellement dans des moules en bois. Le mélange est mis en place dans le moule, compacté et arasé. La teneur en eau du mélange doit être sensiblement la même à celle recommandée pour la production de blocs conventionnels en terre et ciment. Au démoulage les blocs sont posés sur chant et suivent ensuite une cure humide pendant 10 jours.
- La construction de murs suit la même procédure que celle utilisée pour les blocs creux en béton. En remplissant les cavités par des armatures et du béton, on obtient des constructions extrêmement rigides.

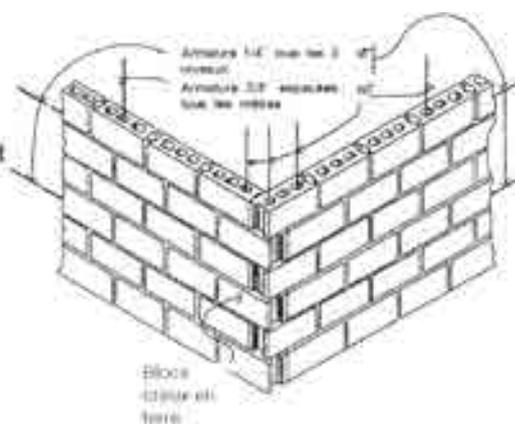
Pour de plus amples informations: Forest Products Research and Development Institute, Los Baños, Laguna, Philippines; Bibl. 19.11.



Le moule manuel et un produit fini



Construction et renforcement de murs en blocs creux



COUVERTURE EN ROULEAUX EN TERRE

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Couverture lourde à forte inertie thermique
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Expérience en matière de construction en terre
Équipement(s) nécessaires(s)	Équipement conventionnel pour la construction
Résistance sismique	Faible
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Dépend de la couche de finition
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Climats chaud et sec ou montagneux
Degré d'expérimentation	Technique traditionnelle

BRÈVE DESCRIPTION :

- Ce type de couverture convient aussi bien à la réalisation de toits en pente qu'à la réalisation de toits plats.
- La densité élevée et la forte inertie thermique en font une couverture particulièrement adaptée aux régions à climats chaud et sec ou montagneux, lesquelles sont caractérisées par des journées chaudes et des nuits froides.
- L'élément de base est un rouleau. Celui-ci est constitué d'une tige en bois (3 à 5 cm de Ø, 80 à 100 cm de long) autour de laquelle sont enroulés des matériaux fibreux naturels (généralement de la paille) et de la terre argileuse mouillée.
- Les rouleaux encore humides sont disposés, serrés les uns contre les autres, entre des pannes en bois. Les jonctions sont ensuite remplies avec un mélange de terre et de fibres.
- Après séchage, les fissures sont bouchées avec de la terre (état pâteux) et le tout est ensuite recouvert d'une couche de terre de 2 cm, stabilisée avec des fibres finement hachées et de la chaux.
- Finalement, le toit est recouvert d'un feutre goudronné pour toiture et d'une couche de sable ou de petit gravier.
- Etant donné les quantités importantes de fibres végétales et de bois, le risque d'attaque par des termites est élevé.

Pour de plus amples informations: Bibl. 02.19, 23.24.



Préparation des rouleaux en terre et réalisation de la toiture

(Illustrations: Vorhauer, Bibl. 23.24)



COUVERTURE EN BRIQUES DE TERRE

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Système de préfabrication simple, pour l'autoconstruction
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications moyennes en matière de construction
Équipement(s) nécessaires(s)	CINVA-Ram, coffrage pour poutres
Résistance sismique	Faible
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Dépend de la couche de finition
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	Climats chaud et sec ou montagneux
Degré d'expérimentation	Stade expérimental, nombreuses maisons construites en Tunisie

BRÈVE DESCRIPTION :

- Le procédé présenté ici, a été développé par la Swedish Association for Development of Low-Cost Housing, Lund University, Sweden, pour un projet pilote à Rohia en Tunisie. Ce projet était basé sur «une autoconstruction organisée».
- Hormis le paramètre de l'autoconstruction, le but était de concevoir un toit résistant (permettant la circulation de personnes) en utilisant des matériaux locaux autres que le bois qui est rare et cher.
- Le matériau qui a été retenu est la «Torba» (terre fine locale) qui contient 60% de CaO (chaux). Cette terre a été utilisée pour fabriquer des blocs de terre comprimée (presse CINVA-Ram) et stabilisés au ciment.
- Les toitures, légèrement inclinées, sont composées de poutrelles préfabriquées en béton qui portent les briques. Les poutrelles sont posées avec beaucoup de précision, parallèlement les unes aux autres et selon un entre axe déterminé. Une des extrémités des briques est oblique et l'espacement entre les poutrelles est tel, qu'il est possible d'appuyer l'une à l'autre 2 briques portées par 2 poutrelles voisines. Les briques sont hourdées avec un mortier chaux - ciment. La surface extérieure est enduite d'une barbotine de ciment avant d'être recouverte d'une couche, d'approximativement 5 cm, de terre stabilisée au ciment, compactée et chaulée.

Pour de plus amples informations: LCHS, Arkitektur 1, P.O. Box 118, 221 00 Lund, Sweden; Bibl. 00.01.



Réalisation d'un toit en torba stabilisée au ciment

(Photos: Bibl. 00.01)

Photos de gauche: Préfabrication des éléments en terre stabilisée et en béton

Photos de droite: Construction du toit



COUVERTURES EN TUILES D'ARGILE CUITE

MOTS CLÉS :

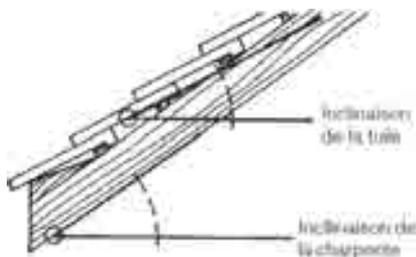
Propriétés particulières	Couvertures durables et étanches aux pluies pour toits en pente
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Ouvriers qualifiés
Équipement(s) nécessaires(s)	Unité de production de tuiles en argile cuite, équipement pour la construction de toiture
Résistance sismique	Faible
Résistance aux ouragans	Moyenne à bonne
Résistance à la pluie	Très bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat, mais plus répandues en régions humides
Degré d'expérimentation	Technique traditionnelle

BRÈVE DESCRIPTION :

- Les tuiles en argile cuite sont réservées à la couverture de toits dont l'inclinaison des chevrons est comprise entre 20° et 50°. La forme des tuiles diffère selon la raideur de la pente. Il ne faut pas perdre de vue que la pente de la charpente est toujours légèrement supérieure à celle de la tuile (voir illustration page suivante).
- Produire des tuiles en argile cuite est une activité traditionnelle dans de nombreuses régions, mais la qualité et l'uniformité de la production peut laisser à désirer. Des unités de production mécanisées produisent des tuiles de bonne qualité mais à un coût plus élevé. Des presses mobiles à moules interchangeables (différentes formes de tuiles) offrent une solution intermédiaire appropriée (voir ANNEXES: Machines et Équipements).
- La proportion extrêmement importante des rebuts (environ 35% en Inde), dus aux fissurations et bris de tuiles, représente un problème majeur. Ce problème trouve son origine dans la nature de l'argile et/ou dans le procédé de production. Un bon remède au problème de fissuration et de casse consiste à mélanger à l'argile, du chlorure d'ammonium (NH_4Cl à raison de 0,1 à 1,0% en fonction du type de terre) (Bibl. 00.37).
- Les tuiles en argile cuite sont lourdes, elles requièrent une solide charpente et un lattage serré. Il existe cependant des modèles de tuile (p. ex. tuiles Mangalore) qui requièrent un espacement plus important du lattage. Elles sont plus légères et plus économiques. Le poids d'une couverture en tuile et la mobilité des tuiles rendent généralement ce type de couverture sensible aux tremblements de terre (destruction possible).
- Des tuiles de bonne qualité, correctement posées avec un recouvrement suffisant, sont parfaitement étanches à la pluie. La couleur rouge favorise l'absorption du rayonnement solaire, de telle sorte qu'il peut être nécessaire de prévoir un faux plafond pour le confort thermique.



Comparaison entre inclinaison de charpente et inclinaison de tuile



Quelques tuiles classiques et l'inclinaison correspondante minimale de la charpente

(une réduction de 5° est admise si les tuiles sont posées sur une sous-toiture étanche: p. ex. voile de polyéthylène)

Tuile flamande
25°



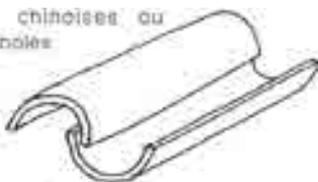
Tuile romane
25°



Tuile marseillaise
ou mangalore
25°



Tuiles chinoises ou
espagnoles
30°

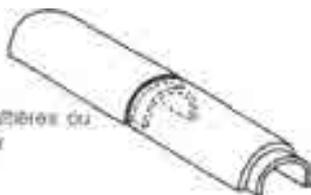


Tuiles plates
30°

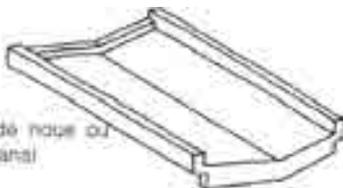


Tuiles Particulières

Tuiles fabriques ou
d'arrêt



Tuile de noue ou
tuile canal



Tuile de
ventilation



COUVERTURE À COQUILLES CONOÏDES EN PLÂTRE-SISAL

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Matériau nouveau et conception nouvelle
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Formation spécifique
Équipement(s) nécessaires(s)	Coffrage simple en bois
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne si protégées de la pluie
Résistance à la pluie	Fable
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	Climat sec
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

BRÈVE DESCRIPTION :

- Il s'agit d'un élément expérimental en forme de coquille, qui a été développé par le Prof. Roberto Mattone et Gloria Pasero à la Turin Polytechnic en Italie.
- La forme de la coquille est telle qu'elle peut être utilisée aussi bien comme élément de toiture, que comme élément de mur.
- Le but était de produire un élément résistant et polyvalent avec du plâtre et du sisal (lesquels sont disponibles en abondance dans certaines régions) et à partir d'un coffrage et d'un équipement simplifié.
- Les tests en laboratoire montrent que le rapport solidité / poids est performant. Ceci est dû à la présence des fibres qui ont une résistance à la traction élevée et qui se lient bien avec le plâtre. En plus de cela, la résistance au feu, de même que la résistance aux agressions biologiques est bonne.
- Le principal inconvénient réside dans la solubilité du plâtre, ce qui exige une protection de surface parfaitement étanche à l'eau.

Pour de plus amples informations: Prof. Roberto Mattone, Facoltà di Architettura, Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, Torino 10125, Italie; Bibl. 23.15.



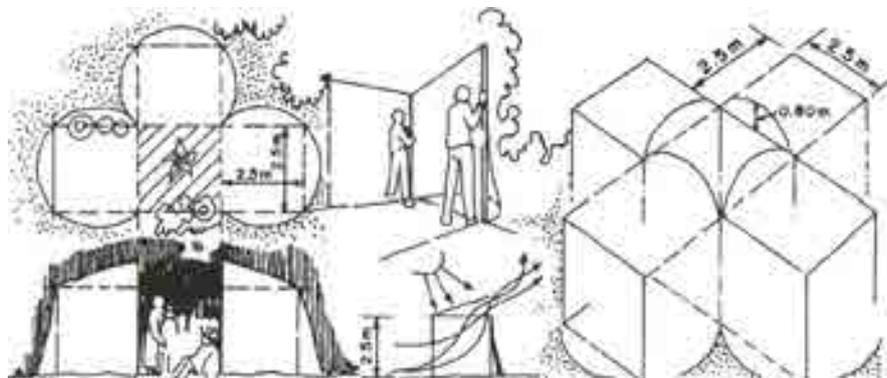


Préparation du coffrage:
Le cadre en bois est rempli avec des morceaux de briques et de pierres, d'abord en utilisant de gros morceaux, ensuite de plus petits et pour terminer avec du sable fin lissé selon la forme désirée. Le mortier plâtre - sisal est étendu sur un voile polyéthylène, préalablement déployé sur la surface de sable lissée.



Essais de résistance du produit fini

Quelques possibilités d'agencements des modules.



COUVERTURE À CANAUX PREFABRIQUÉS EN BETON

MOTS CLÉS :

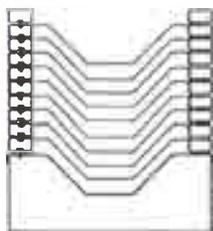
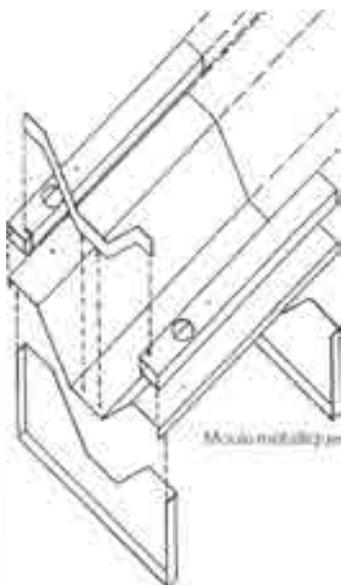
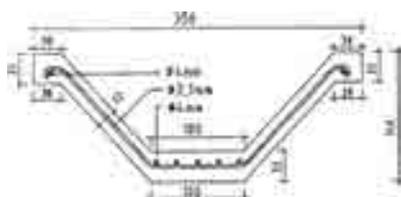
Propriétés particulières	Forte productivité, consommation minimale de coffrage et d'espace
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications moyennes en matière de construction
Équipement(s) nécessaires(s)	Moules métalliques spécifiques
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

BRÈVE DESCRIPTION :

- Ce type de couverture, développé à la National Building Research Institute, Pretoria, South Africa, est basé sur un élément préfabriqué en béton qui a la forme d'un canal de section trapézoïdale (voir illustration page suivante). La préfabrication de cet élément est très rapide, facile et ne requiert pas une grande surface de travail.
- Un schéma page suivante présente la cotation d'une coupe transversale du canal. Des éléments d'une longueur de 4,27 m ont été expérimentés dans le cadre d'un projet spécifique. Leur poids était d'environ 107 kg, soit 25 kg/m. Sept barres d'acier de 4 mm constituent l'armature longitudinale, tandis que les étriers en barres d'acier de 3,3 mm sont placés tous les 30 cm. L'élément est autoportant et peut franchir une portée de 3,5 m, les extrémités débordant en console de chaque côté des murs porteurs.
- Les éléments sont mis en place au sommet des murs sans engins de manutention. Assemblés côte à côte, ils dessinent des créneaux. Des blocs préfabriqués de forme adéquate sont scellés dans les évidements laissés entre le sommet des murs et les flancs des canaux. Un voile de polyéthylène est déployé sur les canaux mis en place. Ce voile est ensuite recouvert d'une couche de 20 mm de gravier afin d'améliorer le comportement thermique de la toiture et de protéger le voile de polyéthylène. Des blocs préfabriqués en béton caverneux de formes adéquates sont placés à sec (non scellés), dans les créneaux aux extrémités des canaux, pour maintenir la couche de gravier. L'eau de pluie collectée dans les canaux s'écoule à leurs extrémités, au travers des blocs en béton caverneux, où elle peut être récupérée par des gouttières. Il est donc souhaitable de donner à la toiture une pente de 5%.

Pour de plus amples informations: Jorge L. Arrigone, Senior Chief Research Officer, National Building Research Institute, P.O. Box 395, Pretoria 0001, South Africa; Bibl. 23.02.



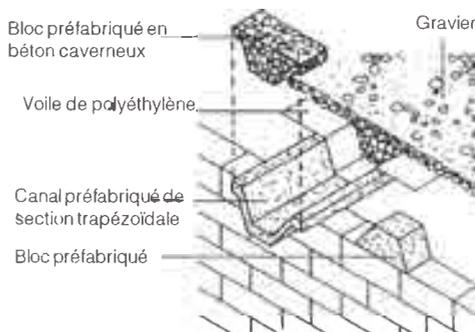


Empilement des canaux de couverture moulés

Préfabrication des éléments en forme de canal

Le moule métallique est constitué d'une base en forme de canal de section trapézoïdale et de pièces mobiles (joues longitudinales et plaques d'extrémité). La base est portée par des nervures fixées dans le sol en béton. La face intérieure du moule est recouverte d'un voile de polyéthylène mis en place avec un gabarit métallique de forme adéquate. Les joues longitudinales et les plaques d'extrémité sont fixées en position et un mortier 1 : 3 relativement sec (ciment : sable grossier) est ensuite déversé et étalé uniformément (épaisseur de 33 mm sur les surfaces horizontales et de 22 mm sur les flancs inclinés). L'armature assemblée (barres longitudinales de 4 mm et étriers de 3,3 mm) est enfoncée dans le mortier dont la surface est ensuite égalisée en tapotant les côtés du moule.

Environ 1 heure plus tard, un nouveau voile de polyéthylène est déployé sur l'élément moulé et poussé en place avec le gabarit métallique. De nouvelles joues longitudinales et plaques de bout sont fixées en position et la procédure est reprise comme expliqué ci-dessus. 10 éléments peuvent ainsi être mou-



COUVERTURES EN FERROCIMENT

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Rapport résistance / poids plus élevé que le béton armé
Aspects économiques	Coûts élevés
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Formation spécifique
Équipement(s) nécessaires(s)	Coffrage et outillage pour la maçonnerie
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Très bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

BRÈVE DESCRIPTION :

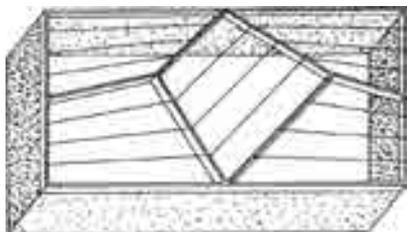
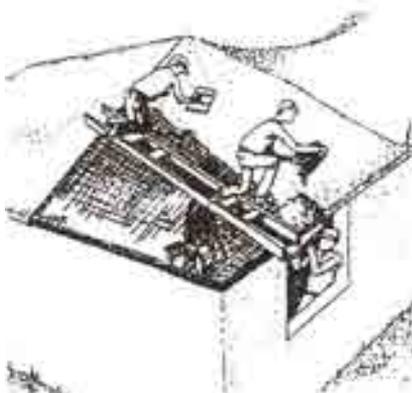
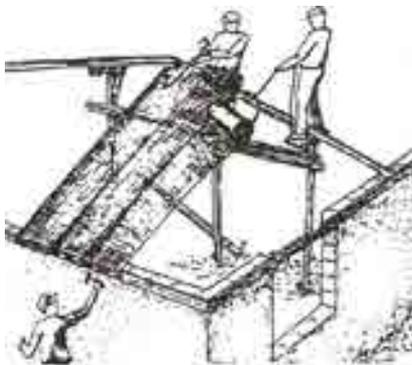
- Les éléments en ferrociment sont caractérisés par des épaisseurs extrêmement fines (15 à 25 mm) et une densité d'armature beaucoup plus élevée que celle du béton armé. Ils permettent donc d'obtenir un rapport résistance à la traction / poids très élevé. Davantage de solidité et de rigidité peuvent être obtenues en produisant des surfaces courbes et brisées.
- Les couvertures en ferrociment peuvent être réalisées soit sur site à l'aide d'un gabarit démoulable, soit avec des éléments préfabriqués lorsqu'il est possible d'utiliser des modules répétitifs.
- Il est possible de concevoir des couvertures en ferrociment franchissant de grandes portées, sans ossature de support. Cela permet de réaliser des économies et d'obtenir des surfaces couvertes sans entrave. Si la couverture en ferrociment est correctement exécutée (recouvrement suffisant du treillis d'armature, béton compact, surface lisse, fissures colmatées), il n'est pas nécessaire de protéger la surface, ce qui est aussi une source d'économie. Il peut malgré tout être recommandé d'appliquer un enduit, sur la face extérieure, pour refléter le rayonnement solaire afin de limiter l'échauffement du volume couvert.

Pour de plus amples informations: Bibl. 10.02, 10.03, 10.04, 23.01, 23.13, 23.22.



Coque en ferrociment réalisée sur site (Bibl. 23.01)

- Les murs ne requièrent pas de chaînage, car la toiture assure leur maintien.
- Un cadre en bois (6 x 6 cm), suivant le périmètre du bâtiment, est fixé au sommet des murs du côté extérieur et une charpente provisoire, sur 2 trépieds, est installée au-dessus de la surface à couvrir. Les surfaces décrites par ces ossatures sont des paraboloides hyperboliques qui sont rectifiables. Des arêtes rectilignes simplifient la fixation du treillis d'armature.
- Le treillis (2 ou 3 couches) est étiré et cloué ou agrafé sur les arêtes. La charpente en bois supporte les treillis, le temps de la réalisation de la couverture. Une fois l'enduit solidifié, la couverture est auto portante.
- Des barres de renfort sont ajoutées pour ceinturer le mur, ainsi qu'au droit des arêtes.
- Une première équipe, évoluant sur la face extérieure de la couverture, force le mortier à pénétrer dans les treillis. Une seconde équipe, sous la couverture, récupère le mortier tombé au sol et enduit la face intérieure.
- Ce système de couvertures courbes, développé par P. Ambacher, France, est aérodynamique et convient donc bien aux régions où sévissent les ouragans.



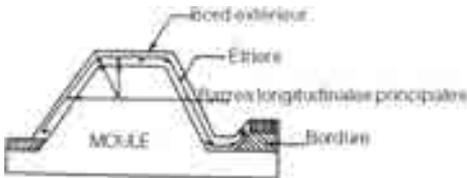
Cadre en bois posé sur les murs



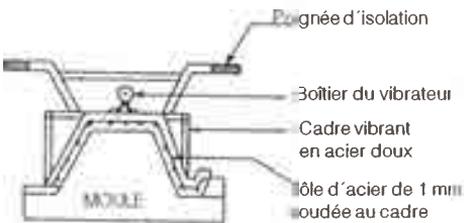
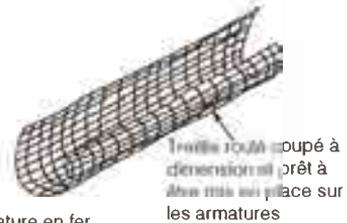
Couverture terminée

Éléments préfabriqués en forme de canal (Bibl. 23.22)

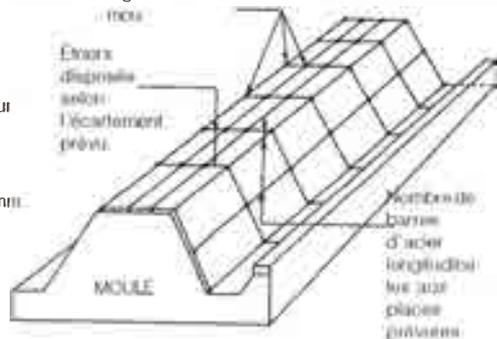
- La forme en canal est issue du principe selon lequel un élément porteur de section transversale profilée est plus solide qu'un élément de section plane de même surface.
- L'élément de couverture présenté ici et développé au Structural Engineering Research Centre, Roorkee, peut être réalisé sur un moule fixe en béton et maçonnerie ou sur un moule portable en bois. La forme de l'élément de couverture peut être celle d'un canal ou d'un canal renversé.
- L'armature est préparée sur le moule.
- Avant de couler le mortier, un coulis riche en ciment est appliqué à la brosse sur l'armature. Le mortier est étalé et poussé dans le réseau d'armature en 2 ou 3 couches successives. Un vibreur, de forme spécialement étudiée, est déplacé sur l'élément, par 2 opérateurs, pour compacter le mortier.
- Après compactage, l'élément suit une cure humide pendant 1 semaine, avant d'être sorti de son moule. Démoulée, la face inférieure reçoit un enduit (coulis de ciment) et la cure humide est prolongée d'au moins une semaine supplémentaire avant commercialisation et installation.



Coupe transversale qui montre la préparation de l'armature



SERC Caisson vibrant posé sur le moule



Modules préfabriqués de forme arquée (Bibl. 23.13)

- L'élément présenté page précédente peut être remplacé par un élément de section transversale arquée (le mode opératoire reste sensiblement le même).
- L'élément de section arquée, présenté ici, a été développé au Regional Research Laboratory, Jorhat, en Inde.
- Il a une largeur de 60 cm, une longueur de 250 cm et 2 cm d'épaisseur. Cinq barres longitudinales de \varnothing 6 mm, 10 barres transversales (même \varnothing) et 2 couches de treillis à pouailler (mailles hexagonales) constituent l'armature de chaque élément. Le dosage (en poids) du mortier est de 1 part de ciment pour 2 parts de sable.
- Des tests de performances à long terme ont donné des résultats très satisfaisants.



*Démoulage d'un élément terminé.
Assemblage de 2 éléments de couverture*



Test des éléments de section arquée sur un abri à vélos.

COUVERTURE EN PLAQUES ONDULÉES EN FIBROMORTIER

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Méthode locale à faible coût
Aspects économiques	Economique et durable
Stabilité	Bonne si les plaques sont correctement fabriquées et installées
Compétence(s) requise(s)	Formation approfondie et contrôle de qualité permanent
Équipement(s) nécessaires(s)	Moules simples, fabriqués localement et transportables
Résistance sismique	Douteuse
Résistance aux ouragans	Bonne si correctement posées et fixées
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Technologie moyennement développée

BRÈVE DESCRIPTION :

Plaques ondulées en FM (fibromortier)

- Là où les premiers éléments de couverture en FM ont été développés, ils avaient pour objet de remplacer les tôles ondulées galvanisées et les plaques ondulées en asbeste ciment.
- La production de ces éléments requiert un équipement relativement simple (il peut être fabriqué localement) et une équipe très bien organisée d'au moins 2 travailleurs.
- La consommation en ciment est sensiblement identique à celle des plaques en asbeste ciment (15 kg/m²), du fait de leur épaisseur plus importante et du bourrage manuel, mais le processus de production ne requiert pas d'électricité.
- La dimension importante des plaques rend la manipulation des produits frais et la mise en cure sous eau délicate.
- Les plaques sont délicates à transporter et à installer sans casse. Elles ne tolèrent pas les charpentes imprécises ou manquant de rigidité.
- Les plaques résistent aux vents violents car elles sont lourdes et les recouvrements sont peu nombreux.

La plupart du temps, des tuiles en fibro- ou vibromortier plus faciles à produire et à installer que les plaques ondulées, sont une solution plus appropriée.

Pour de plus amples informations: RAS c/o SKAT, Vadianstrasse 42, CH-9000 St. Gall, Switzerland; Bibl. 11.03, 11.05, 11.07, 11.08, 11.12, 11.15.



Production de plaques ondulées en FM

Matériaux et équipements

- *Le ciment*: Ciment portland ordinaire (5 kg pour une plaque de 10 mm sur 60 x 60 cm) dosé à 1 part de ciment pour 1 part de sable. L'addition de cendres aux propriétés hydrauliques (p. ex. cendres de son de riz) permet d'améliorer la durabilité des fibres et de diminuer la quantité de ciment, mais ralentit le durcissement, ce qui augmente la quantité de moules nécessaires et la surface de stockage à prévoir.
- *Le sable*: 5 kg par plaque. De préférence à grains anguleux, de granulométrie continue et comprise entre 0,06 et 0,2 mm. Il doit être propre (c-à-d. pas de limon et pas d'argile).
- *Les fibres*: 0,1 kg par plaque. Principalement naturelles telles que fibres de sisal, de jute, de coco, ou de banane, mais aussi synthétiques, par exemple fibres de verre ou fibres de polypropylène. De longues fibres peuvent être utilisées, mais elles requièrent un processus de fabrication différent (plus compliqué) et donnent lieu à un produit plus fragile. De courtes fibres (12 et 25 mm) sont faciles à travailler, améliorent la cohésion du mortier humide et combattent la formation de fissures dues au retrait pendant le durcissement.
- *L'eau*: Il s'agit de préférence d'eau douce non souillée, en quantité juste suffisante pour rendre le mortier plastique. Proportion eau : ciment de 0,5 à 0,65 en poids.
- *Les Adjuvants*: Utilisation de produits hydrophobes, lorsque par exemple la granulométrie du sable n'est pas correcte. Utilisation de colorants si la couleur grise, due au ciment, n'est pas désirée.
- *Table de moulage*: Elle est composée d'un panneau plan et horizontal et d'un cadre qui détermine les dimensions de la plaque en FM. Le cadre assure le blocage d'une feuille de polyéthylène étalée sur le panneau.
- *Moules ondulés empilables*: Plateaux ondulés galvanisés ou en asbeste ciment en nombre suffisant pour 2 jours de production. Toutes les plaques d'une couverture doivent être réalisées à partir d'un lot de plateaux ondulés, mis en forme dans un même gabarit. Des plaques de couverture produites à partir de lots de plateaux ou chez des producteurs différents auraient des ondulations différentes. L'exactitude des ondulations est indispensable pour un agencement correct et un comportement sûr des plaques en FM.
- *Autres équipements*: outils conventionnels d'un atelier.



Le mélange de FM est étalé sur la table de moulage



Déplacement de la feuille qui porte la couche de mortier humide sur le moule ondulé emboîtable

Empilage des moules emboîtables



Moulage et cure

- Le mortier correctement dosé et mélangé est appliqué en une couche uniforme sur la feuille de polyéthylène fixée sur la table de moulage. Il est tassé, nivelé (épaisseur 10 mm) et lissé avec une truelle.
- Après dégagement du cadre, les bords de la couche de mortier sont ébavurés et la table de moulage est inclinée. La feuille de polyéthylène, qui porte la couche de mortier, peut à ce moment être progressivement glissée sur le moule en attente au bas de la table de moulage.
- Les moules portant leur couche de mortier frais sont empilés pour une première cure de 24 heures. Au terme de ces 24 heures, la plaque en FM est assez solide pour être démoulée et poursuivre sa cure en position verticale soit à l'air (arrosage régulier), soit immergée dans un bassin pendant environ 2 semaines.
- Le démoulage ne doit pas attendre plus de 48 heures, car les plaques ont tendance à rétrécir au séchage et se fractureraient par suite des adhérences au moule emboîtable.

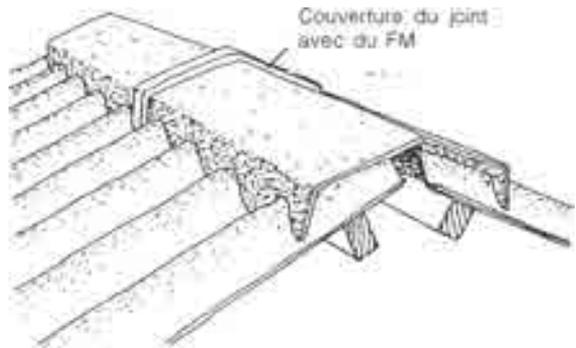
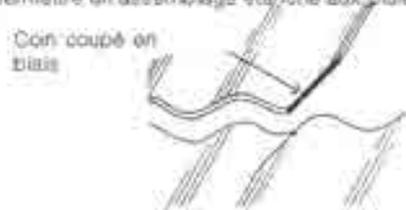
Production de plaques faïtières en FM

- *Matériaux et équipements*: Identiques à ceux utilisés pour les plaques, excepté la forme du cadre qui diffère, ainsi que la table de moulage qui est équipée de charnières. Cette dernière, une fois pliée et soutenue dans un gabarit, sert aussi de moule.
- *Moulage et cure*: identiques aux plaques en FM.



Réalisation de couvertures avec des plaques ondulées en fibromortier

Les *plaques ondulées en FM* sont posées sur des charpentes en bois, fort semblables à celles réalisées pour les tôles ondulées galvanisées et pour les plaques ondulées en asbeste ciment. Les plaques en FM sont cependant moins flexibles et peuvent se rompre si la charge n'est pas uniformément répartie. Par conséquent, la construction de la charpente doit être soignée pour que l'alignement des membrures soit correct. Si des clous ou des boulons sont utilisés pour la fixation des plaques, elles doivent être au préalable percées à un diamètre légèrement supérieur à celui des clous ou boulons. Pour éviter de forer des trous, une solution alternative consiste à réaliser des talons, équipés d'une boucle métallique noyée dans ces derniers durant le moulage. Les 2 angles en bois sont indispensables pour permettre un assemblage étanche aux pluies.



TUILES EN FIBRO- ET VIBROMORTIER

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Matériaux de couverture produits localement
Aspects économiques	Coût moyen de la toiture dans son ensemble (charpente + couverture)
Stabilité	Bonne si tuiles et charpente correctement fabriquées et installées
Compétence(s) requise(s)	Formation approfondie et contrôle de qualité constant
Équipement(s) nécessaires(s)	Kit de production importé et mobile
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Satisfaisante si tuiles et charpente correctement installées et fixées
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Technologie au point

BRÈVE DESCRIPTION :

Tuiles en fibromortier (TFM) et en microbéton (TMB; parfois aussi appelées tuiles en vibromortier; TVM)

- Elles ont été développées pour résoudre la plupart des problèmes posés par la production et la pose des plaques ondulées en FM (exemple précédent). Aujourd'hui la production de TFM est devenue marginale, car le mélange homogène des fibres n'est pas toujours maîtrisé.
- Ces tuiles sont produites avec plus d'efficacité, sur une petite table vibrante (manuelle ou électrique: p. ex. batterie de voiture) où travaille un seul ouvrier spécialement formé.
- Plus minces (6 mm) que les plaques ondulées en FM (10 mm) et fabriquées avec un mortier moins riche, la quantité de ciment consommée par m² de couverture n'est plus que de 5 à 7 kg (TFM et TMB: 1 part de ciment pour 2 à 3 parts de sable; Plaques ondulées FM: 1 part de ciment pour 1 part de sable).
- Les TFM / TMB sont plus faciles à manipuler au démoulage et la mise en cure dans un bassin d'eau pose moins de problèmes.
- Elles ont moins tendance à se briser pendant le transport et la pose et de petits défauts d'alignement de la charpente ont moins de conséquences.
- Si elles ne sont pas correctement fixées à la charpente, elles peuvent être déplacées, voire endommagées, par des vents violents. De ce point de vue, des tuiles à doubles talons sont plus garanties et plus durables que des tuiles à un seul talon.
- L'Europe, l'Afrique, les Caraïbes, l'Amérique du Sud et l'Asie comptent chacun leurs propres fabricants de matériel de production, dont le prix et la qualité sont très variables.

Pour de plus amples informations: RAS c/o SKAT, Vadianstrasse 42, CH - 9000 St Gall, Switzerland; Bibl. 11.03, 11.05, 11.07, 11.08, 11.15.



Production des TFM et TMB

Matériaux et équipements

- *Le ciment*: Idem plaques ondulées en FM, mais la quantité consommée est de 0,4 kg pour une tuile de 6 mm d'épaisseur sur 50 x 25 cm, soit un dosage de 1 part de ciment pour 3 parts de sable.
- *Le sable*: Idem plaques ondulées en FM, mais la quantité consommée est de 1,2 kg par tuile.
- *Les fibres*: Idem plaques ondulées en FM, mais la quantité consommée est de 0,02 kg par tuile (TFM uniquement).
- *Les agrégats*: Pour les TMB des agrégats sont utilisés à la place des fibres. La proportion est de 1 part de gravier fin pour 1 à 2 parts de sable.
- *L'eau et les adjuvants*: Idem plaques ondulées en FM.
- *La table vibrante*: Elle est constituée d'un plateau vibrant qui porte un cadre interchangeable articulé sur des charnières (la forme du cadre varie selon la forme et l'épaisseur de la tuile à fabriquer). Le mécanisme de vibration peut être actionné soit par un moteur 12 volts, soit par un moteur 220 volts, soit manuellement. Il existe différents modèles de table vibrante qui permettent de répondre à des exigences et capacités de production variées.
- *Les moules emboîtables*: Ils font partie du kit de production et sont généralement fa-

1
Poser la feuille
de polyéthylène



2
Loquets de
verrouillage du
cadre



3
Répartition du
fibromortier
sous vibration



4
Lissage sous
vibration



Moulage et cure

- Une mesure-étalon dépose la juste quantité de mélange sur la feuille en polyéthylène étendue sur le plateau vibrant. Pendant la vibration, le mélange est étalé à la truelle et égalisé à l'épaisseur du cadre métallique. Un petit boîtier (dimension d'une boîte d'allumettes) est fixé au cadre métallique et détermine l'emplacement du talon (côté tête de la tuile). Ce boîtier est bourré de mélange, tandis que la queue d'une boucle en fil de fer galvanisé y est noyée. La boucle servira à la fixation de la tuile à la charpente.
- Le cadre métallique est déverrouillé et, pivoté sur ses charnières, il libère la feuille de polyéthylène portant la couche de mé-

lange mise en forme. La feuille de polyéthylène est alors glissée avec précaution sur un moule en attente pour garantir l'uniformité de la production, l'ouvrier doit aligner la couche de mélange sur le repère d'alignement prévu à cet effet.

- Le moule portant la couche de mélange frais est stocké pour une première cure de 24 heures (les moules étant emboîtables, ils sont empilés pour restreindre la surface de stockage et éviter toute perte d'humidité). Après quoi, la tuile est démoulée et poursuit une cure de 2 semaines soit immergée dans un bassin, soit dans un caisson étanche où règne une atmosphère saturée de vapeur.

5
Bourrer le boîtier du talon avec du mélange



Mise en place de la boucle en fil de fer

6
Feuille de polyéthylène, tirée sur un moule et portant une couche de mélange frais. Durcissement du mélange sur les moules empilés



7
Cure dans un fût d'huile de récupération



Tuiles flamandes et tuiles romanes

Communément on rencontre 2 types de tuiles:

- *La tuile flamande*: De profil sinusoïdal, elle peut s'adapter à une charpente légèrement irrégulière.
- *La tuile romane*: Contrairement à la tuile flamande qui produit un effet de vaguelettes, les tuiles romanes produisent un effet plus simple. Cette tuile exige une charpente sans irrégularités.



La production de TFM / TMB faitières

- *Matériaux et équipements*: Idem tuiles, mais à partir d'un cadre métallique et de moules empilables différents.
- *Moulage et cure*: Idem tuiles, mais les talons et boucles en fil de fer galvanisé sont fabriqués et ajustés une fois la tuile posée sur son moule.

Trous pour le passage d'un clou (option)



Poses de tuiles flamandes

Réalisation d'une couverture en TFM / TMB

Les *TFM / TMB* sont posées sur un lattage en bois (entre axe des lattes: 40 cm) de façon semblable aux tuiles en argile cuite. De petites irrégularités n'engendrent pas de problèmes majeurs surtout lorsqu'on utilise des tuiles flamandes. Les tuiles sont fixées avec les fils de fer galvanisés, soit liés directement au lattage, soit accrochés à des clous enfoncés dans le lattage.

Il arrive que des vents violents déplacent et/ou cassent des tuiles fixées uniquement en partie supérieure. Le remède consiste à prévoir un second talon au bas de la tuile. Plusieurs kits de production sont fournis avec la ferrure nécessaire.

COUVERTURES DURABLES EN CHAUME (HERBACÉES À TIGES RIGIDES)

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Excellente isolation thermique et phonique
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne, dépend de la matière première et de la qualité de l'exécution
Compétence(s) requise(s)	Formation et expérience spécifique
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils spécifiques fabriqués localement
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Dépend de la fixation et de la charpente
Résistance à la pluie	Moyenne à bonne
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Toute région où de la matière première est disponible
Degré d'expérimentation	Technique traditionnelle

BRÈVE DESCRIPTION :

- Le chaume est le matériau de couverture le plus utilisé dans le monde, quand bien même il est à peine pris en compte par les experts de la construction. En Inde par exemple, 40 millions de maisons sont couvertes de chaume. En fait, presque tous les matériaux végétaux peuvent être utilisés pour couvrir un toit (écorces d'arbres jusqu'à de minces joncs élancés). La paille, les joncs et les feuilles ou branches de palmiers sont cependant les matériaux les plus couramment utilisés.
- Les couvertures communes en chaume sont peu durables et peu performantes. Cependant, dans certaines régions (Nord-Ouest de l'Europe, Afrique du Sud et Japon) des professionnels qualifiés réalisent des couvertures de bonne qualité qui ont une espérance de vie estimée entre 25 et 70 ans.
- Les toitures en chaume utilisent des matières premières locales renouvelables, dont la production nécessite peu ou pas d'apport d'énergie artificielle et elles coûtent moins cher que la plupart des autres types de couverture. La réalisation de toitures en chaume est un travail à haute intensité de main d'oeuvre, qui favorise la création d'emplois. Lors du remplacement d'une couverture en chaume, le chaume vieilli peut être composté ou compacté pour être utilisé comme combustible.
- Le principal désavantage des couvertures en chaume est leur inflammabilité, mais ce danger peut être fortement réduit si la réalisation de la couverture est confiée à des travailleurs expérimentés et que quelques précautions d'usage sont prises. Ces couvertures sont aussi sujettes à l'agression d'agents biologiques et/ou à effritement.
- Les meilleurs matériaux sont des herbes à tiges raides et des joncs, d'une longueur de 1 à 2 m et d'un \varnothing de 10 mm à l'extrémité coupée. Les tiges doivent être rectilignes (pas de courbures aux noeuds), élancées et de préférence creuses. Des tiges pleines ont tendance à sécher lentement et donc à pourrir plus rapidement.

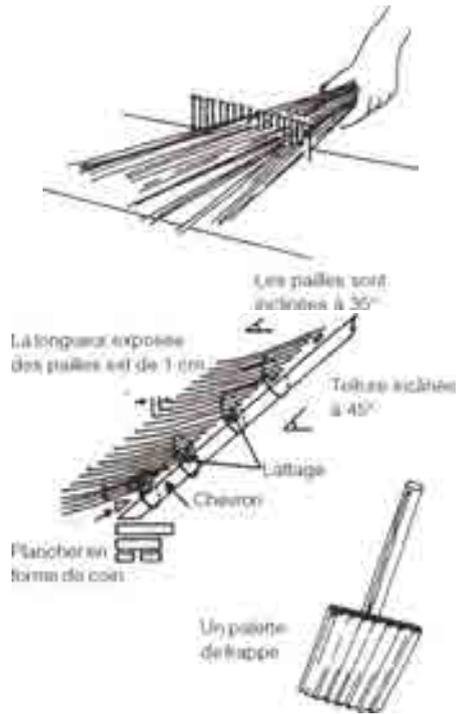


Matériaux: origine et préparation

- Le chaume peut avoir 3 origines différentes. Il peut provenir de la végétation locale naturelle, être un sous produit de l'agriculture ou provenir d'une plante expressément cultivée.
- Le jonc est plus durable, mais les pailles de céréale (principalement froment, mais aussi seigle, orge et riz) sont plus largement répandues. Plus l'utilisation de fertilisants artificiels est poussée, plus les pailles sont susceptibles d'être attaquées par des champignons.
- Il est plus indiqué de moissonner les pailles selon un procédé manuel, car les moissonneuses modernes les cassent. Les tiges sont coupées à maturité (croissance terminée; tiges desséchées) à 5 cm au-dessus du sol.
- Pour obtenir une couverture étanche et régulière, la paille doit être démêlée sur un peigne, qui élimine aussi les feuilles mortes et autres débris. Ce travail en vaut la peine car il permet de doubler la durée de vie de la couverture en chaume. La paille est ensuite mise en botte et stockée dans un endroit sec.
- La circonférence des bottes doit être de 55 cm à l'endroit où elles sont liées (c-à-d. environ à 30 cm du côté rassemblant les extrémités coupées). Une fois en botte, la paille est prête à être mise en oeuvre.

La charpente.

- La plupart des toitures ayant une pente supérieure à 45° peuvent être couvertes de chaume. Le chaume s'adapte à la forme de la charpente, sauf en cas de forme convexe.
- Elle peut être faite de poteaux et de lattes en bois et des toitures de forme simple donnent des charpentes simples. Il n'est pas conseillé de concevoir des toitures avec noues ou pentes brisées, cela complique la charpente.
- La charpente doit être capable de supporter une charge de 40 kg/m², ce qui est plus que pour les autres matériaux et correspond au cas d'une couverture en joncs.
- Une planche en forme de coin (de 35 mm plus épaisse que les lattes), qui relie l'extrémité inférieure des chevrons, soutient la première rangée de chaume et assure un meilleur serrage des rangées ultérieures.

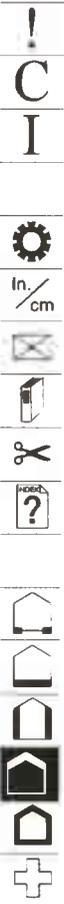
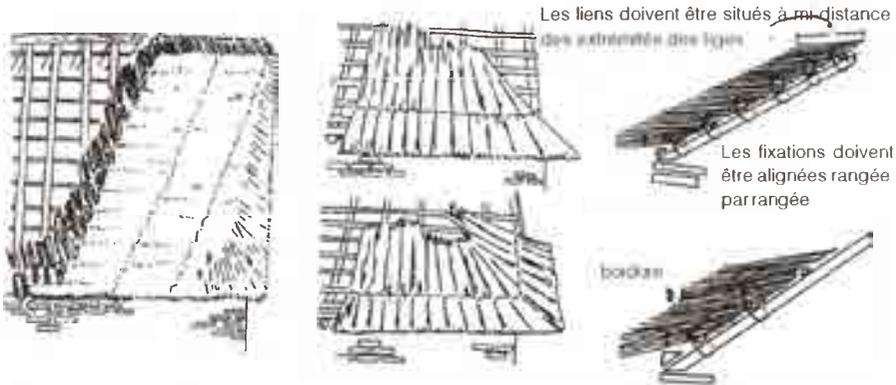


Réalisation de la couverture

- **Outillage:** Un canif pour ouvrir les bottes et couper les liens de fixation. Une palette de frappe pour battre la paille en surface, et rendre la couverture plus étanche. Un racloir pour la finition du travail.
- **Assortiment des tiges:** Tiges courtes pour les bordures (faîte, rives de pignon et de bas de pente), tiges longues pour le reste de la surface à couvrir.
- La pose du chaume commence à un côté droit, sauf si le couvreur est gaucher. Les pailles sont posées en colonnes verticales (le plus commun) ou en rangées horizontales.
- La première rangée remplit la même fonction que la fondation d'un mur et parce qu'elle est la plus exposée aux vents, elle doit être particulièrement soignée.
- Le chaume est posé en couches de 20 cm d'épaisseur, fixées par des liens au lattage. Les liens sont situés environ à mi-distance des extrémités. Les couches se chevauchent comme des tuiles, protégeant les liens de fixation. L'épaisseur totale d'une couverture en chaume est de 30 cm. Après la fixation, le chaume est étroite-

ment pressé dans les liens de fixation avec la palette de frappe. La pente de la couverture est identique à celle des chevrons et seuls 2 à 3 cm de chaque tige sont exposés. Sur quelques centimètres d'épaisseur, la surface de chaque couche est légèrement décalée vers l'extérieur, ce qui dessine une bordure. Celle-ci est repoussée et ajustée avec la pose du chaume de la couche suivante. Cette pratique permet une jonction propre et invisible entre les couches.

- Le faite est la partie la plus vulnérable de la couverture. Divers matériaux très durables peuvent être utilisés, p. ex. demi-tuile ronde, tôle métallique, ferrociment, mais ces matériaux sont chers et perturbent l'esthétique du toit. Plus élégante et plus économique est la couverture du sommet par des herbes souples. Cette ultime couche recouvre les liens de fixation de la couche précédente et est elle même fixée par brochage horizontal.
- La couverture de 1 m² requiert environ 10 bottes de chaume et de la corde locale résistante ou du fil de fer pour les liens de fixation. Des couvreurs expérimentés peuvent réaliser 10 à 20 m² par jour.



Collecte des eaux de pluie

- Généralement, les toitures en chaume ne conviennent pas à la collecte des eaux de pluie, à moins de les équiper d'une large gouttière (30 cm minimum). Une Méthode appelée «substitution par des tuiles», développée et expérimentée par Nicolas Hall, rend la collecte plus efficace.
- Des tuiles d'argile cuites remplacent la première rangée de chaume. On obtient ainsi une bordure solide et rectiligne.
- Cette façon de procéder renforce considérablement la bordure, ce qui augmente la durée de vie de la couverture. Ce type de bordure permet d'installer une gouttière de largeur normale (10 cm; économique et commode) et diminue considérablement le risque d'incendie.
- Pour éviter que des débris de chaume saillent l'eau récoltée, un dispositif doit permettre d'écarter les premiers écoulements.



Durabilité

- A condition de renouveler les rives en bas de pente à temps (tous les 8 à 10 ans), une couverture en chaume exécutée dans les règles de l'art peut durer 40 ans et plus.
- Le chaume est inflammable et des mesures de précaution classiques sont la meilleure protection contre le feu. Ainsi, on évite de réaliser des couvertures en chaume dans des zones à forte densité d'habitation (zones urbaines). Les feux ouverts sont à proscrire à proximité de couvertures en chaume. Idéalement les cheminées sont à éviter et lorsqu'elles s'imposent, des mesures spéciales doivent être respectées (passage au niveau de la faîtière, bonne isolation, ramonages réguliers). Les raccords électriques qui se trouvent dans les combles doivent être confinés. La face inférieure de la couverture peut être protégée par un voile incombustible fixé aux chevrons.
- Il est possible de réaliser des traitements chimiques qui réduisent les risques d'incendies, de même que les dégradations dues aux facteurs climatiques et biologiques. Cependant, aucun d'entre eux n'est économique, permanent ou totalement sûr. De plus, ces traitements interdisent la collecte de l'eau de pluie.

Pour de plus amples informations: Bibl. 12.02, 12.03 et 23.11 ou prenez contact avec Nicolas Hall, 48a Hornead Road, London W9, U.K.

TOITURES À CHARPENTES EN BAMBOU

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Très résistantes, flexibles et grandes variétés de forme
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications traditionnelles
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils pour la coupe, le fendage et la fixation du bambou
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Dépend des mesures de protection
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Climat chaud et humide
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

BRÈVE DESCRIPTION :

L'utilisation du bambou pour la réalisation de charpentes offre plusieurs avantages.

- Il s'agit d'une technique traditionnelle bien comprise par les artisans locaux et elle ne requiert pas d'outils spéciaux.
- L'utilisation intensive du bambou ne porte pas à conséquence sur l'environnement (au contraire du bois) car il repousse très rapidement (4 ou 5 ans).
- Les propriétés physiques du bambou en font un matériau de construction idéal pour les régions sismiques.

Comparé à la plupart des matériaux de construction, l'achat, le travail et l'entretien du bambou sont économiques.

L'utilisation du bambou n'a pas que des avantages, elle pose aussi des problèmes qu'il est nécessaire de maîtriser.

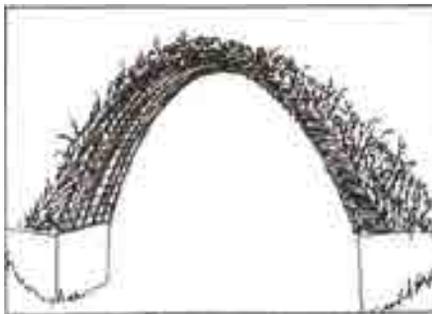
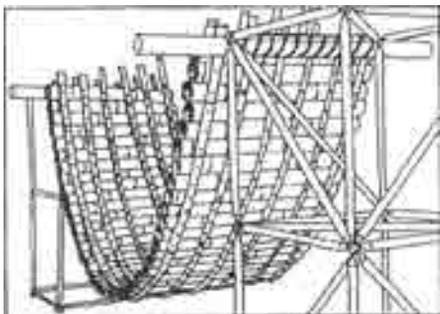
- Sa durabilité est limitée principalement: en cas d'humidité ou de séchage excessifs; par l'attaque d'insectes ou de champignons; par des impacts et l'usure.
- Du fait de sa durabilité limitée, le bambou n'est pas très estimé.

Pour de plus amples informations: Bibl. 13.05, 13.06, 13.07.



Voûte (Bibl. 13.05)

- Ce type de construction a été développé au Research Laboratory for Experimental Construction, au Kassel College of Technology, en République Fédérale d'Allemagne, conduit par le Prof. Gernot Minke.
- La voûte est stable, du fait des forces de compression perpendiculaires aux bambous placés horizontalement.
- Principe: Des tiges de bambou (non fendues) sont empilées horizontalement l'une sur l'autre, en suivant une courbe qui répond au tracé inversé d'une chaînette suspendue entre 2 points. Dans le cas d'une chaînette suspendue entre 2 points, la force de gravité induit des efforts (traction pure) dans les maillons. Ces forces s'exercent selon la courbe qui relie les points de contact entre maillons. Parce qu'une telle courbe reste stable lorsqu'on inverse la direction des forces (compression pure au lieu de traction pure), une courbe qui a la forme d'une chaînette inversée est la forme idéale d'une voûte.
- Construction: Des lattes (bambou fendu) de longueur égales sont suspendues avec un écartement, entre leurs propres extrémités, égal à la portée à franchir. Des tiges de bambou sont posées horizontalement sur les lattes suspendues de manière à former une voûte inversée. De nouvelles lattes de bambou sont alors posées sur les tiges horizontales, en superposition aux lattes inférieures. Pour terminer, des trous traversant de part en part les 2 lattages et les tiges horizontales sont forés et équipés de boulons ou de rivets.
- Une fois terminée, la structure est retournée et fixée sur ses appuis. Il est préférable de prévoir un chaînage (poutres en bois ou en béton armé) au sommet des murs, qui reçoivent la voûte.
- En guise de protection contre la pluie, un voile étanche recouvre la voûte en bambou et une couverture en matériaux locaux (chaume ou, plus conseillé, une couche de 10 cm de terre sur laquelle pousse de l'herbe) termine l'ouvrage. Un filet résistant (p. ex. filet de pêche) peut être utilisé comme renfort initial, pour éviter le glissement de la terre. Le tapis d'herbe donne à la terre de couverture sa stabilité finale.



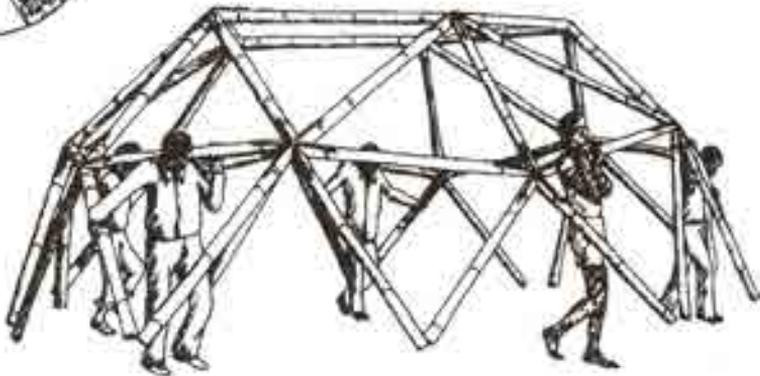
Petit dôme géodésique (Bibl. 13.05)

- Ce type de construction a également été développé par le Prof. Minke et son équipe.
- La charpente du dôme est constituée de tiges de bambou d'une longueur approximative de 1,5 m. Ces tiges sont assemblées de manière à former des triangles qui assurent la rigidité de la structure. La longueur des tiges dépend de la géométrie de la charpente conçue. Les tiges doivent être coupées avec précision pour obtenir un dôme uniforme. Le système de connexion des tiges permet de légers ajustements en cours de montage. Pour la solidité de l'assemblage, où se rejoignent 5 ou 6 membrures, les extrémités de bambou sont coupées en biseau.

- Dans l'exemple décrit, la portée du dôme était de 5 m. Une structure de cette dimension est facile à préfabriquer et 5 personnes peuvent aisément la transporter. Des boîtes en fer blanc remplies de sable servent de pieds et facilitent l'ajustement des niveaux en cas de répartition inégale de la charge. Les boîtes sont logées dans les fondations constituées de vieux fûts métalliques comblés de blocs de pierre et de béton léger.
- Le dôme est recouvert d'une solide membrane étanche. Différents matériaux peuvent recouvrir la membrane étanche, p. ex. des feuilles de palmiers, des herbes à tiges souples ou des bardeaux en bois sur un lattage. Le dôme construit au Kassel College of Technology est recouvert d'herbes.



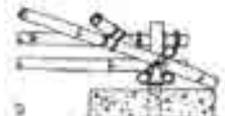
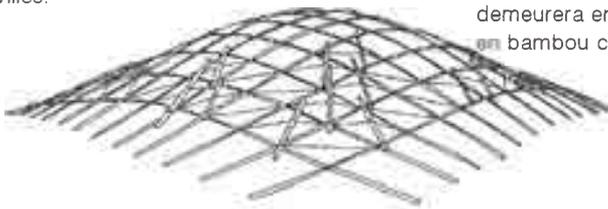
Détail de connexion



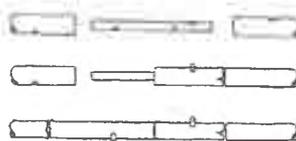
Coque à base carrée (Bibl. 13.05)

- Le type de construction présenté ici a été réalisé par le Aachen Technical College en République Fédérale d'Allemagne. Le but était de mettre au point, pour les pays en développement, une structure de toit économique qui résiste aux tremblements de terre et qui utilise que des matériaux et de l'outillage local. La coque à membrures en bambou qui a été développée répond aux critères imposés. La charpente de la coque est constituée d'un treillis carré initialement plan, qui est préfabriqué sur une surface plane. L'élévation du treillis en son centre donne la forme finale.
- Les tiges de bambou utilisées ont un diamètre moyen de 30 mm et une longueur approximative de 4 m. Etant donné les 7,2 m de longueur d'un côté du carré, chaque barre du treillis requiert la jonction de 2 tiges. Des tests ont montré que la jonction la plus solide était obtenue en emboîtant une pièce de bambou plus fine dans les cavités des extrémités des tiges à assembler. La fixation est assurée par de courtes chevilles.

- Le treillis plan est réalisé au sol, en croisant les barres selon une maille de 50 x 50 cm. 2 tiges de bambou sont assemblées pour obtenir des barres de longueur suffisante. Chaque intersection du maillage est chevillée et liée avec une corde. Cet assemblage empêche le glissement relatif des tiges, mais il permet leur rotation autour de la cheville. Des contreventements d'une longueur de 1 m rigidifient la coque. Ils sont mis en place après élévation du centre de la grille au niveau requis et sont placés approximativement en diagonale des mailles, et selon la pente, avant d'être solidement liés à la grille.
- Les côtés de la grille forment un carré de 6 x 6 m qui correspond à la dimension des murs. Une pièce de bambou est encastrée verticalement aux 4 angles, tandis qu'une sorte de poutre de chaînage en tiges de bambou y est fixée. Ce dispositif sert à l'ancrage de la coque terminée. La coque mise en place est recouverte d'une membrane étanche et de pailles locales appropriées (pas des pailles à tiges rigides). La couverture en paille peut être remplacée par une couverture en ferrociment, laquelle demeurera en place même si la charpente en bambou cesse de la supporter.



Jonction de tiges de bambou avec une pièce plus fine emboîtée dans les cavités



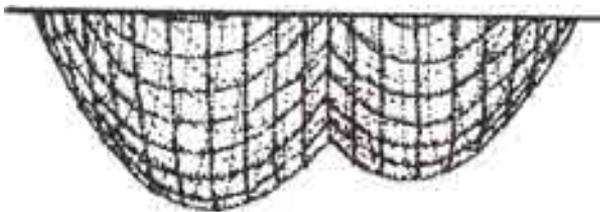
Détail d'un angle avec poutre de chaînage en bambous liés (a. vue de dessus; b. coupe transversale)

Coques de forme irrégulière (Bibl. 13.05)

- Le principe de courbes en forme de chaînettes inversées, décrit au point «Voûtes», peut être appliqué à la construction de structures portantes spatiales et incurvées qui sont réalisées avec des barres de diamètre relativement faible. La forme de telles coques n'est pas calculée, elle est déterminée à partir de modèles suspendus (p. ex. réseau de chaînes). Plusieurs structures de ce type ont été développées et réalisées avec des tiges de bambou, dans un projet où collaboraient l'Institute of Lightweight Structures, Stuttgart, de la Ré-

publique fédérale d'Allemagne et la School of Architecture, Ahmedabad en Inde.

- En copiant le modèle à chaînes suspendues, la grille de bambou est assemblée au sol et chaque intersection est attachée. Pour les bases de forme irrégulière, toutes les barres ont une longueur différente, laquelle est mesurée sur le modèle à chaînes suspendues. Etant donné la courbure importante de ce type de coque, les tiges de bambou sont fortement fléchies. De ce fait, la fixation des intersections entre tiges ne peut être réalisée avec des chevilles. L'utilisation de corde permet de maintenir une courbure harmonieuse de la structure.



Modèle à réseau de chaînes suspendues



Fermes en bambou (Bibl. 13.06, 13.07)

- Dans de nombreuses régions le bambou est traditionnellement utilisé pour la construction de fermes. Cependant la quantité de bambou utilisée est souvent exagérée et la structure de la ferme n'est pas toujours sans défaut.
- Un projet de recherche conduit par le Dr. Jules Janssen de la Eindhoven University of Technology, au Pays Bas, a développé et testé 4 types de jonction entre membrures, ainsi qu'une conception améliorée de la structure d'une ferme.
- Jonction type 1: Joints en contre-plaqué sur les deux côtés des membrures en bambou et maintenues par des boulons en acier.
- Jonction type 2: Les jambes de force sont appuyées contre des chevilles qui traversent l'arbalétrier. Les chevilles, qui dépassent de l'arbalétrier, supportent aussi les pannes. Une protection intermédiaire (sorte de rondelle) augmente considérablement la solidité.
- Jonction type 3: Les extrémités des jambes de force sont taillées de manière à former 2 «cornes» qui s'emboîtent dans 2 trous prévus dans l'arbalétrier. (Désavantage: requiert de la précision, du temps et exclut la préfabrication).
- Jonction type 4: Une cheville en bambou traverse 3 membrures, les 2 membrures extérieures étant parallèles .
- La ferme à structure améliorée, construite avec la jonction de type 2 et ayant une portée de 8 m, a été testée en laboratoire. Elle était couchée au sol et les charges verticales de la couverture étaient simulées par un système de vérins hydrauliques agissant horizontalement.



TOITURES AVEC CHARPENTES À POTEAUX EN BOIS

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Charpentes économiques et plus résistantes que celles en avivés
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualification en charpenterie
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils de charpenterie
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Dépend des mesures de protection
Résistance aux insectes	Fable
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Technique en partie traditionnelle et en partie expérimentale

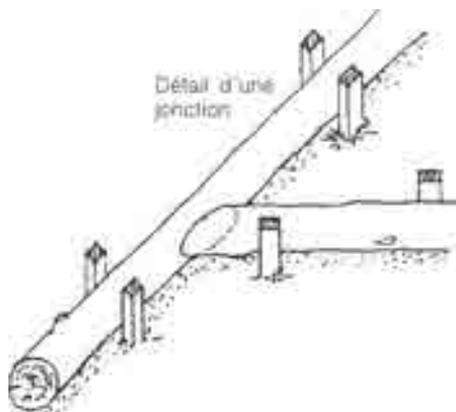
BRÈVE DESCRIPTION :

- Des poteaux en bois rond non usinés sont plus économiques et se trouvent plus facilement que des avivés. De tels poteaux sont principalement utilisés pour des ossatures de bâtiments (charpente de mur et / ou de toiture, ferme, etc.).
- L'utilisation de troncs de jeunes arbres (5 à 7 ans) offre de nombreux avantages comparée à l'utilisation d'avivés.
 - Le coût et les déchets liés au sciage des avivés sont supprimés.
 - La résistance d'un gros tronc est plus importante que la somme des résistances individuelle des avivés débités dans ce tronc, du fait de la géométrie plus favorable et des déchets qui sont de la matière perdue.
 - A section égale, un poteau est plus résistant qu'un avivé, car les fibres enveloppent les défauts naturels et ne sont pas interrompues sur les faces sciées.
 - Le pourtour d'un poteau est habité par de fortes tensions dues à la croissance. Ces tensions soulagent les fibres comprimées d'un poteau en flexion, ce qui a pour effet d'en augmenter la capacité portante.
 - Les avivés proviennent d'arbres dont une exploitation intensive peut poser des problèmes d'environnement, car les arbres d'où sont tirés des avivés mettent plusieurs dizaines d'années à grandir.
- Donc pour toute une série de constructions, les poteaux (p. ex. provenant de mangroves, ou de l'éclaircissement de plantations d'eucalyptus ou de résineux, etc.) peuvent être plus appropriés que des avivés, des points de vue économique, résistance et de l'environnement.



Connexions avec des plaques de métal de récupération (Bibl. 00.39)

- Cette technique économique et simple, développée à l'Intermediate Technology Workshop in Cradley Heath, U.K., utilise de fines plaques de métal coupées, à forme et dimensions requises. Les plaques enveloppent les jonctions et sont solidement clouées dans les membrures en bois.
- L'application la plus typique de cette méthode est la préfabrication de fermes à poteaux en bois. Pour garantir la précision, les fermes sont assemblées à l'aide d'un gabarit. Ce gabarit consiste en piquets, en bois ou en fer, enfoncés dans le sol. Les poteaux sont insérés et ajustés entre les piquets avec autant de précision que possible, avant d'être coupés à dimension et connectés à l'aide des plaques métalliques.

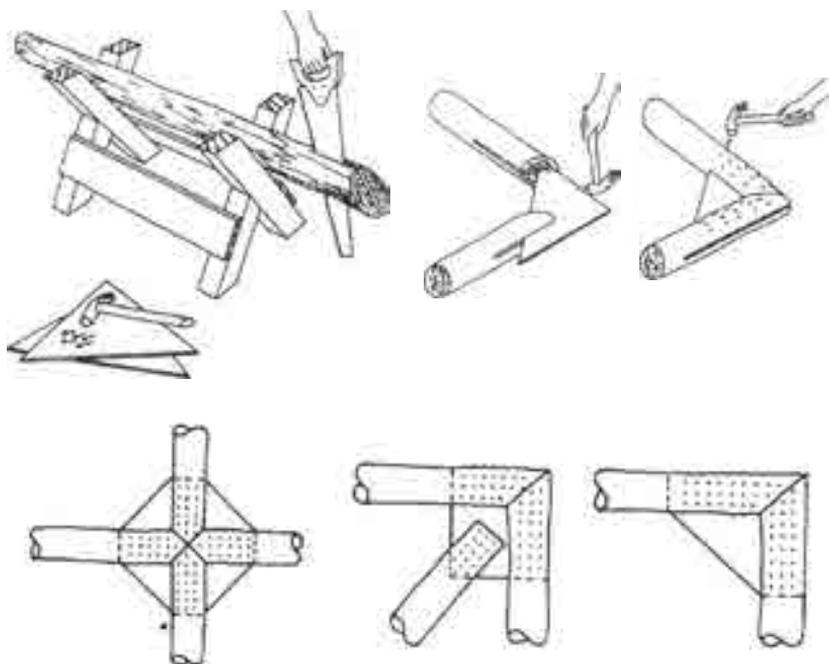


Connexion avec des équerres en métal (Bibl. 14.10)

- Les connexions à équerres métalliques, qui ont été développées au Building Research Establishment, Garston, U.K., consistent en plaques d'acier doux insérées dans une rainure longitudinale pratiquée aux extrémités des poteaux en bois. La connexion est réalisée par un réseau de clous traversant poteaux et équerres. Les clous sont enfoncés perpendiculairement à l'équerre.
- Des clous normaux peuvent facilement traverser, sans préforage, des plaques en acier doux d'une épaisseur de 1 mm. Des plaques plus épaisses requièrent un préforage ou l'utilisation de clous en acier dur. Des tests ont montré que pour la plu-

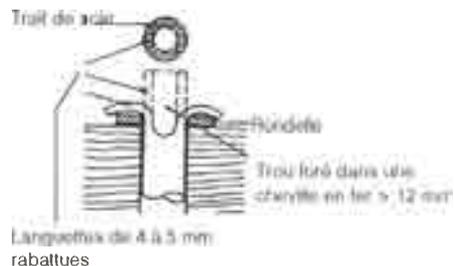
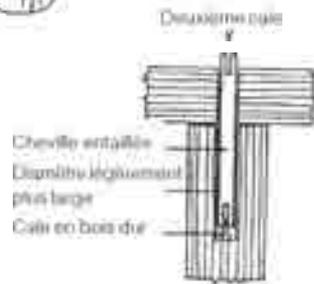
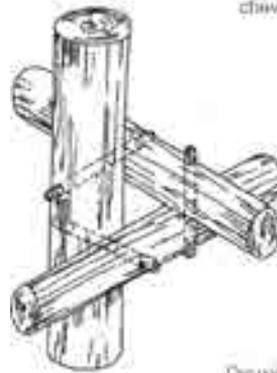
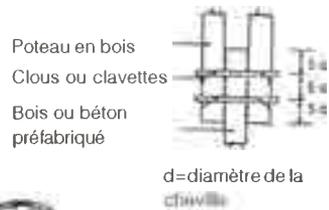
part des applications et des différentes espèces d'arbre, 2 plaques de 1 mm permettent d'obtenir des connexions suffisamment résistantes. Pour une question de coûts, il est préférable d'augmenter le nombre de plaques de 1 mm, plutôt que de prendre des plaques plus épaisses. Les bois durs peuvent conduire à l'utilisation d'équerres de grande dimension, afin de travailler à un niveau de contraintes intéressant dans le bois.

- L'expérience montre que même en cas de fissuration initiale, les connexions à équerres cloués continuent à jouer leur rôle. Ce fait est d'importance, surtout dans les régions sujettes à des tremblements de terre ou à de violents vents.



Poteaux assemblés avec des chevilles (Bibl. 14.02)

- Les clous et les connecteurs sont souvent tout à fait impossibles à utiliser avec des espèces de bois durs et lorsqu'ils sont utilisés avec des bois tendres, ils tendent à sortir de leur logement si le bois se fend.
- Une alternative plus appropriée, développée à l'University of Nairobi, Kenya, est l'utilisation de chevilles enfoncées dans des trous préforés. Si la conception le permet, les chevilles seront en bois, car plus économique et non sujet à la rouille. Il faut cependant s'assurer de leur maintien en place par des clous ou des clavettes qui croisent la cheville selon différents angles.
- Pour maintenir la cheville en place, une autre solution consiste à forer un trou dans les extrémités de la cheville en bois et à y enfoncer des cales en bois dur. Le trou dans lequel la cheville en bois est enfoncée peut alors être légèrement plus large pour la facilité et la rapidité d'exécution.
- Lorsque la solidité des connexions est vitale, il est préférable d'employer des assemblages boulonnés, même s'ils sont très chers. Les boulons coûtent 3 à 4 fois plus que la quantité d'acier doux dont ils sont faits. L'utilisation de chevilles tirées de barres de fer rectilignes est économique et tout aussi efficace. Pour empêcher qu'elles ne glissent hors de leur logement, des trous de 10 à 12 mm de profondeur sont forés dans leurs extrémités. Ensuite, deux traits de scie croisés divisent les extrémités en 4 languettes, lesquelles sont rabattues au-dessus d'une rondelle préalablement passée autour de la cheville mise en place.

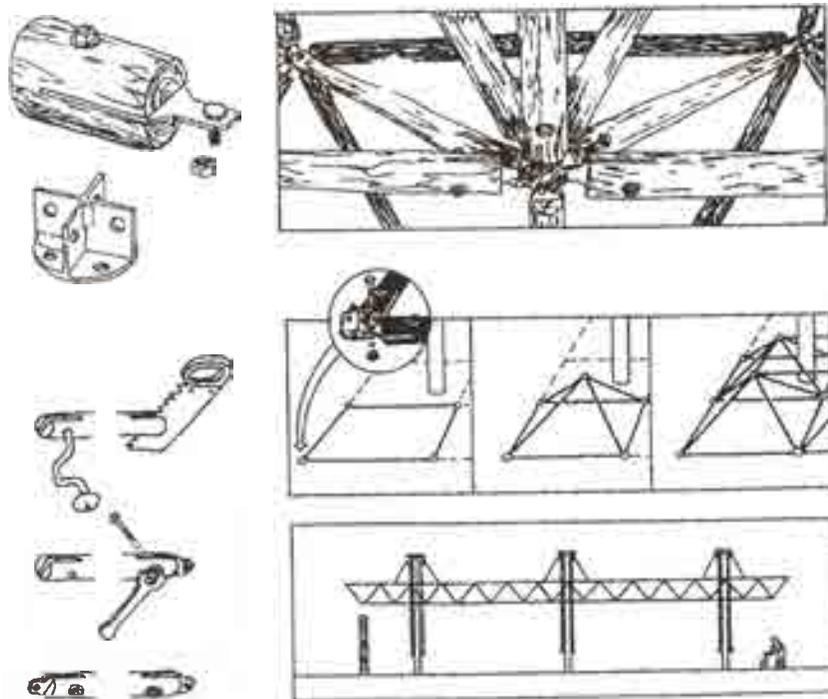


Connexion pour treillis tridimensionnels (Bibl. 23.10)

- Habitröpic en Suède a développé une méthode qui permet de couvrir de grandes surfaces (espaces de réunion, ateliers, marchés, etc.) avec des treillis tridimensionnels composés de poteaux de petites dimensions. Le système est basé sur des connecteurs qui permettent un assemblage tridimensionnel. Le connecteur est composé d'une croix soudée en acier et de languettes d'assemblage avec vis, rondelles et écrous.
- Les poteaux sont tous coupés à une longueur de 1,5 m. Chaque extrémité est rainurée à la scie et perforée d'un trou pour le

passage des vis. Les extrémités rainurées sont équipées d'une languette d'assemblage métallique, fixée avec vis, rondelle et écrou. Après préfabrication de l'ensemble des poteaux nécessaires, la structure tridimensionnelle est assemblée au sol, directement sous son emplacement définitif. Un système à poulies est employé pour la hisser en position.

- Avec des poteaux de 5 à 6 cm de \varnothing , le poids au m^2 d'une telle structure est d'environ 20 kg, et il faut approximativement 3,5 poteaux et 1,1 connecteur.

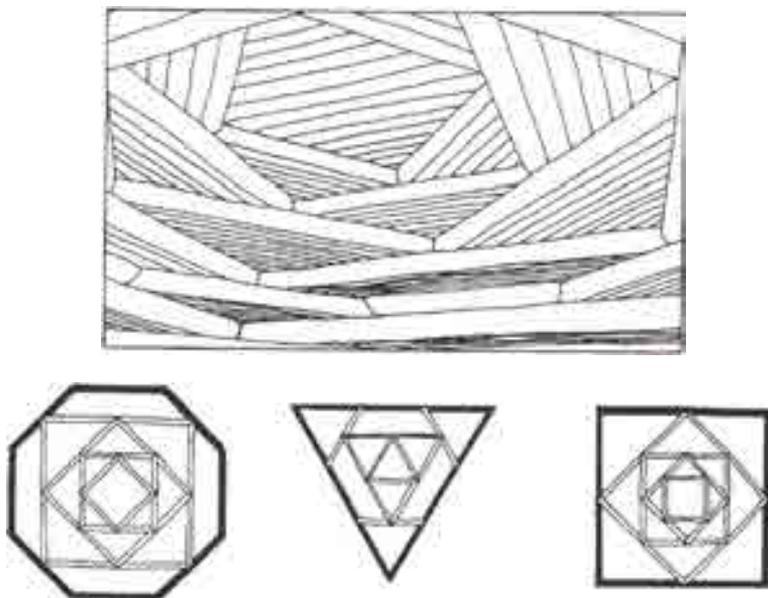


Couverture de type Hogan (Bibl. 23.16)

- Les Indiens Navajos d'Amérique du Nord construisent traditionnellement leurs maisons (Hogan) en appliquant la méthode présentée ici. Habituellement un hogan est une maison octogonale, couverte de plusieurs couches de poteaux en bois, posés en travers des angles de la couche précédente. À chaque nouvelle couche, l'ouverture du toit est donc réduite. La même technique peut être utilisée pour couvrir des espaces de forme triangulaire, carrée ou d'autres polygones, sans autre support que le périmètre du sommet des murs.
- En théorie, la stabilité d'une couverture bien conçue, dont les poteaux sont coupés et assemblés avec précision, pourrait être assurée avec seulement quelques as-

semblages boulonnés ou chevillés réalisés à certains endroits stratégiques. Pour éviter les mouvements latéraux excessifs, il est toutefois recommandé de fixer solidement chaque poteau à celui du dessous et ceci tout particulièrement dans les régions où tremblements de terre et ouragans sont à craindre.

- Traditionnellement, une couverture hogan est recouverte de terre pour une question d'inertie thermique (c'est avantageux lorsque la différence de température entre le jour et la nuit est importante). Il est aussi possible de réaliser des couvertures légères avec une faible inertie thermique. On se contente alors de recouvrir purement et simplement la structure d'une membrane étanche, elle-même recouverte d'un matériau léger (p. ex. lattis et bardeaux, nattes ou chaume).



COUVERTURES À BARDEAUX EN BAMBOU OU EN BOIS

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Couvertures attrayantes et durables faites d'éléments remplaçables
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications traditionnelles
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils pour la coupe du bambou et la taille de bardeaux, marteau
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Dépend de la fixation
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Climat chaud et humide ou montagneux
Degré d'expérimentation	Procédé très répandu

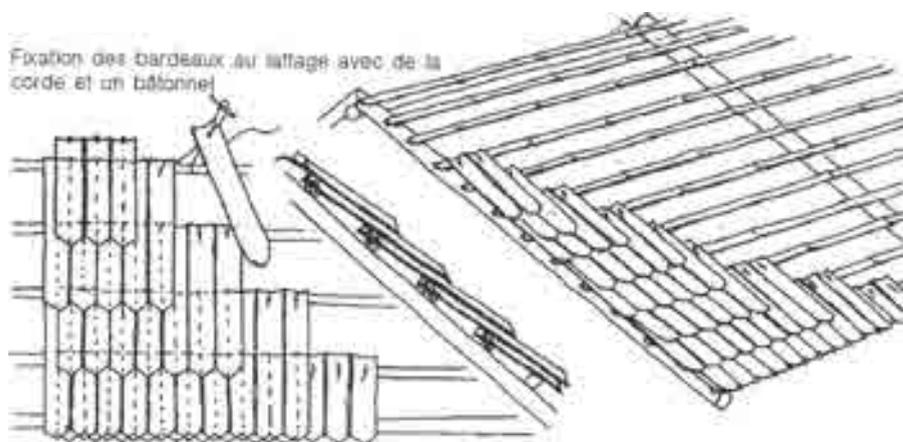
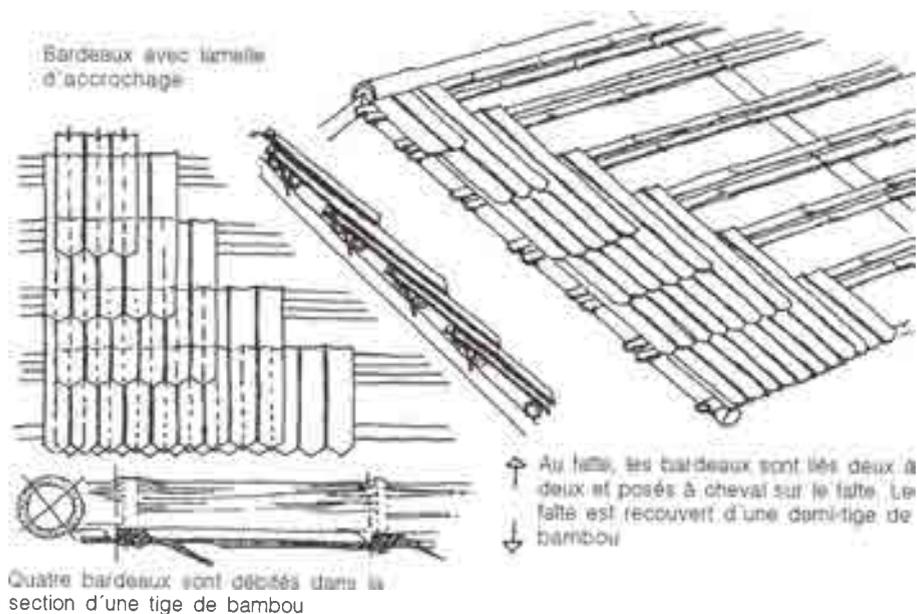
BRÈVE DESCRIPTION :

- Les bardeaux sont utilisés pour la couverture de toitures inclinées (et très souvent de murs). Ils sont posés sur un lattage soit en bambou, soit en bois. L'aspect en écailles est typique de ce type de couverture. Toutefois, certains bardeaux en bambou ressemblent davantage à des tuiles espagnoles.
- Des tronçons de tiges de bambou ou de grumes sont coupés à dimensions voulues pour y débiter (dans le sens des fibres) les bardeaux. Les tronçons de bambou sont fendus en 2 ou 4 segments d'arc, tandis que les tronçons de grume sont débités en plaques, avec un couteau spécial et d'un marteau.
- Les bardeaux en bambou sont fixés avec des clous ou de la corde solide. Le lien traverse le bardeau par un trou préforé. Les quartiers de bambou peuvent aussi être accrochés au lattage, en dégageant une lamelle par une entaille superficielle (voir illustration page suivante).
- Les bardeaux en bois sont eux simplement cloués sur le lattage. La déformation des bardeaux, due au séchage du bois, doit être prise en considération au moment de la pose.
- La pente minimale d'une couverture à bardeaux est de 45°. Des bardeaux en bois ou en bambou, imprégnés sous pression, peuvent admettre de plus faibles pentes. Cette pratique n'est cependant pas conseillée, d'abord pour une question de coûts et ensuite parce que la protection chimique est progressivement délavée par les pluies (du coup l'eau de pluie ne peut plus être récoltée).

Pour de plus amples informations: «The Shingle Roofing Manual» (disponible au Forest Products Research Centre, Box 1358, Boroko, Papua New Guinea); Bibl. 00.16, 23.24.

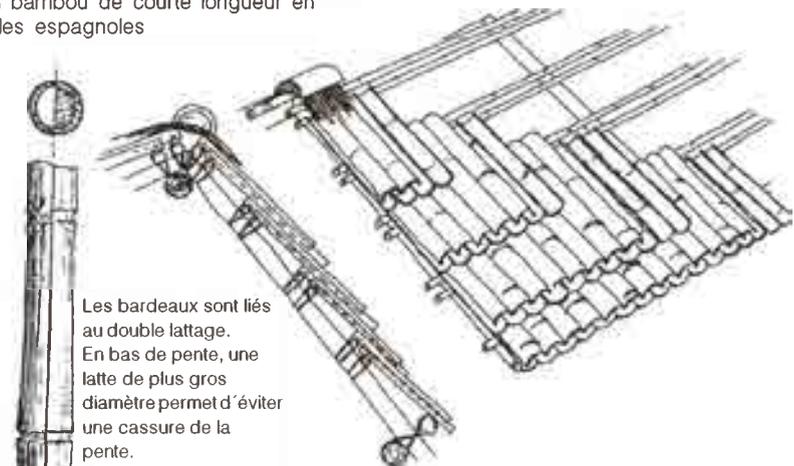


Bardeaux en bambou avec fixations par lamelles ou par corde (Bibl. 23.24)



Bardeaux en bambou en forme de tuiles espagnoles (Bibl. 23.24)

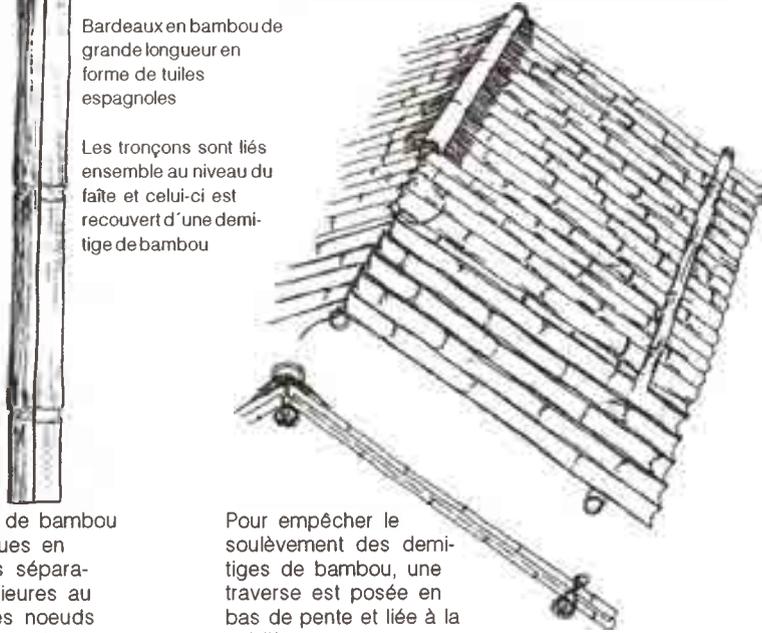
Bardeaux en bambou de courte longueur en forme de tuiles espagnoles



Les bardeaux sont liés au double lattage. En bas de pente, une latte de plus gros diamètre permet d'éviter une cassure de la pente.

Bardeaux en bambou de grande longueur en forme de tuiles espagnoles

Les tronçons sont liés ensemble au niveau du faite et celui-ci est recouvert d'une demi-tige de bambou

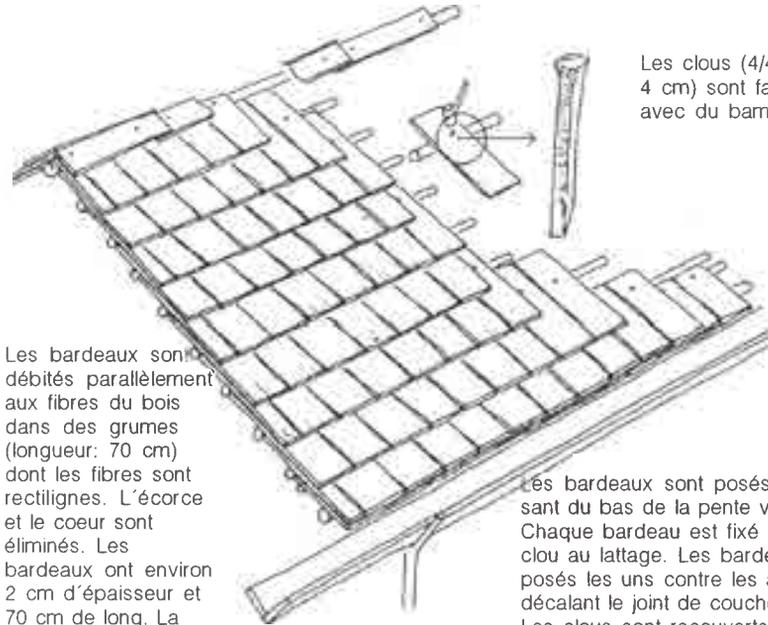


Les tiges de bambou sont fendues en deux. Les séparations Intérieures au niveau des noeuds sont supprimées

Pour empêcher le soulèvement des demi-tiges de bambou, une traverse est posée en bas de pente et liée à la sablière



Bardeaux en bois (Bibl. 23.24)



Les clous (4/4 mm sur 4 cm) sont fabriqués avec du bambou sec

Les bardeaux sont débités parallèlement aux fibres du bois dans des grumes (longueur: 70 cm) dont les fibres sont rectilignes. L'écorce et le cœur sont éliminés. Les bardeaux ont environ 2 cm d'épaisseur et 70 cm de long. La largeur peut varier

Les bardeaux sont posés en progressant du bas de la pente vers le faite. Chaque bardeau est fixé avec un unique clou au lattage. Les bardeaux sont posés les uns contre les autres en décalant le joint de couche en couche. Les clous sont recouverts par la couche suivante. Lorsque la surface supérieure est détériorée, les bardeaux sont démontés et reposés, face inférieure vers le dessus



Fibres courtes vers le bas

Fibres courtes vers le bas; pose espacée

Position des fibres courtes, alternée de couche en couche



Les clous ne peuvent pas traverser 2 bardeaux

COUVERTURE EN TOILES ONDULÉES

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Couverture légère rapidement installée
Aspects économiques	Coûts moyens
Stabilité	Faible à moyenne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications moyennes en construction
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils de charpenterie
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Faible
Résistance à la pluie	Bonne mais couverture extrêmement bruyante
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Climat chaud et humide
Degré d'expérimentation	Procédé très répandu dans la plupart des pays

BRÈVE DESCRIPTION :

- Les tôles métalliques sont soit en fer galvanisé soit en aluminium. Les tôles en fer galvanisées sont susceptibles de rouiller rapidement si la couche de zinc n'est pas suffisamment épaisse (c'est souvent le cas des tôles peu chères). Les tôles en aluminium sont plus légères, plus durables et absorbent moins le rayonnement solaire. Elles sont aussi plus chères et consomment énormément d'énergie à la production.
- Les ondulations procurent aux fines tôles la rigidité qui leur permet d'enjamber, sans déformation apparente, l'espace entre 2 pannes. La tôle ondulée permet donc de couvrir de grandes surfaces avec une charpente minimale. La couverture est alors légère (favorable aux régions à risques sismiques) et économique (quantité de bois ou d'acier réduite pour la charpente).
- Les fines tôles ondulées sont souvent trop fragiles pour qu'on puisse circuler directement dessus et de fortes bourrasques peuvent les déformer, entraîner leur perforation ou les déchirer.
- Les problèmes principaux des couvertures en tôle métallique sont: l'important échauffement du volume couvert, lorsque le rayonnement solaire les atteint (phénomène moins marqué avec des tôles en aluminium); la condensation qui apparaît sur la face inférieure, lorsque les tôles refroidissent pendant la nuit; le bruit insupportable lors de fortes pluies; les dégâts causés par le tourbillonnement des tôles arrachées pendant les tempêtes tropicales; la médiocre résistance au feu.
- Une conception adéquate, des matériaux de qualité et une mise en oeuvre professionnelle permettent d'éviter beaucoup de ces problèmes.

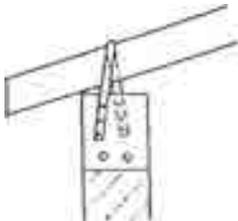
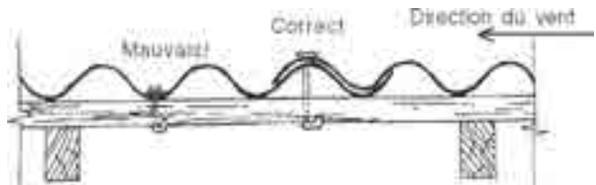
Pour de plus amples informations: Bibl. 00.48, 23.17, 25.06.



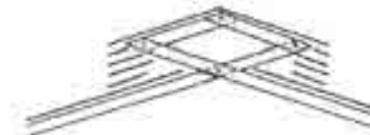
Réalisation de couvertures en tôles ondulées

- De telles couvertures sont à éviter dans les régions où le rayonnement solaire est intense (surchauffe des volumes couverts) et où se produisent de rapides changements de température (problème de condensation).
- Dans la plupart des cas, il est recommandé de réaliser un faux plafond (en matériau léger et réfléchissant) qui délimite un comble ventilé, lequel limite l'échauffement du volume habitable (l'air qui s'échauffe s'échappe, laissant place à de l'air frais).
- Le comble ventilé limite aussi le problème du bruit des pluies. La transmission de ce bruit peut aussi être atténuée par l'adoption de quelques dispositions:
 - réduction de l'espacement entre les pannes,
 - insertion de rondelles en feutre ou en caoutchouc aux points de suspension du faux plafond,
 - tôles épaisses fermement fixées par des crochets boulonnés.
- Pour éviter les dégradations dues aux bourrasques de vent, il est également conseillé d'utiliser des tôles épaisses, Solidement fixées par des crochets boulonnés (large tête de répartition appuyée sur une rondelle en feutre ou en caoutchouc pour éviter la corrosion due aux différences

L'ordre de recouvrement des tôles doit tenir compte de la direction des vents dominants.



Les chevrons doivent être solidement fixés par un étrier ou un fer d'armature ancré dans le mur. (Bibl. 25.06)



Un faîte ventilé améliore le climat interne et réduit la pression dans le comble. Cela permet de diminuer la pente de la toiture, si nécessaire. (Bibl. 25.06)

EXEMPLES DE SYSTEMES DE CONSTRUCTION



EDIFICES À VOÛTES ET COUPOLES EN BRIQUES DE TERRE CRUE

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Mise en oeuvre sans gabarit de centrage et sans coffrage
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Formation spécifique
Équipement(s) nécessaires(s)	Équipement pour la maçonnerie
Résistance sismique	Faible
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Dépend du revêtement extérieur
Résistance aux insectes	Moyenne à bonne
Climat(s) approprié(s)	Climat chaud et sec
Degré d'expérimentation	Technique traditionnelle dans des pays tels que l'Égypte et l'Iran

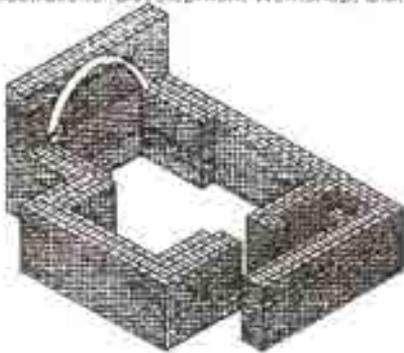
BRÈVE DESCRIPTION :

- Une fois achevées, les voûtes et les coupoles sont des constructions autoportantes. Cependant, en cours de construction elles requièrent normalement un dispositif temporaire de soutien et de centrage. Ainsi, d'ordinaire une voûte maçonnée est supportée par un ouvrage en bois de forme adéquate, jusqu'à achèvement et durcissement suffisant.
- Dans les pays où le bois est rare, ce type de mise en oeuvre est peu avantageux. Ainsi, en Égypte et en Iran, s'est développé un système, lequel permet de construire voûtes et coupoles sans soutènement ou coffrage.
- Les illustrations, présentées dans les pages suivantes, détaillent les étapes de la construction d'une petite maison. Celle-ci a été construite, en 1973 à New Gournà en Haute-Égypte, par les membres fondateurs du Development Workshop et quelques-uns de leurs amis. Ils ont travaillé comme apprentis aux côtés de 2 maîtres maçons nubiens spécialisés dans la mise en oeuvre des techniques utilisées (les Nubiens n'utilisent pas de coffrage pour la construction de voûtes et coupoles).
- La maison construite en briques de terre crue fut l'occasion, pour les « apprentis », d'acquérir la maîtrise des techniques de construction nubiennes, de les évaluer et de relever les rapports entre la portée des toitures, l'épaisseur et la hauteur des murs en briques de terre crue.
- Cette maison se trouve au milieu des constructions conçues par Hassan Fathy, qui fit revivre cette technique de construction dans les années 1940 (Bibl. 02.14).

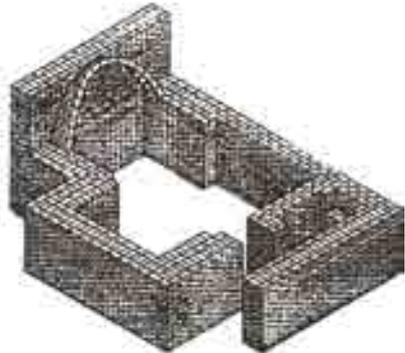


Étapes de construction d'une maison expérimentale à New Gournà en Haute-Égypte

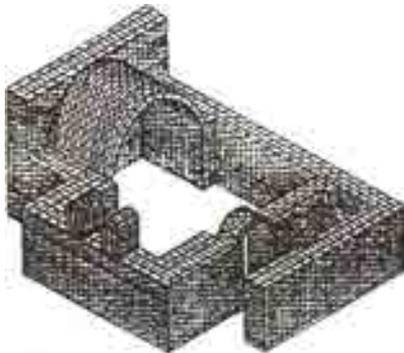
(Illustrations: Development Workshop, Bibl. 24.03)



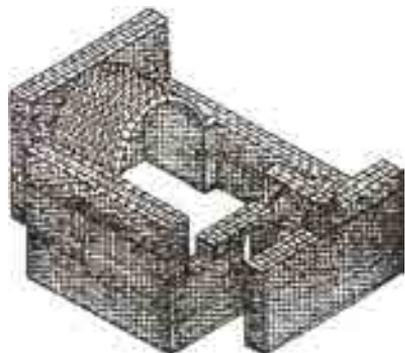
Construction des murs jusqu'au niveau de la naissance des voûtes. Le mur du fond est élevé jusqu'au niveau supérieur de la voûte à laquelle il sert de butée. Tracé de la courbe d'une chaînette inversée sur ce mur de butée.



Construction de la voûte, en inclinant les rangées en butée contre le mur du fond, pour se passer de coffrage.

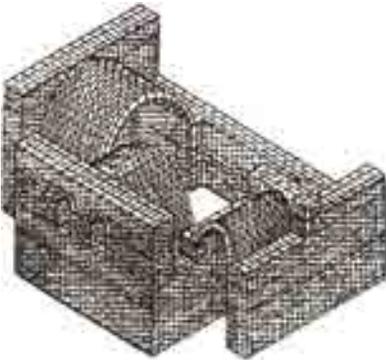


Voûte achevée: Les rangées de briques sont de moins en moins inclinées, jusqu'à devenir verticales à l'extrémité des murs porteurs.

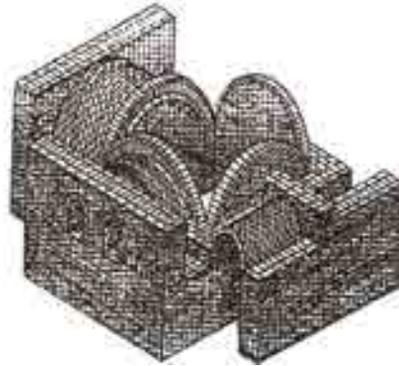


Élévation des murs. Construction des arcs au-dessus des ouvertures de fenêtres sur des empilements de briques sèches.

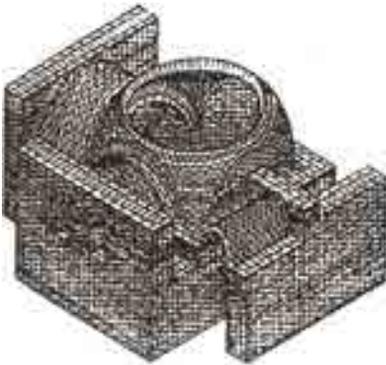
Des empilements de briques sèches sans mortier déterminent la forme et l'emplacement de l'embrasure des fenêtres.



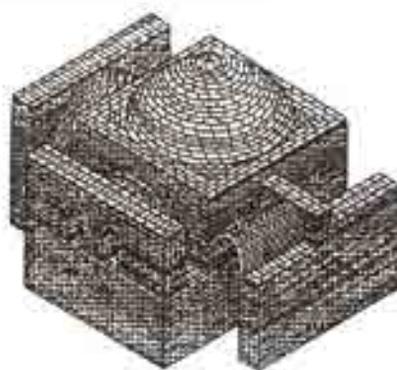
Les petites voûtes sont construites de la même façon que les grandes. Démontage des briques sèches empilées dans les embrasures



Des arcs circulaires sont construits sur les voûtes pour servir de base à la coupole.



Construction des pendentifs, jusqu'à obtenir une assise continue, pour l'achèvement de la coupole



Les assises de briques sont de plus en plus inclinées, jusqu'à achèvement de la coupole.

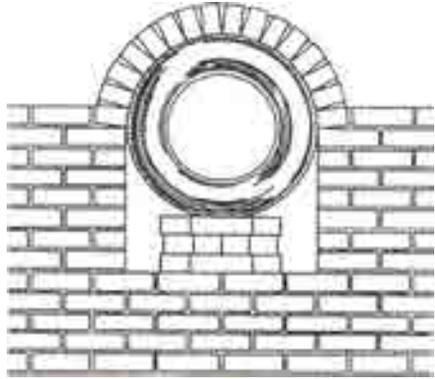
Pour de plus amples informations: Development Workshop (bureau de coordination au Canada), Box 133, 238 Davenport Road, Toronto, Ontario M5R 1J6, Canada ou (bureau pour l'Europe en France) B.P. 10 Montayral, 47500 Fumel, France.



Développements récents

Construction d'arcs avec pneus de voitures usagés (Bibl. 24.12)

De vieux pneus de voiture peuvent servir de coffrage à un arc surmontant une ouverture. Cette méthode, testée sur un projet en Inde (1986), est très facile à mettre en oeuvre. Les piédroits, distants d'une longueur égale au diamètre du pneu, sont élevés jusqu'à la hauteur des naissances de l'arc. Le pneu est posé sur un empilement à sec de briques, d'une hauteur telle, que le centre du pneu se trouve à la hauteur du sommet des piédroits. La construction de l'arc doit progresser simultanément de chaque côté du pneu, car le pneu se déformerait en cas de déséquilibre marqué du chargement. Les briques doivent être posées avec soin, de sorte que les arêtes inférieures se touchent entre elles sans laisser de joints ouverts. Le pneu étant flexible, il est facile à retirer.



Coupole à courbure en forme de chaînette

Un gabarit courbe (forme d'une chaînette), mobile autour d'un axe vertical et positionné au centre de la coupole à construire, permet de disposer les briques avec grande précision. La coupole ainsi obtenue ne travaille qu'en compression. Ce type de coupole est plus stable que les coupoles de forme hémisphérique.

Cette nouvelle méthode de construction a été développée et testée en 1987, au Research Laboratory for Experimental Construction, au Kassel College of Technology, en République Fédérale d'Allemagne, lequel est dirigé par le Prof. Gernot Minke.



CONSTRUCTIONS TERRE-BAMBOU ANTISISMQUES

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Autoconstruction à partir de matériaux locaux
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Travailleurs semi-qualifiés
Équipement(s) nécessaires(s)	Équipement traditionnel local pour la construction
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Faible à moyenne
Résistance à la pluie	Faible à moyenne
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Tous climats, sauf climat extrêmement humide
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

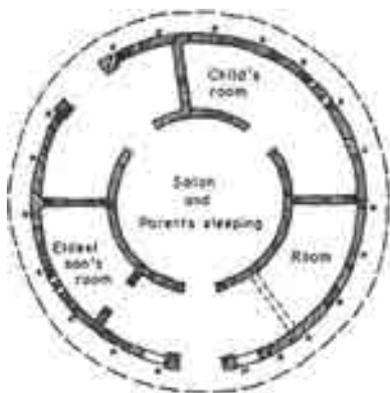
BRÈVE DESCRIPTION :

- Ce système de construction a été développé par John Norton du Development Workshop de France. Il a été mis en oeuvre dans le cadre d'un projet d'assistance technique de l'USAID, au Nord-Ouest de la Guinée, et cela, suite au tremblement de terre de 1983.
- L'habitat traditionnel de la région concernée utilise généralement des murs clayonnés et des toitures en chaume. Les mêmes matériaux, techniques et forme ont été maintenus pour que les nouvelles maisons soient acceptées par la population, tout en résistant aux tremblements de terre.
- Ainsi la solution adoptée, utilise des briques de terre séchée au soleil pour les murs, lesquels sont ensuite renforcés par l'assemblage d'une ossature en bambou sur leurs flancs. Les renforts en bambou étant visibles, il est facile d'en contrôler l'état et de les remplacer en cas de détériorations (termites...). Dans la plupart des cas, la structure interne et invisible en bambou était détruite dans les constructions traditionnelles, ce qui explique leur effondrement pendant le tremblement de terre.
- Ce système a permis de maintenir la forme et la couverture en chaume de l'habitat traditionnel, de sorte que les nouvelles maisons furent acceptées par la population.

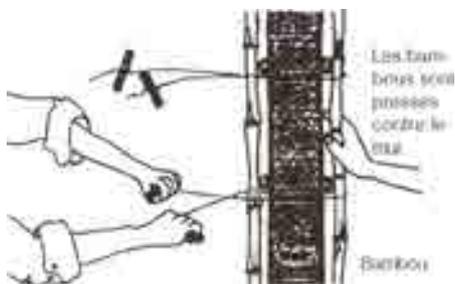
Pour de plus amples informations: John Norton, Development Workshop, B.P. 10 Montayral, 47500 Fumel France; Bibl. 24.13, 24.14, 25.10.



Vue en coupe et en plan d'une maison ronde traditionnelle, région de Koumbia

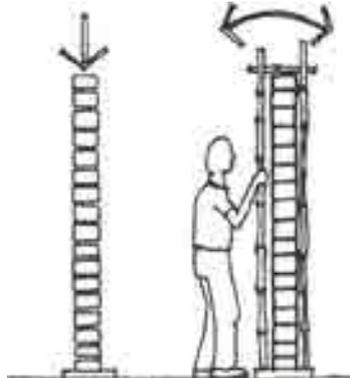


Mur, en briques de terre crue, avec ossature en bambou, résistant aux tremblements de terre (Bibl. 24.13, 24.14)



Mur porteur en briques

L'ossature aide au maintien du mur en cas de secousses



Les bambous sont fixés en tirant sur les poignées attachées au lien et en torsadant ses extrémités



Ligature de l'ossature en bambou, avec des boucles en fil de fer passées au travers du mur en briques pendant la construction



Détail du renfort en bambou: Les dégradations dues aux termites ou à d'autres facteurs sont immédiatement détectées et les membrures endommagées facilement remplacées.





Construction de l'ossature du toit en bambou, après achèvement des murs d'adobes renforcés de bambou



«Case» achevée (maison traditionnelle ronde)

MAISON EN BRIQUES D'ADOBE

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Système de construction traditionnel amélioré
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Savoir faire traditionnel en construction
Équipement(s) nécessaires(s)	Coffrage pour briques et béton, équipement pour la construction
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Dépend de la stabilisation de la terre
Résistance aux insectes	Moyenne à bonne
Climat(s) approprié(s)	Tous climats, sauf climat extrêmement chaud et sec
Degré d'expérimentation	Applications en nombre croissant

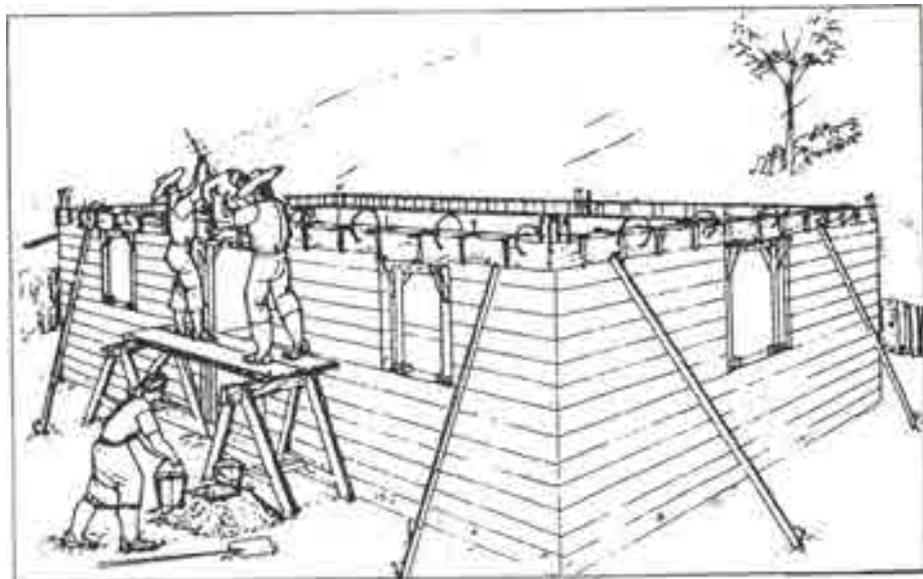
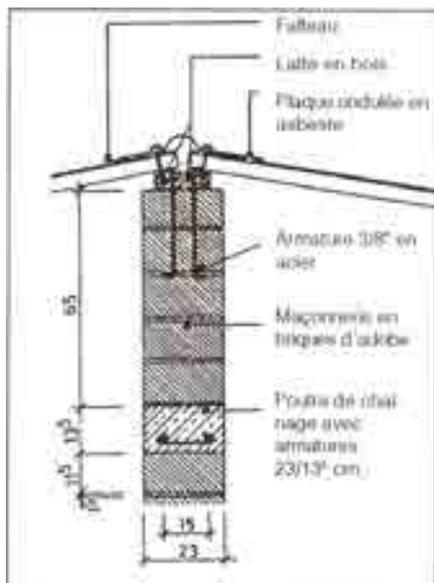
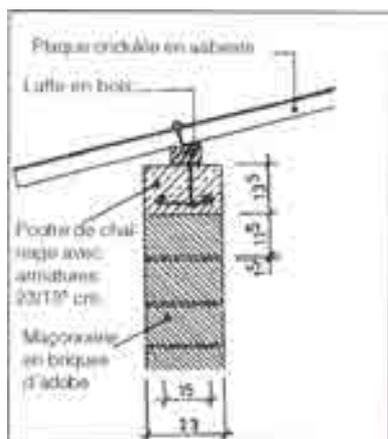
BRÈVE DESCRIPTION :

- Ce système de construction a été mis en oeuvre dans le cadre d'un projet de développement de l'habitat au Salvador (Amérique Centrale). Le projet était initié par le GATE et conduit par l'Institute for Tropical Building de Starnberg en République Fédérale d'Allemagne, dirigé par le Dr.Ing. Georg Lippsmeier.
- Le but était d'améliorer la résistance aux tremblements de terre des maisons traditionnelles en briques d'adobe, construites en autoconstruction, tout en limitant l'augmentation du coût.
- Les améliorations apportées furent les suivantes:
 - Stabilisation à la chaux des briques en terre crue produites sur le site
 - Fondations et poutres de chaînage en béton armé
 - Ancrage solide de la toiture dans les murs porteurs

Pour de plus amples informations: GATE, Postfach 5180, 65726 Eschborn, République Fédérale d'Allemagne; Bibl. 00.15, 24.01.



Détails de construction: mur, poutre de chaînage et toiture



CONSTRUCTION EN BLOCS DE TERRE À EMBOÎTEMENT ET OSSATURE INTERNE

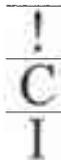
MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Résistant aux tremblements de terre, ossature légère, assemblage facile
Aspects économiques	Faible coût
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications moyennes en construction
Équipement(s) nécessaires(s)	Presse à brique, équipement élémentaire pour la construction
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Dépend de la stabilisation de la terre
Résistance aux insectes	Moyenne à bonne
Climat(s) approprié(s)	Tous climats, sauf climat extrêmement chaud et sec
Degré d'expérimentation	Applications dans des projets d'assistance en Afrique

BRÈVE DESCRIPTION :

- Les éléments clés de ce système sont des connecteurs creux en acier et des blocs en terre de forme spéciale. Ces briques sont produites avec une presse manuelle, laquelle est équipée d'un jeu de pièces qui permet de produire les différents modules du système.
- Les connecteurs en acier, de section carrée ou circulaire, permettent l'assemblage d'une ossature faite de membrures rectilignes (tubes carrés ou ronds, avivés, ou tiges de bambou). Cette ossature porte une couverture légère en tôles ondulées en aluminium.
- Les blocs en terre produits avec la presse MARO (voir ANNEXES), sont conçus pour envelopper l'ossature et former des murs durables. Ce système est particulièrement adapté à des projets de construction en zone sinistrée. La cargaison d'un camion (connecteurs, tôles de couverture et quelques presses) suffit à la construction d'un groupe de maisons, en utilisant la terre et du bambou trouvés sur place.
- L'ossature doit être posée sur des semelles de fondations en béton, sauf s'il s'agit de constructions temporaires, qui peuvent se passer de fondations.
- Les murs peuvent être initialement réalisés avec des bâches en plastique (situation d'urgence), qui sont ensuite progressivement remplacées par des blocs en terre crue ou en argile cuite, selon les possibilités locales. Des camps de tentes érigés à la hâte pour des réfugiés, peuvent donc progressivement se transformer en habitat permanent, par autoconstruction et à faible coût. Des extensions sont possibles dans toutes les directions.

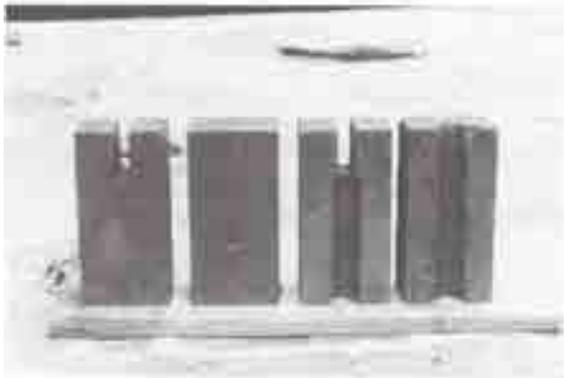
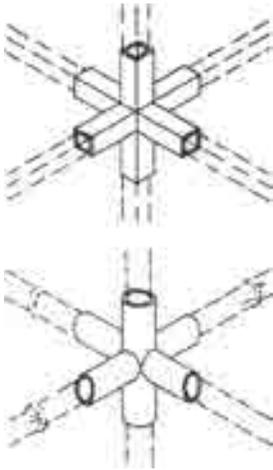
Pour de plus amples informations: Mark Klein, MARO Entreprise, 95 bis Route de Suisse, CH-1290 Versoix (Genève), Suisse.



Système de construction MARO

*Presse à briques avec pièces rapportées
Différents modules de briques
Ossature achevée*

Connecteurs en acier de section carrée ou circulaire



*Construction d'un mur à
briques en terre, emboîtées avec
l'ossature*



SYSTÈME LOK BILD

MOTS CLÉS :

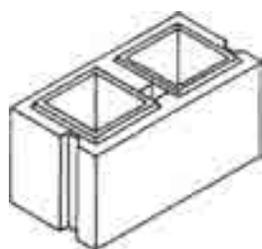
Propriétés particulières	Blocs à emboîtement, haute résistance, assemblage facile
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications moyennes en construction
Équipement(s) nécessaires(s)	Moule et coffrages spéciaux, Standard pour la construction
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Très bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Applications en augmentation; Système très largement testé

BRÈVE DESCRIPTION :

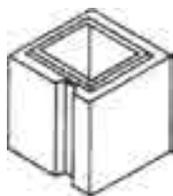
- Le système LOK BILD a été développé par le Dr. Bruce Etherington de AIT Bangkok et l'University of Hawaii. Il a été testé en Malaisie, en Thaïlande et aux Philippines avec du béton de ciment et dans les Emirats Arabes Unis avec du béton de soufre.
- Les blocs creux, conçus pour être assemblés sans mortier, permettent de réaliser des murs parfaitement plans, sans qualification particulière en maçonnerie. Le système fait aussi appel à des poutres préfabriquées en béton, ainsi qu'à des blocs en U. Les poutres, emboîtées dans les murs en blocs de béton, portent planchers et toitures réalisés in-situ. Placés au sommet des murs, les blocs en U servent à la réalisation des poutres de chaînage en béton armé.
- Les blocs à emboîtement sont pourvus d'étroits canaux verticaux, situés aux extrémités, ainsi qu'en partie centrale du bloc. Lorsque les blocs sont assemblés, les canaux se superposent. Ils forment des conduits verticaux rectilignes sur toute la hauteur du mur. L'injection d'un coulis de ciment dans ces conduits solidarise définitivement les blocs entre eux. Partout où c'est nécessaire (c.-à-d. aux angles du bâtiment, aux croisements de murs, aux piédroits des portes et fenêtres), les larges évidements des blocs peuvent être remplis de béton armé, pour rendre la construction résistante aux tremblements de terre.

Pour de plus amples informations: Dr. A. Bruce Etherington , Human Settlements Division, Asian Institute of Technology, P.O. box 2754, Bangkok 10501, Thaïlande; Bibl. 24.05.

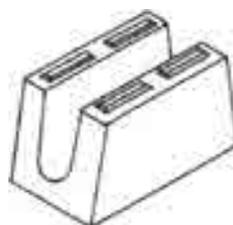




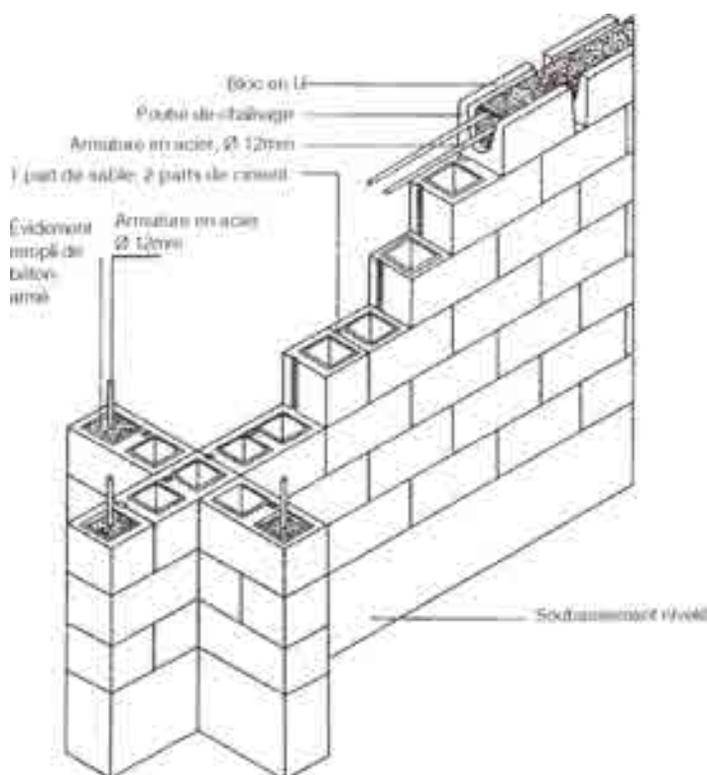
Bloc ordinaire



Demi-bloc

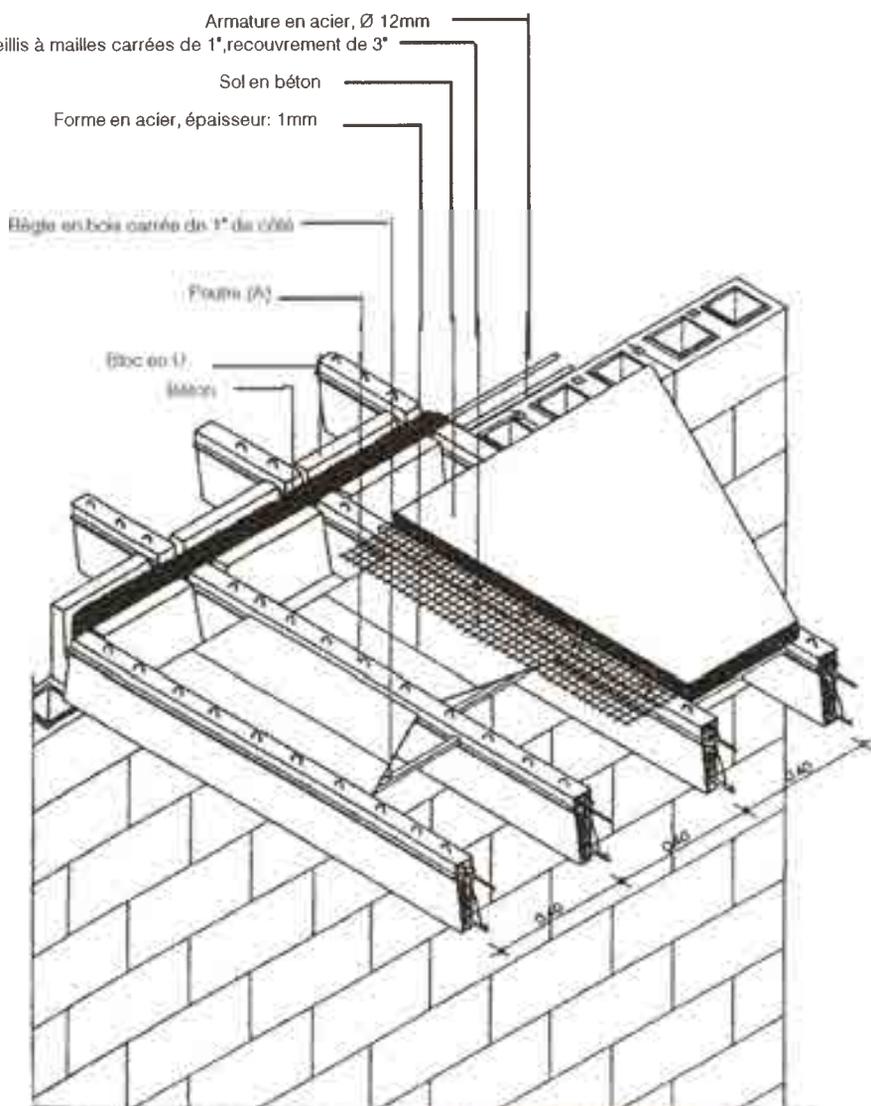


Bloc en U

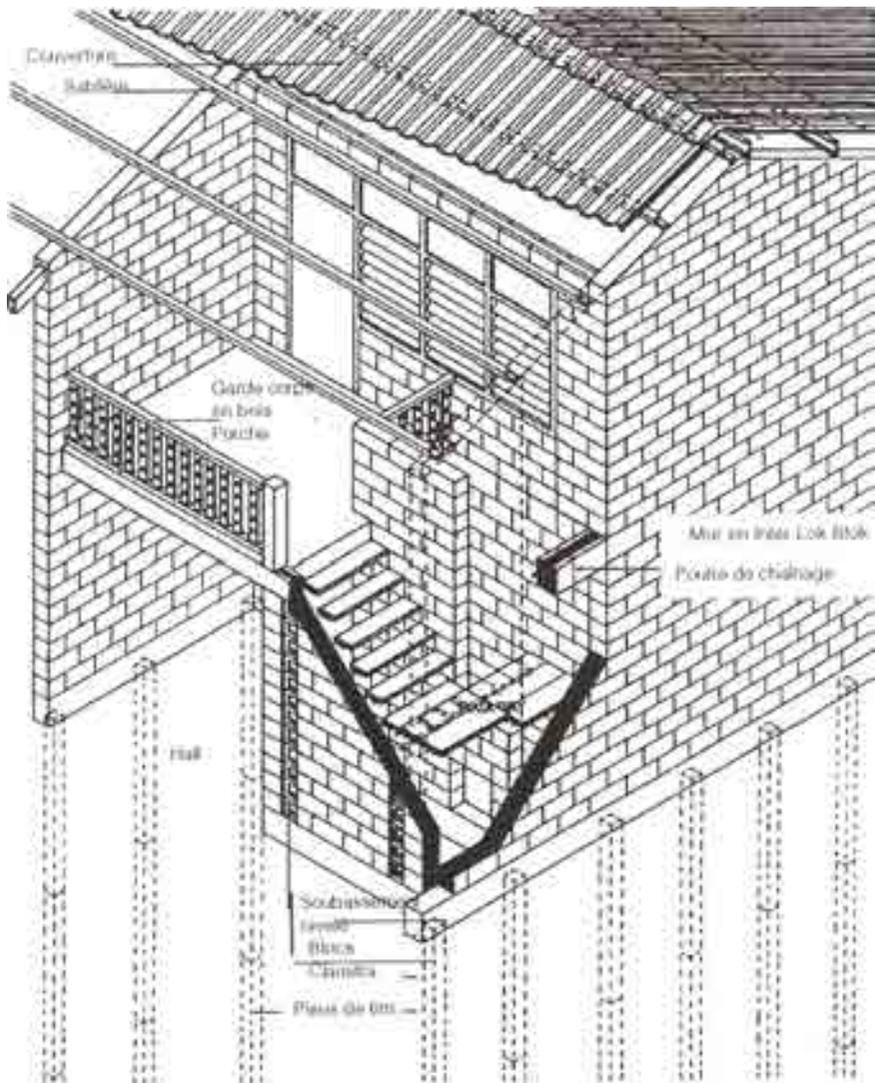


Assemblage de LOK BILD
(Bibl. 24.05)

Réalisation d'un plancher



Maison LOK BILD



MAISON EN PANNEAUX DE BÉTON

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Préfabrication, assemblage rapide
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualification moyenne en construction
Équipement(s) nécessaires(s)	Coffrage pour béton et équipement standard pour la construction
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Très bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tous climats, sauf climat très chaud et sec
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

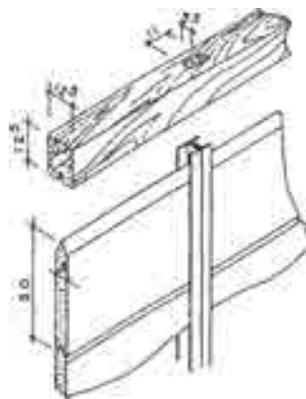
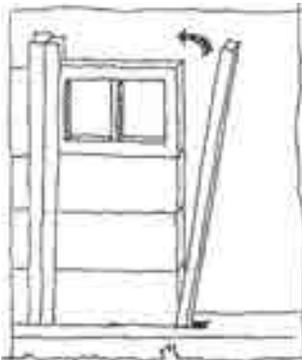
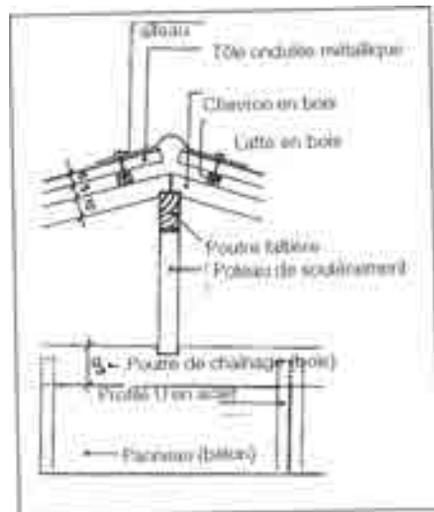
BRÈVE DESCRIPTION :

- Ce système de construction a été mis en oeuvre dans le cadre de projets de développement de l'habitat au Nicaragua et en Colombie. Ces projets étaient initiés par le GATE et dirigés par ARCO Grasser et Partner, de Munich en République Fédérale d'Allemagne.
- Le système de construction devait répondre à certaines exigences, dont les principales étaient :
 - bâtiments résistants aux tremblements de terre,
 - préfabrication simple des éléments,
 - mise en oeuvre rapide.
- La solution proposée a consisté, pour les murs: en panneaux de béton armé maintenus par des poteaux verticaux (profilés U en acier) et pour la toiture: en une charpente en bois recouverte de tôles ondulées.
- Les panneaux en béton armé sont préfabriqués et s'emboîtent l'un à l'autre, grâce à leurs bordures profilées en rainure et languette. Après assemblage, le joint est scellé avec un mortier de ciment. La poutre de chaînage est réalisée soit en avivé, soit en béton coulé sur site. L'épaisseur des cadres en bois des portes et fenêtres est identique à celle des panneaux, de sorte que ces éléments peuvent aussi s'insérer dans les poteaux métalliques verticaux.
- D'autres matériaux que le béton armé peuvent être utilisés pour produire les panneaux préfabriqués. Citons p. ex.: le bois, le bambou, du béton ponce, le ferrociment ou d'autres matériaux disponibles localement.

Pour de plus amples informations: GATE, Postfach 51 80, 65726 Eschborn, République Fédérale d'Allemagne; Bibl. 24.02.



Détails de construction: mur, poutre de chaînage et toiture
(Bibl. 24.02)



SYSTÈME SBB

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Autoconstruction, murs évidés, construire antisismique
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Maçons de qualifications moyennes
Équipement(s) nécessaires(s)	Presse PTC 180 de ESPACE 2001 (pressage des blocs SBB) et éventuellement pompe (injection du mortier)
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Très bonne à bonne selon la stabilisation de la terre
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Principalement climats chauds et secs
Degré d'expérimentation	Projets sur plusieurs centaines de logements en Erythrée

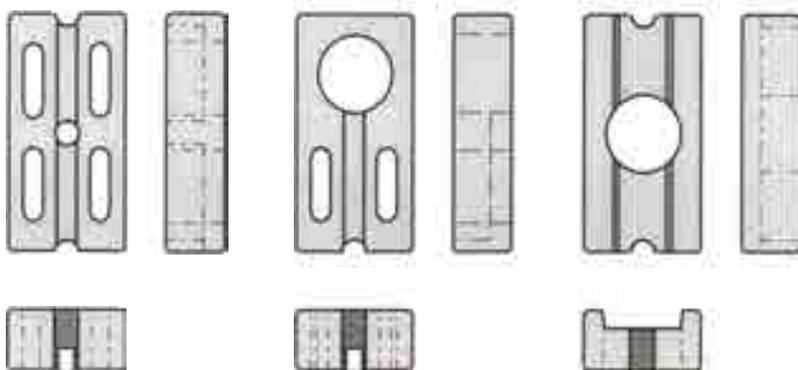
BRÈVE DESCRIPTION :

- Le système SBB permet de construire des maçonneries chaînées verticalement et horizontalement, à partir de 4 blocs de base en terre stabilisée: bloc standard, ½ bloc, bloc d'angle et bloc chaînage.
- Les blocs sont montés à sec: alignement des blocs et superposition décalée des assises, sans mortier. Cela exige un soubassement bien nivelé, mais ensuite l'élévation des murs est rapide et elle ne requiert pas une main d'oeuvre très qualifiée. Toutes les 2 ou 3 assises, la coulée d'un mortier liquide assure, après durcissement, la solidarisation des blocs. Le mortier, introduit dans les ouvertures prévues à cet effet, se répand verticalement et horizontalement dans la maçonnerie.
- Le ½ bloc permet de décaler les joints verticaux, le bloc d'angle sert à réaliser des poteaux armés, tandis que le bloc de chaînage permet de réaliser, outre le chaînage, des linteaux et des poutres.
- Parce que la terre est comprimée sous hypercompression, une stabilisation à 5 ou 6 % de ciment suffit généralement et les enduits de finitions peuvent être évités (esthétique parfaite des blocs: surfaces lisses, arêtes nettes).
- Le système SBB convient aux régions sismiques, car le bloc d'angle et le bloc de chaînage permettent de chaîner la maçonnerie verticalement et horizontalement (Etude du prof. De Vos F. de l'Université Libre de Bruxelles). Les chaînages étant internes à la maçonnerie, ils ne perturbent pas l'apparence maçonnée des bâtiments.
- Grâce aux écrans d'air internes (évidements latéraux formant des conduits verticaux), les maçonneries en système SBB sont aussi stables, mais plus isolantes que des maçonneries de même largeur réalisées dans le même matériau. Ces conduits verticaux permettent aussi le passage de tuyaux électriques et de plomberie.

Pour de plus amples informations: M Taddei Serge, ESPACE 2001, 5 Boulevard Royal, Royal Rome II, L-2449 Luxembourg



longueur = 40 cm; largeur = 20 cm; hauteur = 10 cm



Bloc SBB Standard

Bloc SBB d'Angle

Bloc SBB de chaînage

CONSTRUCTION LÉGÈRE EN FERROCIMENT

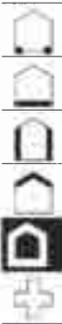
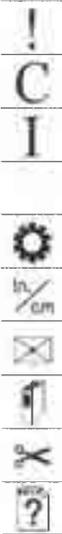
MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Murs minces mais très rigides
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications moyennes en construction
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils élémentaires pour la construction
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	Climat chaud et humide
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

BRÈVE DESCRIPTION :

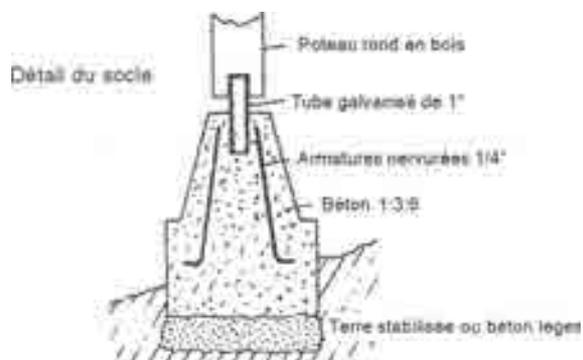
- En 1977, Richard Holloway a construit une petite maison en ferrociment, sur l'île de La Dominique dans les Caraïbes.
- Des poteaux ronds en bois, faciles à se procurer, ont été utilisés pour l'ossature du bâtiment. Du treillis de poulailler, déployé entre les poteaux, a été enduit avec un mortier de ciment (première couche grossière et seconde couche bien lissée). L'ossature en bois est restée apparente.
- La protection des poteaux contre la pluie et l'attaque des termites a été soignée, en posant les poteaux sur des morceaux de tuyau galvanisé, lesquels sont noyés dans un socle apparent en béton.
- La couverture a été réalisée en tôles ondulées, en laissant un espace de ventilation au niveau du faite. Planchers, portes et fenêtres ont été fabriqués à partir de planches de récupération (bois de qualité inférieure, et vieilles caisses), ce qui après une couche de peinture se remarque à peine.

Pour de plus amples informations: Bibl. 24.09.



Détails de construction

(Bibl. 24.09)



Ossature en bois terminée



Maison en ferrociment achevée

SYSTÈME DE CONSTRUCTION FIBRACRETO

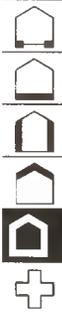
MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Maisons confortables
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications en maçonnerie
Équipement(s) nécessaires(s)	Équipement de maçonnerie
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Procédé très répandu

BRÈVE DESCRIPTION :

- Ce système de construction, breveté au Pérou sous le nom de FIBRACRETO, combine des panneaux en copeaux de bois agglomérés au ciment, avec des colonnes et poutres en béton armé (Bibl. 24.15).
- Le système FIBRACRETO peut être utilisé pour construire des maisons de 1 à 2 niveaux. Il permet de réduire les coûts de 35 à 40%, comparativement aux constructions conventionnelles.
- Des plates-formes de 10 cm d'épaisseur, renforcées au droit des murs (en partie inférieure et supérieure), tiennent lieu de fondation.
- Les panneaux en copeaux de bois et ciment (7,5 x 50 x 200 cm) sont assemblés avec un joint de mortier horizontal et maintenus avec des coffrages en bois. Une fois que les murs sont assemblés, les colonnes en béton, espacées de 200 cm, sont réalisées en remplissant les coffrages de béton,.
- Le toit, plat ou en pente, est réalisé avec les mêmes panneaux en copeaux de bois aggloméré au ciment (ou de plus épais), lesquels sont supportés par des poutres en béton armé coulées sur site.
- Le toit et les murs sont enduits avec un mortier de ciment.

Pour de plus amples informations: L.R. & T. Arquitectura y Construcción S.A., Arq. Manuel I. de Rivero D'Angelo, Shell # 319 - 702 Miraflores, Lima, Pérou.



Système de construction FIBRACRETO



CONSTRUCTION EN BÉTON ARMÉ DE BAMBOU

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Plus économique que d'autres structures de solidité comparable
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications pour construction en bambou et en maçonnerie
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils pour la charpenterie et la maçonnerie
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Tous climats, sauf climat très chaud et sec
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

BRÈVE DESCRIPTION :

- La maison en béton armé de bambou présentée à la page suivante, a été construite en 1976, entre autres par Dr. U.C. Kalita (Bibl. 24.11), du Regional Research Laboratory de Jorhat (Assam) en Inde.
- Une ossature en bois d'oeuvre de seconde qualité est montée sur une assise et un plancher en briques cuites, l'assise étant portée par une fondation en béton. L'ossature en bois sert de support à des panneaux de remplissage pour les murs et à des éléments de couvertures voûtés pour la toiture. Les panneaux et les éléments de couvertures sont réalisés avec un lattis en tiges de bambou fendues, lequel est crépi sur site avec un mortier au ciment.
- Le remplacement des armatures en acier par des tiges de bambou est d'un intérêt économique considérable, car l'acier est cher et souvent importé. Cependant, le retrait au séchage du bambou étant 4 fois plus important que celui du béton, il n'y a pas d'adhérence entre le bambou et le béton. De plus l'alcalinité du béton détruit progressivement les fibres de bambou qui perdent pour finir toute résistance.
- De récentes recherches (Bibl. 24.10) proposent quelques remèdes:
 - Enduire le bambou avec du bitume chauffé; Pour améliorer l'adhérence future avec le béton, recouvrir le bitume de sable, enfoncer dans la tige des clous de 25 mm ou lier de la corde en fibre de coco autour de la tige (développé par D. Krishnamurthy)
 - N'utiliser que la section extérieure du bambou (parce que sa résistance à la traction et son élasticité sont plus élevées); Torsader entre elles, les lattes tirées de la section extérieure des tiges de bambou (développé par O. Hidalgo López).

Des recherches complémentaires sont nécessaires et tout spécialement en ce qui concerne la détérioration des fibres.



Maison en béton armé de bambou (Bibl. 24.11)

Préparation du lattis en tiges de bambou fendues; Maison achevée



MAISONS EN BAMBOU

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Résistance élevée, flexibilité, nombreuses conceptions possibles
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Savoir faire traditionnel relatif au travail du bambou
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils pour la coupe, la fente et la ligature du bambou
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Dépend des mesures de protection
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Climat chaud et humide
Degré d'expérimentation	Procédés traditionnels

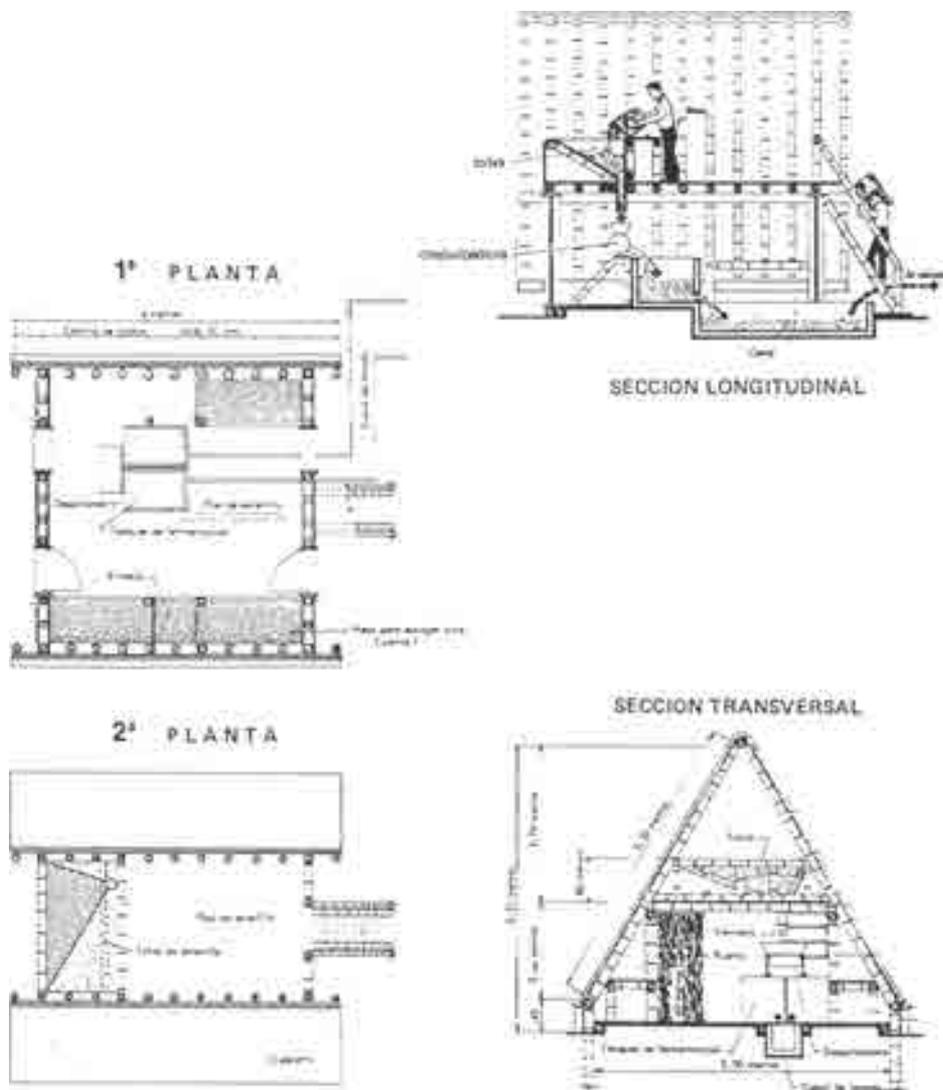
BRÈVE DESCRIPTION :

- Les exemples de maisons en bambou présentés dans les pages qui suivent, sont tirés de l'excellent ouvrage illustré sur la construction en bambou, de Oscar Hidalgo López (Bibl. 24.07).
- Tous les éléments de structure, ainsi que la plupart des éléments d'habillage (recouvrement des planchers et murs) sont en bambou. La quantité de bois d'oeuvre utilisée est minime et la couverture du toit peut être réalisée à partir de matériaux disponibles localement (p. ex. chaume, béton de fibre, ferrociment, tôles métalliques, mortier de ciment, ou bien même, mortier de terre stabilisé résistant à l'eau).
- La jonction des éléments en bambou entre eux est réalisée au moyen de matériaux souples (cordes ou fils résistants), de chevilles, de boulons, ou de clous. Le manuel cité ci-dessus présente un grand nombre d'assemblages.
- Etant donné la faible résistance du bambou face au feu et aux agressions biologiques, de telles constructions doivent faire l'objet de mesures de protection (voir chapitre consacré au Bambou).

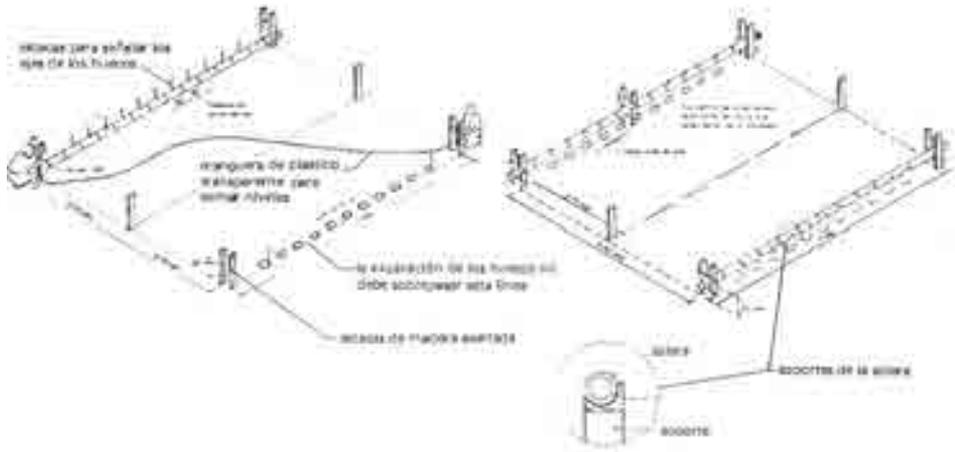
Pour de plus amples informations: Oscar Hidalgo López, Universidad Nacional de Colombia, Apartado Aéreo 54118, Bogotá, Colombia.



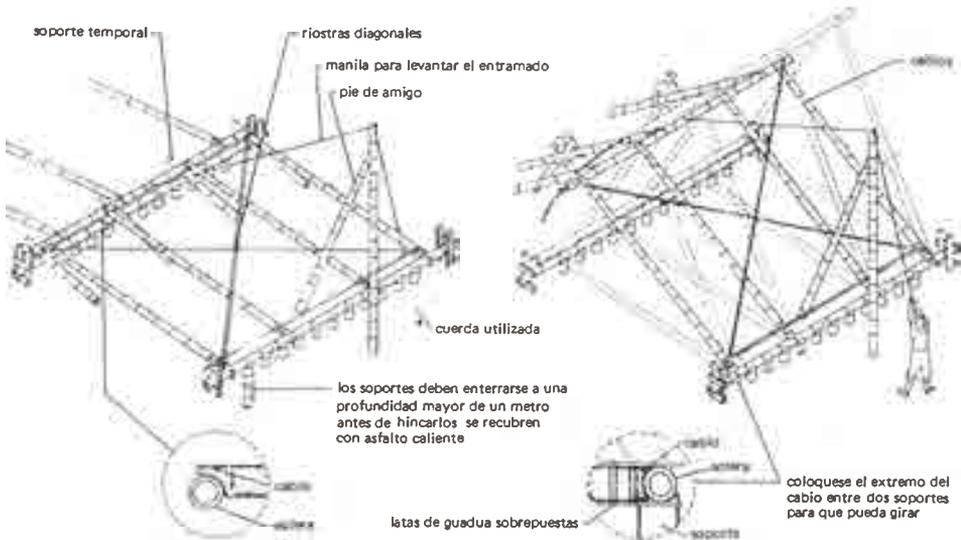
Construction d'une installation pour le traitement du café (convient aussi pour une habitation) (Bibl. 24.07)



Positionnement des supports et construction de l'ossature



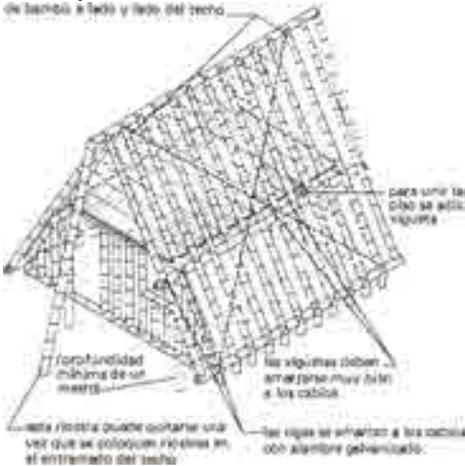
ERECCION DE LA ESTRUCTURA



Contreventement de la structure du toit et achèvement de la couverture (tiges de bambou fendues ou lattes en bois fixées avec des clous et du fil de fer, recouvert ensuite d'un mortier de ciment ou d'un mortier de terre stabilisée résistant à l'eau ou de chaume).

ARRIOSTRAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

riostras diagonales de alambre o latas de bambú a todo y lado del techo

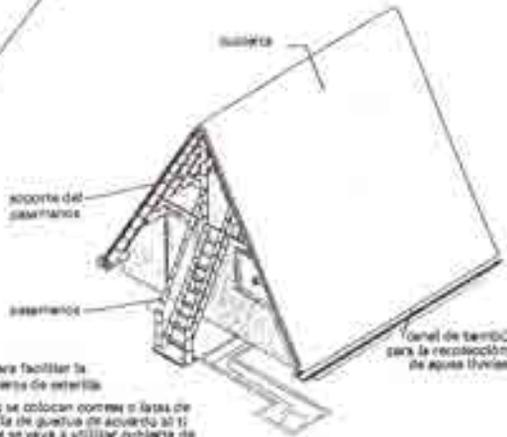


el medio de la tabla se revela por arriba



CONSTRUCCION DE LA CUBIERTA

la esterilla se fija a los cables con ductiles y alambre galvanizado



! C I

⚙️

In/cm

✉️

✂️

?

🏠

🏠

🏠

🏠

🏠

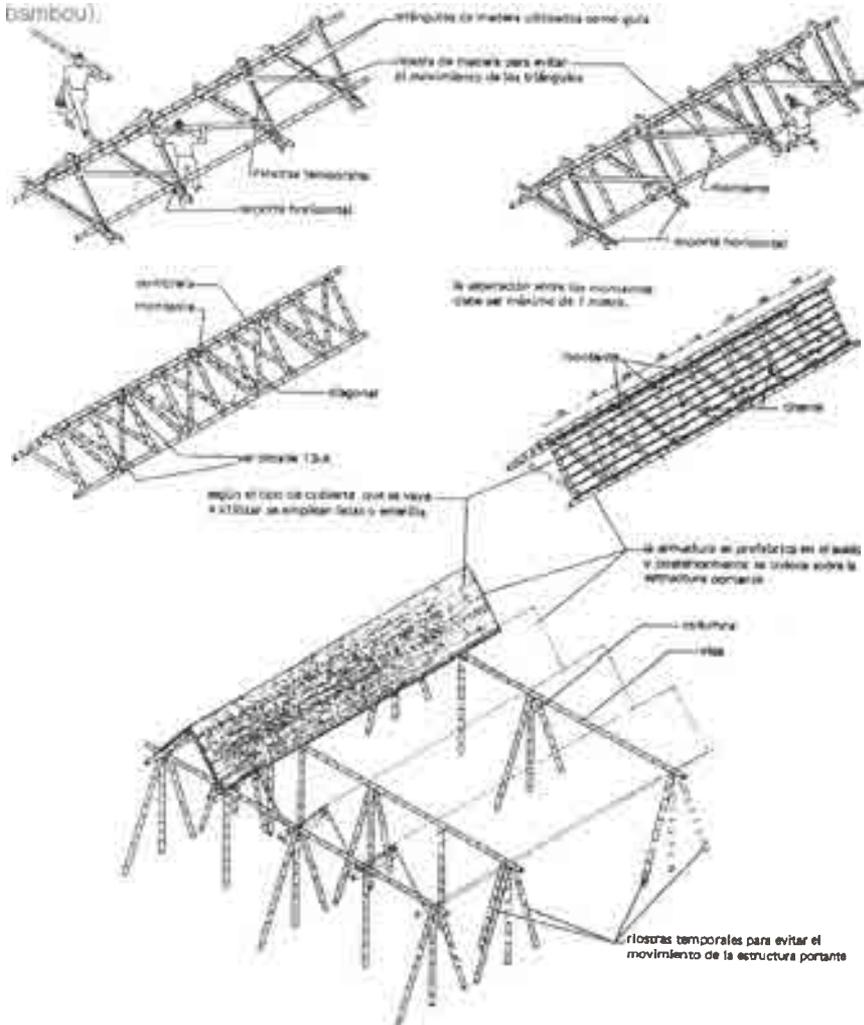
🏠

+

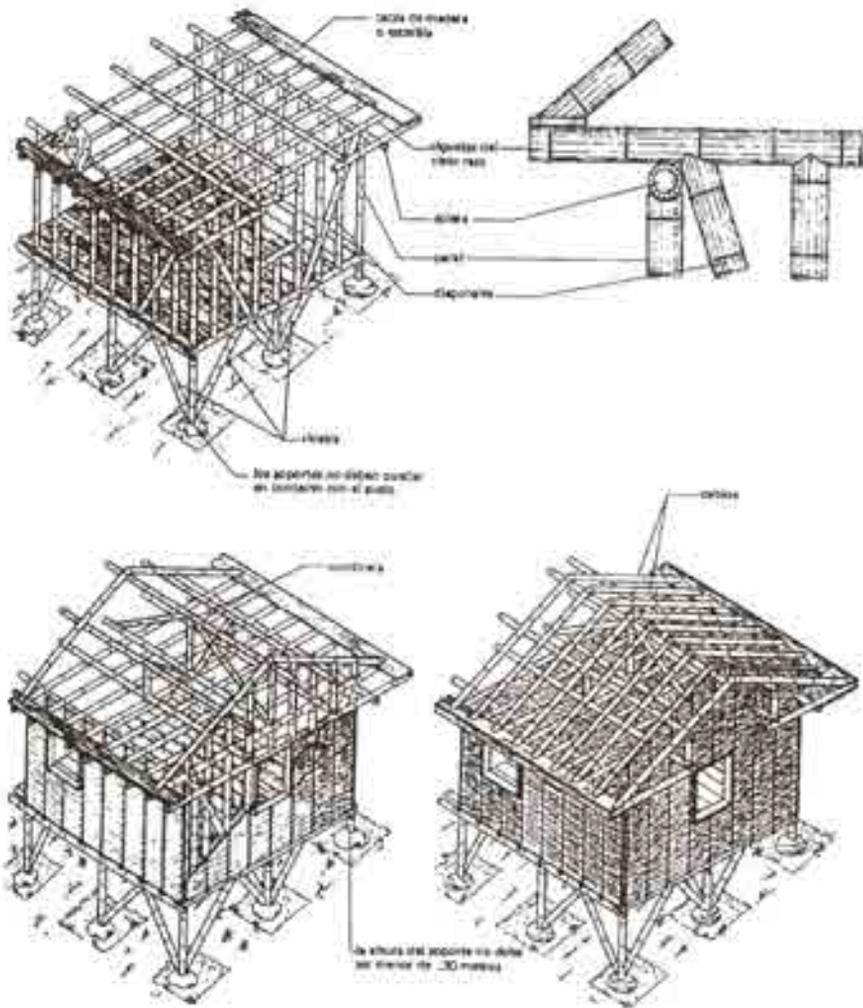


Structure en bambou avec éléments de couverture préfabriqués et autoportants

(Une structure en planche sert de gabarit et de contreventement temporaire, au début du processus de préfabrication; Il n'est pas indispensable que les murs de la maison soient en bambou).



Maison en bambou surélevée



ABRI À PORTIQUES PRÉFABRIQUÉS EN BOIS

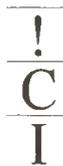
MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Structure démontable, assemblage rapide, transport facile
Aspects économiques	Coûts moyens à élevés selon le prix du bois
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications en charpenterie
Équipement(s) nécessaires(s)	Équipement du charpentier
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Bonne
Résistance à la pluie	Dépend de la couverture
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Conception éprouvée, nombreuses applications

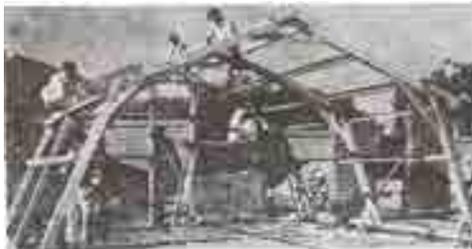
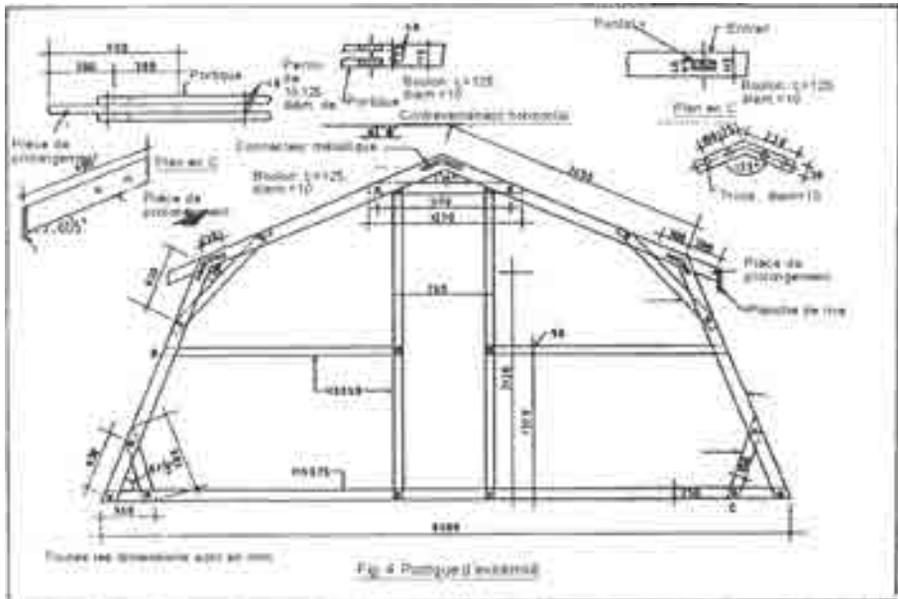
BRÈVE DESCRIPTION :

- Cet abri préfabriqué à ossature bois a été développé au Central Building Research Institute de Roorkee en Inde. Il s'inspire d'un système allemand destiné à la construction d'abris d'urgence (Prof. Kleinogel, 1952).
- Le but était de mettre au point un système permettant la construction d'un bâtiment, facilement démontable, transportable et réutilisable sur d'autres sites. Cette application convient particulièrement pour des interventions d'urgence dans des régions sinistrées.
- L'abri est conçu pour résister à des vents pouvant atteindre 130 km/h et à une charge de neige de 100 kg/m².
- L'élément de base de ce système est un portique démontable constitué de poteaux en bois. La forme du portique détermine la géométrie de la section transversale de l'abri. L'écart entre les portiques est de 2,44 m. Le nombre de portiques détermine la longueur du bâtiment.
- En version normale, l'abri est recouvert de tôles ondulées, tandis que le revêtement intérieur des murs et le plafond suspendu sont en contreplaqué. Cependant, en fonction des disponibilités locales, d'autres matériaux peuvent être utilisés. En cas d'installation dans des régions froides, des matériaux isolants peuvent être insérés dans l'espace entre les revêtements extérieur et intérieur.
- Tout ce qu'il faut, c'est une surface de terrain nivelée. Les portiques peuvent être ancrés directement dans le sol, ou installés sur une fondation en béton, si la construction a un caractère plus permanent.

Pour de plus amples informations: CBRI, Roorkee 247 667, India; Bibl. 24.04.



Abri à portiques préfabriqués en bois (Bibl. 24.04)



Ossature en bois



Abri achevé

Maison préfabriquée en bois

(Bibl. 14.22)

La maison est construite en utilisant des essences disponibles (selon l'utilisation: essences naturellement durables ou essences avec traitements préventifs; Voir tables en fin de manuel). La construction est simple et vous pouvez facilement la réaliser vous-même.



Vous pouvez construire votre maison soit plus grande, soit plus petite, soit identique à notre modèle. Si actuellement, vous n'êtes pas capable de construire une grande maison, commencez avec une petite et agrandissez-la par la suite.

MAISONS EN TRONCS POUR ZONES INONDABLES

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Maisons surélevées et structures flottantes
Aspects économiques	Coûts faibles à moyens
Stabilité	Bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualification en charpenterie
Équipement(s) nécessaires(s)	Outils pour la charpenterie
Résistance sismique	Bonne
Résistance aux ouragans	Dépend de la fixation des troncs
Résistance à la pluie	Bonne
Résistance aux insectes	Faible
Climat(s) approprié(s)	Régions chaudes et humides
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

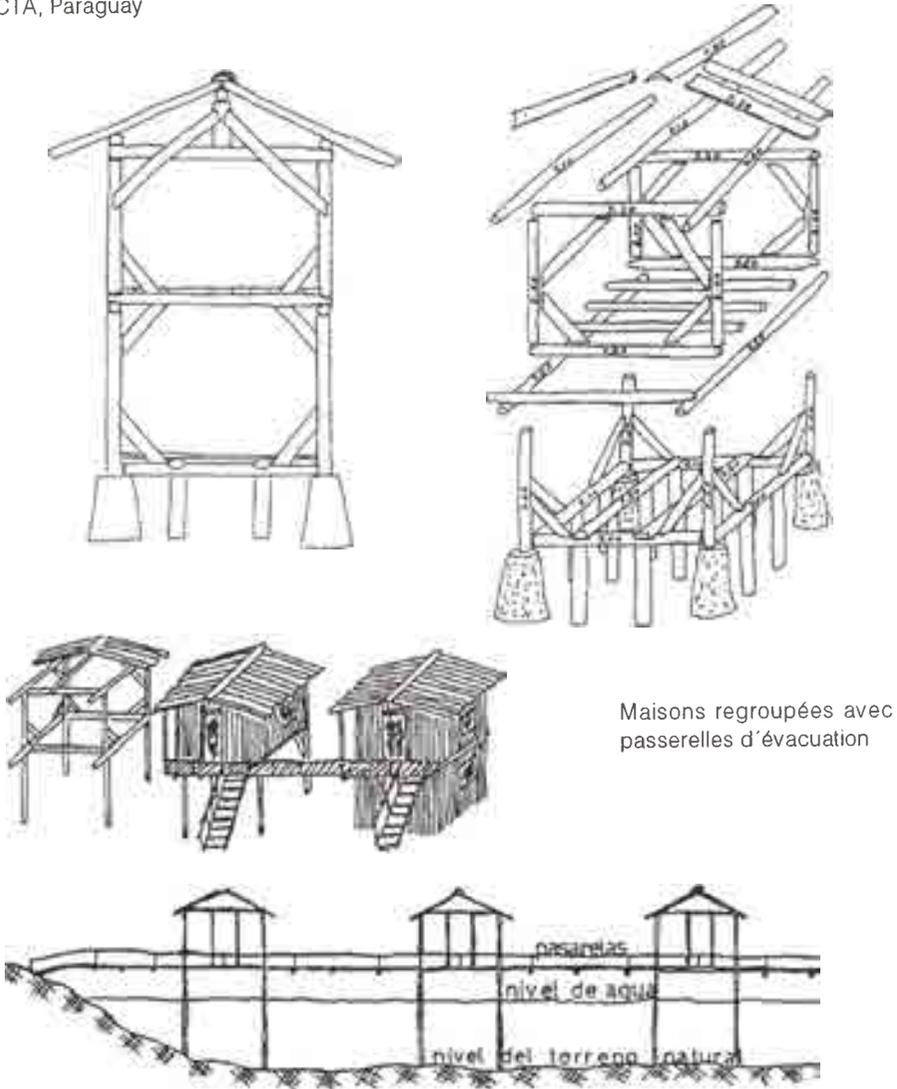
BRÈVE DESCRIPTION :

- En 1982 et 83, de grandes inondations ont touché toute la région du Parana - La Plata au Paraguay. Ces événements ont conduit au développement de maisons prototypes, conçues pour garantir un habitat sûr, même en cas d'inondations submergeant des maisons d'un niveau, comme ce fut le cas en 1983.
- La conception de cet habitat a été développée, en 1983, conjointement par des étudiants de la Catholic University de Asunción et des victimes des inondations, et cela sous la direction du Prof. Thomas Gieth du Centre for Appropriate Technology de Asunción et du Dr. Wolfgang Willkomm de l'University of Hanover de la République Fédérale d'Allemagne (Bibl. 24.06, 24.17).
- Les critères retenus pour guider la conception étaient les suivants: Protection et fuite en cas d'inondations; Faibles coûts de construction; Utilisation de matériaux locaux et de techniques locales; Procédés adaptés à l'autoconstruction
- L'habitat conçu est constitué d'une maison à 2 étages avec un escalier extérieur et une plateforme autour du plancher supérieur. En cas d'inondation, les habitants peuvent se réfugier dans la partie supérieure du bâtiment. S'il n'existe pas de bateau pour l'évacuation, des planches faisant office de passerelle peuvent être installées entre maisons voisines. Des rondins de «caranday palm» ont été utilisés pour l'ossature, le revêtement des murs, les fenêtres, les portes et même la couverture du toit (couches alternées, à la manière de tuiles espagnoles, de demis rondins évidés).
- Pour éviter les problèmes de fondation associés à cette conception, une alternative a été développée en 1984 par Behrend Hillrichs, étudiant en architecture de l'University of Hanover (Bibl. 24.08). Cette alternative propose de construire les maisons sur un plancher flottant retenu par des chaînes à des piliers d'ancrage.



Système de construction de maisons pour zones inondables

CTA, Paraguay



Maisons regroupées avec passerelles d'évacuation

Détail de la couverture du toit: Demi-rondins de palmier, évidés et posés à la façon de tuiles espagnoles



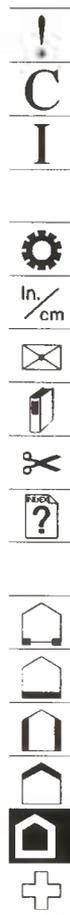
Détail de l'ossature en troncs



Maison achevée...



... pendant une petite inondation.

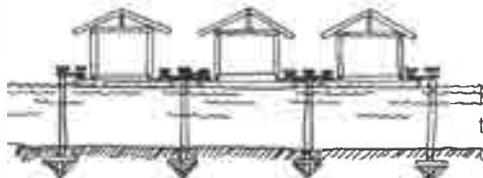


Principes des maisons flottantes pour zones inondables

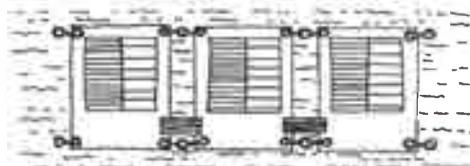
(Bibl. 24 08)



Position normale des maisons sur sol sec



Position des maisons pendant une inondation: les poteaux empêchent les maisons de dériver



Vue de dessus: les passerelles relient les plates-formes de maisons voisines.

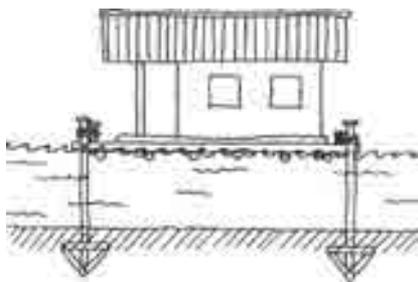


Plate-forme flottante normale

Avantages: simplicité de construction; stabilité du plancher pendant une inondation.

Problèmes: humidification progressive du plancher; enfoncement du plancher avec l'accroissement de la charge due à l'accumulation de personnes et de bagages, ainsi qu'à cause de l'absorption d'eau par le plancher; Risque de rupture des poteaux d'ancrage sous l'intensité des efforts latéraux.

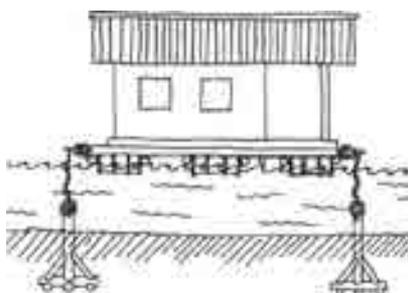


Plate-forme sur flotteurs (p. ex. fûts vides)

Avantages: le plancher reste au-dessus du niveau de l'eau; importante capacité de chargement; Il n'y a pas d'enfoncement graduel.

Problèmes: construction plus compliquée; entretien nécessaire des flotteurs (pas de trous!!); plancher moins stable pendant une inondation (tendance à suivre le mouvement des vagues).

MAISON PROTOTYPE EN CSR-CHAUX

MOTS CLÉS :

Propriétés particulières	Diminution substantielle de la quantité de ciment utilisée
Aspects économiques	Coût moyen
Stabilité	Très bonne
Compétence(s) requise(s)	Qualifications conventionnelles en construction
Équipement(s) nécessaires(s)	Équipement conventionnel pour la construction
Résistance sismique	Très bonne
Résistance aux ouragans	Très bonne
Résistance à la pluie	Très bonne
Résistance aux insectes	Très bonne
Climat(s) approprié(s)	Tout climat
Degré d'expérimentation	Stade expérimental

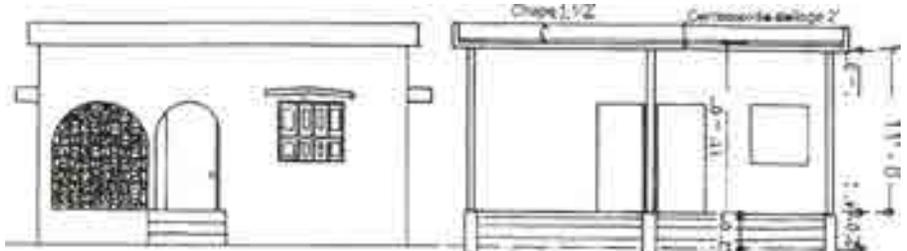
BRÈVE DESCRIPTION :

- La première maison construite en remplaçant une importante quantité de ciment par des Cendres de Balle de Riz (CBR) et de la chaux, se trouve parmi les bâtiments de la National Building Research Institute, à Karachi, au Pakistan (voir aussi chapitre consacré aux Matériaux pouzzolaniques).
- Le ciment portland a été utilisé pour la stabilisation de la terre pour les fondations (3% de ciment), pour la stabilisation des blocs en terre pressée (5% de ciment), ainsi que pour la réalisation des plinthes, du plancher et des cadres de portes et de fenêtres.
- Les éléments de construction tels que dalle du toit, poutres, linteaux, pare-soleil et réservoir d'eau surélevé, ont été réalisés en remplaçant 30% de la quantité de ciment normalement nécessaire, par des CBR et de la chaux.
- Le liant utilisé pour réaliser les blocs creux et le mortier des murs porteurs, de même que le crépi extérieur, était uniquement constitué d'un mélange de CBR et de chaux.
- Alors que des points de vue apparence, performances de la construction et durabilité, ce bâtiment ne présente pas de différence avec les constructions conventionnelles, réalisées en utilisant uniquement du ciment comme liant, la voie CBR a permis de réduire les coûts de 37% et elle propose une solution au problème de stockage de déchets (son de riz).

Pour de plus amples informations: National Building Research Institute, F-40, S.I.T.E., Hub River Road, Karachi, Pakistan; Bibl. 24.16.

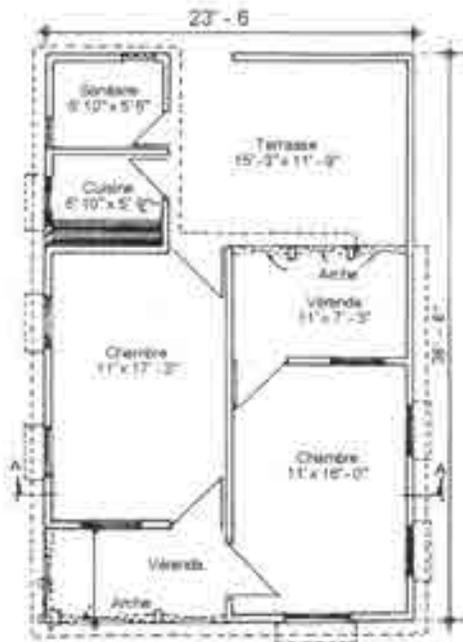


Maison prototype en CBR-chaux au NBRI à Karachi (Bibl. 24.16)

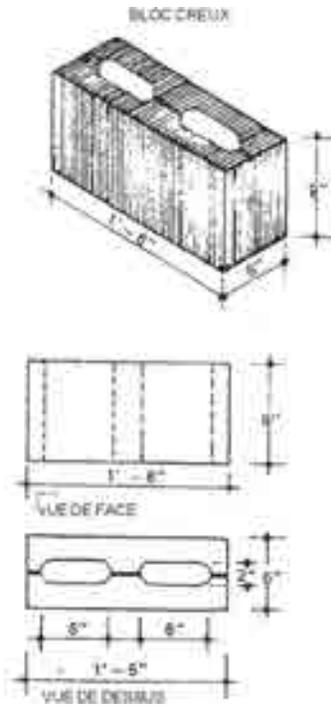


Naturel

Coupe A-A



COUPE HORIZONTALE



ANNEXES



MACHINES ET ÉQUIPEMENTS

Généralités

La qualité d'une construction ne dépend pas seulement de la compétence des bâtisseurs, elle dépend aussi de la performance des machines et équipements qu'ils emploient. Les machines et équipements permettent:

- d'améliorer la qualité des matières premières,
- d'améliorer la résistance et la durabilité des produits, en évitant de recourir à l'emploi de matériaux onéreux. (p. ex. du ciment),
- d'obtenir des produits uniformes et un fini homogène,
- d'améliorer la productivité,
- de simplifier ou d'éliminer les travaux fatiguants.

Le but de ce chapitre n'est pas de présenter une liste exhaustive des matériels existants. L'offre est vaste et son évolution fort rapide. Pour obtenir une information à jour (équipements, adresses, performances), le lecteur prendra contact soit avec le CRATerre (travail de la terre), soit avec le SKAT (toiture). Il existe aussi des guides catalogues qui présentent les équipements disponibles (voir bibliographie).

La sélection présentée dans ce chapitre n'a pas valeur de recommandation. Le but est de présenter aux lecteurs, différentes catégories de matériel (source d'énergie, rendement, encombrement).

Les machines et équipements présentés dans cette annexe sont:

- *les broyeurs*: pulvérisation des concrétions argileuses sèches, afin d'homogénéiser la granularité pour améliorer la qualité des

mélanges dans la production de briques et carreaux en argile cuite ou de briques en terre séchées à l'air;

- *équipements pour le moulage de briques et carreaux en argile*: fabrication de produits plus uniformes, à un rythme plus rapide et pour un effort moindre que par les méthodes traditionnelles;
- *presses*: fabrication de blocs de terre comprimée, stabilisée ou non stabilisée, lesquelles peuvent être employés crus;
- *moules pour blocs creux en béton*: compactage du béton par damage manuel ou par vibration mécanique;
- *matériel de compactage portable*: construction de murs en pisé, ou réalisation d'éléments en béton;
- *unités de production de tuiles en microbéton*: production (à petite ou grande échelle) de tuiles standard et spéciales à l'aide de tables vibrantes (manuelles ou motorisées) et d'un jeu de moules;
- *outillage pour ligatures en acier*: assemblages d'éléments en bambou ou en bois avec du fil de fer galvanisé de 2 à 5 mm de diamètre.

Chaque continent possède ces producteurs d'équipement. Robustesse, qualité de la production et prix sont très variables. Un achat qui engage des fonds importants doit être guidé par des études préalables: comparaison de l'offre en équipement, analyse du marché visé et faisabilité économique. Ces études permettent de déterminer les performances minimum auxquelles doivent répondre les produits fabriqués et d'optimiser la rentabilité financière de l'investissement.



LES BROYEURS

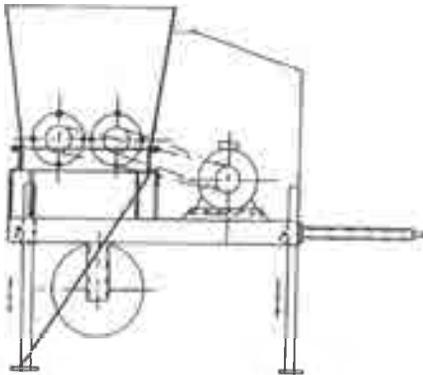
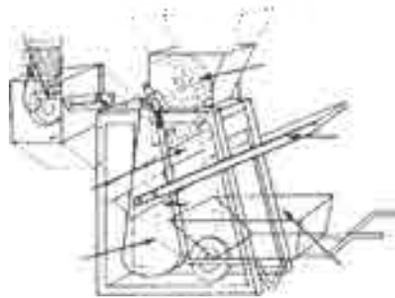
ITW/Parry

Désagrégateur d'argile à balancier

Intermediate Technology Workshops
Overend Road, Cradley Heath,
West Midlands B64 7DD
United Kingdom

Le désagrégateur d'argile à balancier de ITW répond aux besoins de petites briqueteries. La tête du broyeur à mouvement alternatif frotte contre une plaque fixe et réduit l'argile en petites particules. Le matériau écrasé passe ensuite sur un tamis vibrant. La fine poudre d'argile qui traverse le tamis se mélange sans difficulté à de l'eau et permet le moulage de briques (ou autres produits) de haute qualité.

Source: prospectus d'information ITW



Désagrégateur de terre Appro-Techno

APPRO-TECHNO
24 Rue de la Rieze
B - 5660 Couvin (Cul-des-Sarts)
Belgique

Deux rotors, tournant en sens inverse et constitués de barres en acier dur, désagrègent l'argile par impact. Ce désagrégateur existe en version électrique ou diesel.

Source: CRATerre, France



Désagrégateur de terre CERADES H2

CERATEC
Rue du Touquet, 228
B-7783 Ploegsteert
Belgique

Le CERADES est composé de 2 rotors (type cage d'écureuil) tournant en sens inverse. Les mottes de terre sont pulvérisées par impact sur les barreaux des rotors.

Disponible en version électrique ou diesel et avec ou sans bande transporteuse d'évacuation intégrée.

Source: prospectus d'information CERATEC

Station de concassage / criblage ESPACE 2001

ESPACE 2001, 5 Boulevard Royal, Royal Rome II, L-2449 Luxembourg

Cette station est composée d'un broyeur à marteaux, d'un crible rotatif, d'un crible vibrant, d'une trémie d'alimentation et de 2 bandes transporteuses (5 moteurs électriques). L'ensemble de ces éléments est monté sur un châssis métallique. L'encombrement en fonctionnement est de 6,5 x 3,5 x 3,5 m. Le débit dépend du type de terre et de la granulométrie souhaitée à la sortie de la station.

Source: prospectus d'information ESPACE 2001 et guide «Blocs de terre comprimée» du CDI.



In/cm



ÉQUIPEMENT POUR LE MOULAGE DE BRIQUES ET DE CARREAUX EN ARGILE

*Presse à brique Type E de ITW/Parry
Broyeur à balancier pour argile*

Intermediate Technology Workshops
Overend Road, Cradley Heath,
West Midlands B64 7DD
Royaume Uni

La production journalière de la presse Type E est de 800 briques. Certains producteurs arrivent à 1000 briques en 8 heures de production.

Après séchage et cuisson, la dimension des briques respecte le standard international (S1): 225 x 112,5 x 75 mm. En option, d'autres moules permettent de fabriquer d'autres formats de briques.

Source: prospectus d'information de ITW

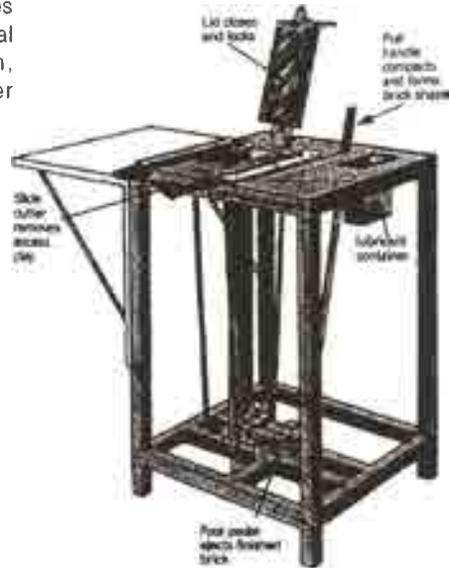


Table de moulage du CBRI

Central Building Research Institute, Roorkee 247 667, Inde

Pour le moulage, une motte de mélange est projetée avec force dans le moule; il n'y a pas de compression mécanique. Il existe également un modèle de table légèrement modifié, pour la fabrication de tuiles. Dans ce cas, elle est munie d'un couvercle et une pression manuelle est appliquée.

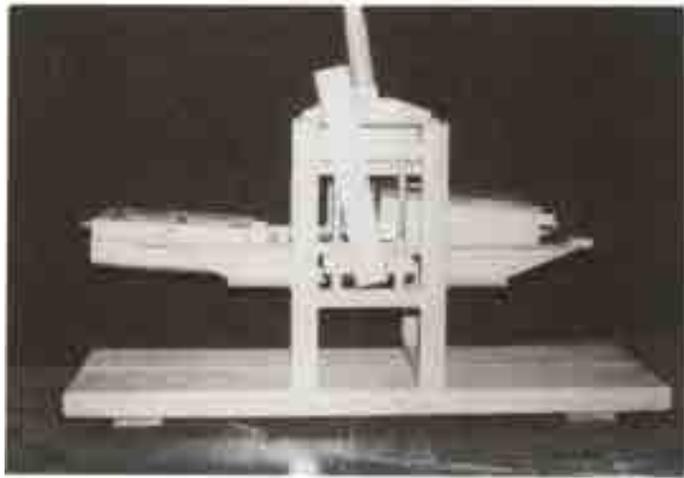
Source: note N°6 du CBRI Building Research.

Presse à levier pour tuiles, du CRDI

Ceramic Research and Development Institute, Jalan Jenderal Ahmad Yani 392, Bandung, Indonésie

La presse est servie par 3 opérateurs. Une force de 30 kg, démultipliée par le bras de levier, comprime la terre avec une force de 8000 N. La presse est équipée de deux moules de sorte que lorsque l'un est en phase de démoulage et de remplissage, l'autre est en phase de compression. Production horaire: 70 à 85 tuiles.

Source: prospectus d'information du CRDI



Certaines presses présentées dans les pages suivantes, peuvent être équipées de moules interchangeables. Ces presses permettent de produire de plus petites briques, ainsi que des carreaux et des tuiles destinés à être cuits. Sont particulièrement intéressantes de ce point de vue, les presses CERAMAN et TERSTARAM, lesquelles peuvent produire 3 ou 4 variétés de tuiles.



PRESSES À BRIQUES

CINVA-Ram

METALIBEC S.A.
Apartado 11798
Carrera 68B no. 18-30
Bogotá 6
Colombia

Il s'agit de la première presse à blocs manuelle et portable, développée en Colombie en 1956. Elle est constituée d'un moule en acier, d'un piston inférieur, d'un couvercle supérieur et d'un long bras de levier en métal actionné manuellement. Le couvercle ferme le moule après remplissage, et le levier commande le piston de compression par l'intermédiaire d'une bielle. Tous les assemblages sont soudés. Dimension du bloc: 29 x 14 x 9 cm; production horaire: 40 à 60 blocs (1 par cycle).

Source: correspondance METALIBEC



Presse CTA à trois blocs

Centro de Tecnología Apropriada
Universidad Católica «Nuestra Señora de la
Asunción»
Casilla de correos 1718
Asunción
Paraguay

CINVA-Ram modifiée, produisant 3 blocs par cycle, soit environ 150 blocs par heure. Dimension des blocs: 24 x 11,5 x 11,3 cm

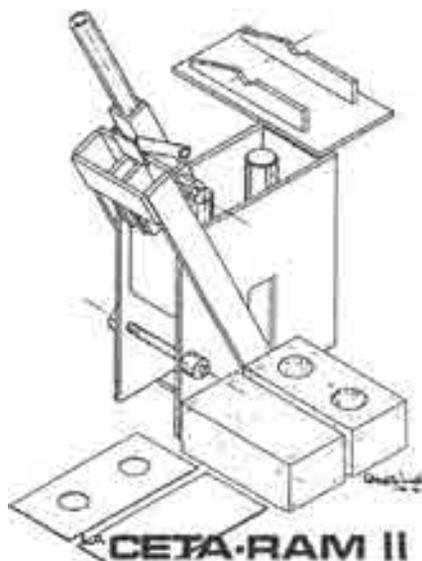
Source: correspondance CTA

CETA-Ram

Centro de Experimentación en Tecnología
Apropiada
Apartado 66-F
Guatemala, C.A.

CINVA-Ram modifiée pour produire des blocs creux (permet d'insérer des armatures dans les murs en régions sismiques). La CETA-Ram II peut produire des blocs creux ou pleins. Dimensions du bloc: 32,3 x 15,7 x 11,5 percé de trous de 6 cm de Ø; production: identique à celle de la CINVA-Ram.

Source: brochure d'information CETA

*Presse à blocs AMERICA LATINA de CRATerre*

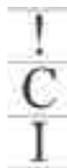
CRATerre AMERICA LATINA, Apartado Postal 5603, Correo Central, Lima - 1, Pérou

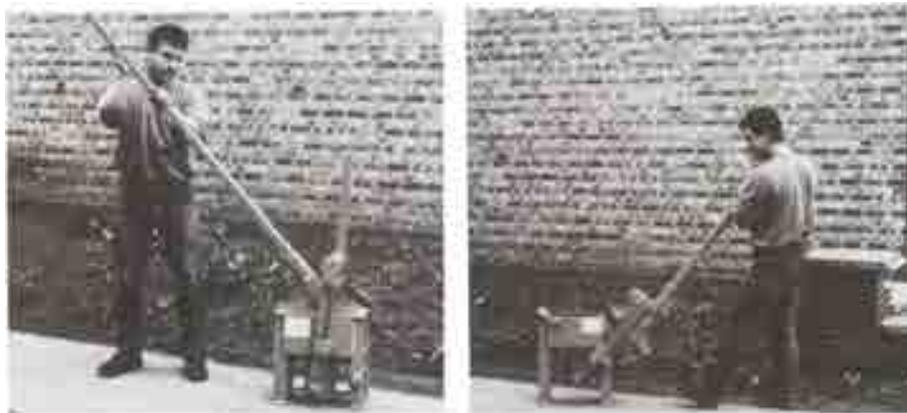
Presse manuelle sur roues permettant de produire des blocs de forme spéciale (1 bloc de 28 x 28 x 8 cm ou 2 de 28 x 12,8 x 8 cm) pour la construction en régions s i s m i q u e s .



Précompression par la fermeture énergique du couvercle et par un coup de piston vertical. Des tables latérales facilitent les manipulations relatives au remplissage du moule et à l'évacuation des blocs.

Source: CRATerre
France





Presses manuelles UNATA 1003 et 1004

UNATA C.V., G.V.D. Nieuwlandlaan B437, B-3220 Aarschot, Belgique

Presse UNATA 1003: CINVA-Ram légèrement modifiée. Le levier peut être transféré du mécanisme de pressage, à celui d'éjection et vice-versa. Production horaire: 70 blocs. Presse UNATA 1004 (prototype): d'autres modifications réduisent le nombre d'opérations manuelles par cycle: fixation du couvercle au bras de levier et surélévation du moule facilitent les manipulations. Production horaire: 100 blocs; dimensions du bloc: 29 x 14 x 9 cm.

Source: correspondance UNATA

GEO 50

ALTECH International
Parc d'Entraigues
F-05200 Embrun
France

Presse manuelle développée par ARCHECO (Centre de Terre, 31590 Verfeil, France). Il s'agit d'une presse à double compression; levier pivotant d'un seul côté de la presse; dimensions du bloc standard: 29,5 x 14 x 9 cm; moules interchangeables disponibles; production horaire: 100 à 200 blocs.

Source: CRATerre, France et Bibl. 02.07



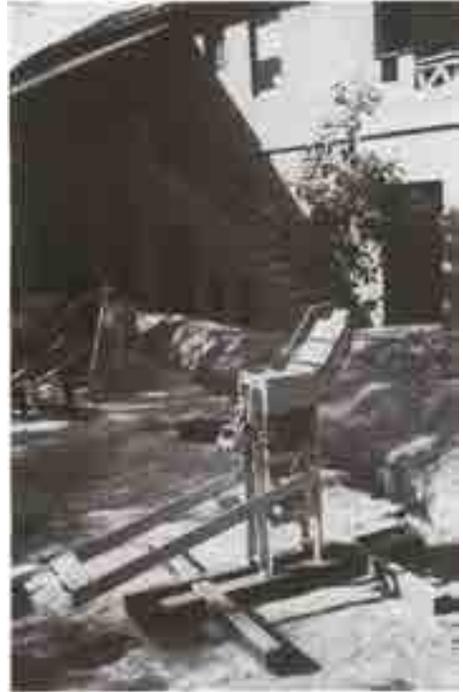
Presse à blocs TARA BALRAM

Technology and Action for Rural
Advancement
B-32 Tara Crescent
Qutab Institutional Area
New Delhi-110 016
Inde

Presse à blocs manuelle. Moule standard: 2 blocs de 23 x 10,8 x 7,5 cm par cycle; production journalière: 1200 blocs avec une équipe de 5 personnes. En option: moule de 23 x 23 x 7,5 cm. Construction robuste avec bâti en acier, usiné et soudé à l'arc. Démontage et entretien faciles.

Development Alternatives organise des formations à Delhi, Bangalore, ainsi que sur chantier à l'attention des utilisateurs.

Source: correspondance Development Alternatives



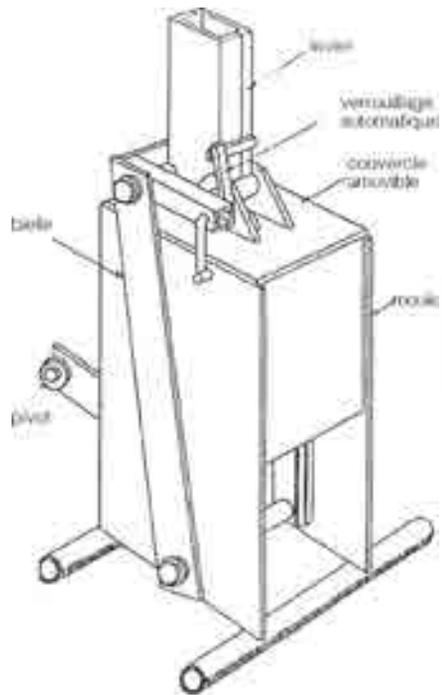
Presse TEK Bloc

Mechanical Engineering Dept. Faculty of Engineering et Gears Agricultural Machinery & Tools Manufacturing Company Ltd.

University P.O. Box 80
Kumasi
Ghana

Version renforcée de la CINVA-Ram, et fixation du couvercle au levier pour simplifier la manipulation. Le levier en bois est facilement remplaçable. Dimensions du bloc: 29 x 21,6 x 14 cm; production horaire: 50 blocs.

Source: correspondance U.S.T. et CRATerre

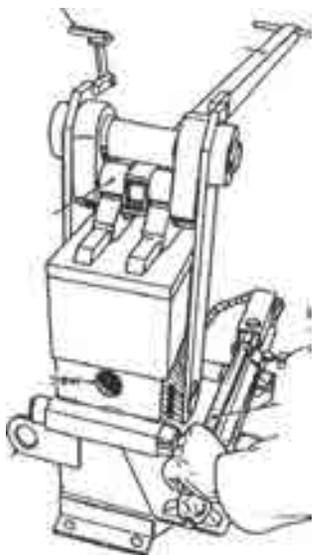
*VS CINVA-Ram*

Sohanpal Metal Works Ltd.
P.O. Box 904
Tanga
Tanzanie

CINVA-Ram modifiée, conçue avec l'assistance du GATE. La conception permet des rapports de compression variables. Presse très robuste; surcharge impossible; transport aisé; produits de dimensions plus précises.

Source: correspondance GATE.





Presse BREPAK

Concrete Machinery Systems Ltd. CMS
 Satellite Business Park
 Blackswarth Road
 Bristol BS5 8AX
 Royaume Uni

Mise au point au Building Research Establishment, cette presse dérive de la CINVA-Ram, mais la pression de compression est 5 fois plus élevée, grâce à un vérin hydraulique actionné par une pompe hydraulique manuelle. Le piston est situé sous la plaque de base du moule. Dimensions: 29 x 14 x 10; production horaire: 30 à 40 blocs .

Source: manuel d'utilisation BREPAK



Unité de production mobile CLU 3000

INTREX GmbH, P.O. Box 1328, D-42477 Radevormwald, Allemagne

Conçue par CONSOLID AG, CH-9467 Frümsen SG, Suisse, l'unité CLU 3000 est mobile et automatique. Elle est équipée d'un malaxeur, d'une trémie et d'une table tournante à 4 stations. Le pressage est hydraulique. Dimensions de la brique: 25 x 12 7,5 cm (possibilité de variantes légèrement différentes); production horaire: 350 briques. L'unité est équipée d'un moteur électrique ou diesel

Source: brochure d'information CONSOLID

Les 2 presses présentées sur cette page sont fabriquées par:
 APPRO-TECHNO, 24 Rue de la Rieze, B - 5660 Couvin (Cul-des-Sarts), Belgique
 Source: brochures APPRO-TECHNO ET CRATerre, France

Presse TERSTARAM manuelle

Cette presse dérive de LA SUPER MADELON qui date du début du siècle. LA SUPER MADELON fut ensuite produite sous le nom de STABIBLOC et est aussi connue sous l'appellation LANDCRETE. La version actuelle est considérablement modifiée et comporte de nombreuses améliorations. Les principaux avantages sont l'inter-changeabilité des moules (diverses formes de blocs, de briques et de tuiles), la facilité des manoeuvres et la mobilité. Dimensions maximales des blocs: 40 x 20 x 10 cm, briques conventionnelles: 22,5 x 10,5 x 6 cm (moule double); production horaire: respectivement 100 et 200 unités.



Presse SEMI-TERSTARAMATIQUE motorisée

Version fortement améliorée de la presse Belge LA MAJO. La compression et l'éjection des produits sont semi-automatiques. Des moules interchangeables permettent de fabriquer des produits de différentes formes et dimensions (identiques TERSTARAM, tuiles exclues). Production horaire: entre 200 et 400 produits. La presse est équipée d'un moteur électrique ou diesel.



Les deux presses présentées sur cette page sont fabriquées par:

CERATEC, Rue du Touquet 228, B-7783 Ploegsteert, Belgique

Source: brochures et correspondance CERATEC

Presse manuelle CERAMAN

Egalement dérivée de la SUPER MADELON, cette presse est dotée d'un mécanisme de déverrouillage automatique du couvercle. La terre est tassée dans le moule ouvert. A la fermeture du moule, le couvercle est rabattu avec force pour précompacter la terre par le haut. Deux hommes (un de chaque côté de la presse) réalisent la compression en actionnant les deux leviers rotatifs. Après la compression, la rotation des leviers dans le sens inverse déverrouille le couvercle et actionne le mécanisme d'éjection du produit pressé. Dimensions maximales des produits: 40 x 20 x 10 cm; production horaire: 100 à 200 produits.



Presse automatique CERAMATIC

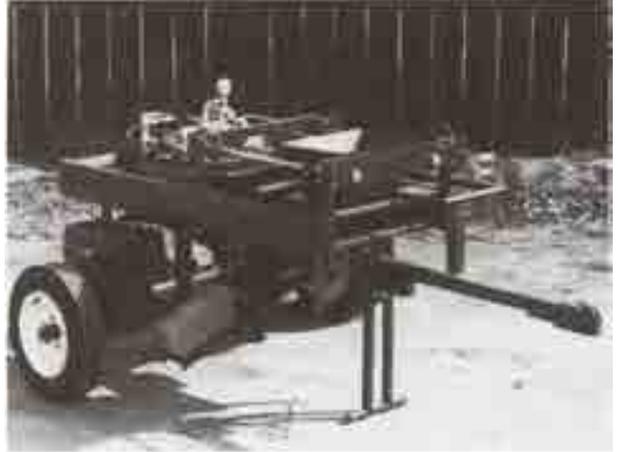
Version fortement améliorée de la presse Belge LA MAJO-MATIQUE. Cette presse comporte une table rotative à 3 stations: 1) précompactage automatique (par des cylindres coniques), 2) compression, 3) éjection. Equipée d'un moteur électrique ou diesel, elle est servie par 2 personnes: l'une charge la matière première, l'autre évacue les briques. Dimensions: moule simple de 29,5 x 14 x 7 cm ou moule double de 22 x 10,7 x 7 cm; production horaire: respectivement au moins 700 et 1400 briques.

Unité IMPACT 500

Southwest Alternatives LTD,
P.O. Box 1363, Corrales,
New Mexico 87048

Unité de production compacte et mobile à compression hydraulique. L'alimentation et les différentes opérations sont conduites manuellement. Dimensions du bloc: 30 x 14 x 9 cm; production journalière: 960 blocs. Une deuxième unité, l'Impact 501, permet de produire 1440 blocs par jour.

Source: prospectus d'information Impact.

*Unité DYNATERRE 01-4M*

PTI - RAFFIN BERGER, 52 avenue Marcel Paul, F-93297 Tremblay en France Cedex

Cette unité de production est montée sur un châssis à 2 roues. Elle intègre une bande transporteuse, un malaxeur, un réservoir d'eau, une pompe à eau, des gicleurs, une trémie et une presse. La spécificité de cette unité est la vibration de la terre pendant le compactage (compression dynamique).



Cette technique permet de produire des blocs et carreaux de qualité supérieure, selon des formes et dimensions variées. Production horaire: 250 blocs. L'unité est équipée d'un moteur électrique et éventuellement d'un groupe diesel électrogène.

Source: CRATerre, France, et Bibl. 02.07.

MACHINES POUR LA FABRICATION DE BLOCS CREUX EN BÉTON



Machine SENA pour blocs creux

División de Desarrollo Tecnológico
Servicio Nacional de Aprendizaje
Apartado Aéreo 9801
Bogotá
Colombie

Moule simple équipé d'un plateau pour la préparation du mélange sable-ciment. Une fois le moule rempli, le mélange est damé manuellement et la surface est lissée avec une truelle. Le levier sert à escamoter les noyaux qui créent les cavités intérieures. Le bloc creux, démoulé sur un plateau en bois, est alors prêt pour la cure.

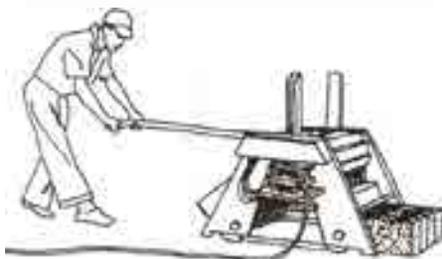
Source: manuel d'instruction SENA

BLOKORAMA

Estructuras Desarmables, S.A.
Apartado Postal 1669
Mexico, D.F.

Pondeuse automatique: une fois les blocs moulés (sous vibration) sur le sol, la pondeuse se déplace jusqu'à la position de moulage suivante. La matière première est introduite du côté opposé au sens d'avancement de la pondeuse.

Source: brochure d'information BLOKORAMA



In./cm



Les machines présentées sur cette page sont fabriquées par:

Kathiawar Metal & Tin Works Private Limited, 9 Lati Plot, Sadgurunagar, Post Box 202, Rajkot 360 003 (Gujarat State), Inde

Source: SKAT Working Paper 05/84



Machine pouvant produire des blocs en béton pleins ou creux

Un large plateau facilite le remplissage du moule. L'excédent de béton est arasé et le bloc est damé en rabattant le couvercle plusieurs fois. Le levier sert au démoulage du bloc qui est ensuite posé sur un plateau en bois et mis en cure.

ELLSON-VIBRO

La machine est équipée d'un vibreur mécanique, actionné par un moteur électrique ou diesel et une poulie d'entraînement à face plate (moteur et poulies ne sont pas livrés avec la machine). Toutes les opérations sont manuelles et simples à exécuter. Des blocs compacts de diverses formes et dimensions sont produits grâce à des moules interchangeables.

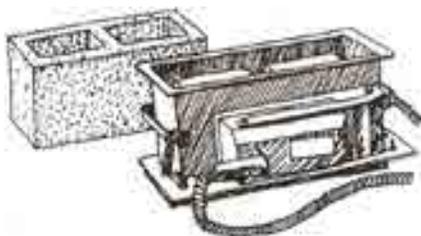


Moule vibro-compacteur ITW 80 B

Intermediate Technology Workshops
Overend Road, Cradley Heath,
West Midlands B64 7DD
Royaume Uni

Il s'agit d'un moule portable équipé d'un vibreur, lequel est alimenté par une batterie de voiture (non livrée). Le remplacement du damage manuel par une vibration mécanique permet d'économiser jusqu'à 1 kg de ciment pour chaque bloc. Dimensions du bloc: 45 x 23 x 23 cm, évidé à 40 %.

Source: brochure d'information ITW

*MULTIBLOC Super Minor*

CMS Ltd, Satellite Business Park, Blackswarth Road, Bristol BS5 8AX, England

La machine est composée de 3 parties essentielles: le bâti, le caisson à moules et la tête de damage équipée d'un vibreur. La machine est servie par un seul opérateur. Le cycle est le suivant: remplissage des moules, vibration et damage, éjection des blocs et déplacement de la machine. Cette machine permet de produire des blocs creux ou pleins de différents modèles.

Source: brochure d'information Multibloc



In/cm



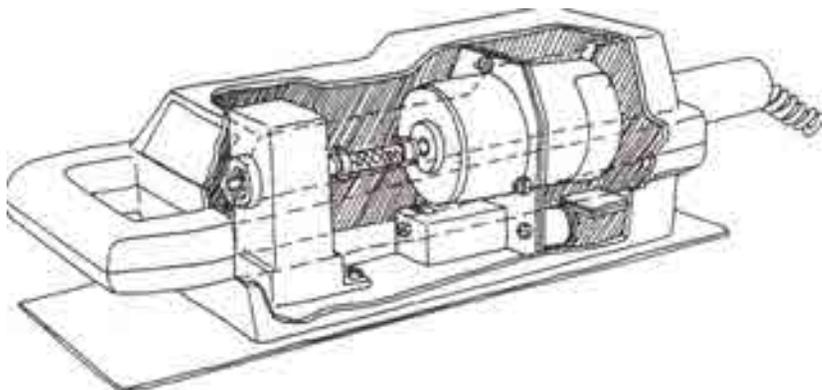
MATÉRIEL DE COMPACTAGE PORTABLE

MULTIVIBE

Intermediate Technology Workshops, Overend Road, Cradley Heath, West Midlands B64 7DD, Royaume Uni

Il s'agit d'un vibreur portable alimenté par une source de tension 12 volt DC (batterie de voiture ou chargeur ordinaire de batterie). Ce vibreur peut servir à la production de divers produits en béton, micro béton ou vibromortier (blocs, carreaux, cadres de fenêtre, tuiles et tuyaux d'adduction d'eau).

Source: brochure d'information ITW

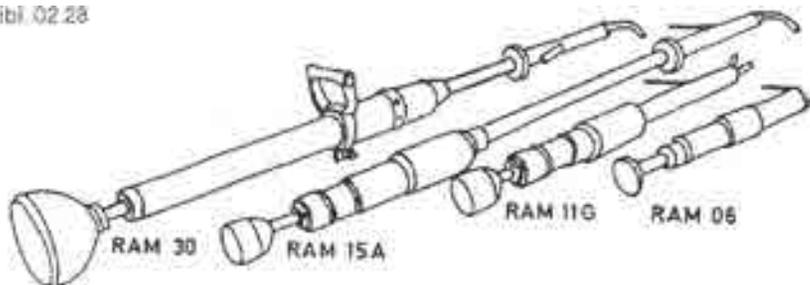


Dames pneumatiques

Atlas Copco Tools, P.O. Box 100 234, D-4300 Essen, République Fédérale d'Allemagne

Dames manuelles pour la réalisation de constructions en terre damée de haute qualité. Le fonctionnement de ces dames requiert une source d'air comprimé (compresseur séparé: 3 litres/sec. pour la RAM 06 et 14 litres/sec. pour la RAM 30).

Source: Bibl. 02.28



UNITÉ DE PRODUCTION DE TUILES EN MICROBÉTON (ÉVENTUELLEMENT EN FIBROMORTIER)



Unités ITW Parry

Intermediate Technology Workshops
Overend Road, Cradley Heath
West Midlands B64 7DD
Royaume Uni

Table vibrante actionnée manuellement

Il existe des unités de différentes tailles, adaptées à l'importance de la production désirée: mini unité pour une production hebdomadaire de 250 à 500 tuiles, petites unités industrielles pour une production hebdomadaire de 1000 à 2000 tuiles. Les petites unités font appel à l'énergie manuelle ou électrique, alors que des unités plus importantes peuvent être semi-mécanisées (maintenance avec des engins à moteur et bacs de cure solaires). La procédure de production est exposée dans le chapitre EXEMPLE DE MATÉRIAUX DE TOITURE.

Source: brochures d'information ITW



Table vibrante et moules pour une production de 1000 tuiles par semaine



OUTILLAGE POUR LIGATURES EN ACIER

Outil à ligaturer de Delft

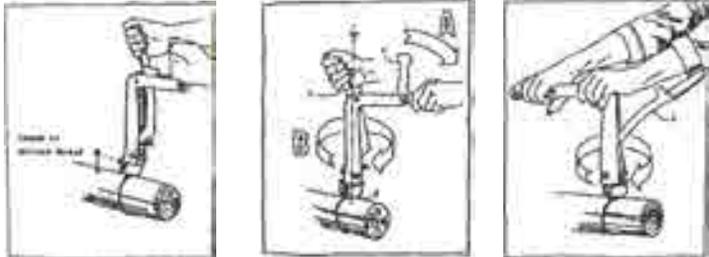
Materials Science Section, Civil Engineering Department, Delft University of Technology, 4 Stevinweg, NL-2628 CN Delft, Pays-Bas

Outil manuel permettant de torsader du fil d'acier galvanisé, de 2 à 5 mm de Ø, autour de divers objets (fréquemment utilisé pour assembler des membrures en bambou ou en bois). L'outil tend le fil, torsade les deux extrémités et coupe les longueurs excédentaires, laissant un tronçon torsadé de 3 cm de long. Ce tronçon est rabattu ou couvert d'un tube en plastique.

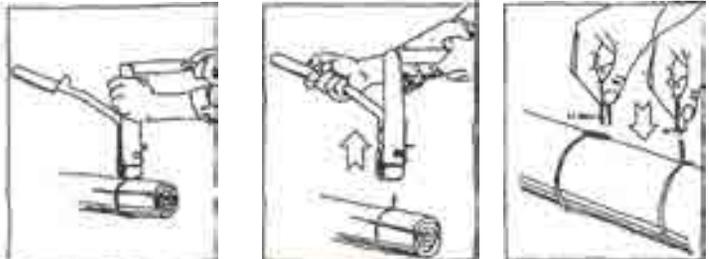
tension du fil



torsade des extrémités



coupe et retrait de l'outil; protection de l'extrémité torsadée



COMPARAISON DES EQUIPEMENTS

Pulvérisateurs de terre

	prix EXW* en FRF (x 1000)	poids emballé (kg)	source d'énergie**	consommation	rendement théorique (m ³ /h)	mécanisme**
- = info manquante / = sans objet x = variable						
désagrégateur d'argile à balancier ITW/Parry	15,40 à 19,00	372	H	/	0,6	CE
désagrégateur de terre (E) APPRO-TECHNO	15,40 à 19,00	580	E	2,2 Kwh	9	CE
désagrégateur de terre (D) APPRO-TECHNO	19,00 à 26,25	600	T	0,9 l/h	9	CE
désagrégateur de terre (E) CERATEC	19,00 à 22,60	586	E	4 kWh	9	CE
désagrégateur de terre (D) CERATEC	30,20 à 33,50	600	T	0,9 l/h	9	CE
station concassage/criblage ESPACE 2001	135 à 158	1'500	E	9 kWh	8 à 10	M

EXW = prix départ usine, hors taxe et emballé (nov. 1994)

H = humaine; E = électrique; T = diesel ou essence

CE = cages d'écureuil; M = marteaux



Presses manuelles

	prix EXW* en FRF (x 1000)	poids emballé (kg)	sorte de produits***	type de produits***	prod. Théorique**** (unité/h)	mécanisme*****	force utile (kN)	taux de compression
- = info manquante / = sans objet x = variable								
presse à briques type Ede ITW/Parry	-	-	Br	-	100	M	-	-
table de moulage du CBRI	-	-	Br	-	-	M	-	-
presse CRDI du CRDI	-	-	T	/	70 à 85	M	-	-
presse CINVA-Ram de METALIBEC S.A	-	-	Br	-	40 à 60	M	-	-
presse à 3 briques CTA de la CTA	-	-	Br	-	150	M	-	-
presse CETA-RAM de CETA	-	-	Bl	P	40 à 60	M	-	-
presse America Latina de CRATerre	-	-	Br	-	-	M	-	-
presse UNATA 1003 de UNATA	3,90 à 4,50	100	Br	-	120	M	100	1,55
presse GEO 50 de ALTECH	8,85 à 10,85	200	Br	-	?	M	-	-
presse ELLSON de Kathiavar Metal & Tir	-	-	Bl Br T	-	-	M	-	-
presse ASTRAM de Aeroweld Industries	-	-	Bl Br	-	40 à 50	M	-	-
presse BALRAM du Development Alternatives	-	-	Br	-	150	M	-	-
presse TEK de l'U.S.T. de Kumas	-	-	Br	-	50	M	-	-
presse VS CINVA-Ram du S.M.V.	-	-	-	-	-	M	-	-
presse BREPAK du CMS de Bristol	15,40 à 19,00	180	Br	-	60	H	440	1,55
presse TERSTARAM de Appro-Techno	8,85 à 10,85	520	Bl Br D T	P	119 à 240	M	150	1,42
presse CERAMAN de CERATEC	10,85 à 13,15	575	Bl Br D T	P	120 à 240	M	100	1,60

*: EXW = prix départ usine, hors taxe et emballé (nov. 1994)

** : E = électrique; T = thermique (diesel ou essence)

*** : Bl = blocs (longueur sup. à 30 cm); Br = briques (longueur inf. à 30 cm); D = dalles; T = tuiles; P = perforations; C = creux

**** : En pratique la production réelle atteint rarement 80% de cette valeur, voire moins encore pour des équipements sophistiqués

***** : M = mécanique; V = vibration; H = hydraulique

Presses et unités motorisées

	prix EXW* en FRF (x 1000)	poids emballé (kg)	source d'énergie**	consommation	sorte de produits***	type de produits***	prod. théorique**** (unité/h)	mécanisme*****	force utile (kN)	taux de compression
- = info manquante / = sans objet x = variable										
unité CLU de INTREX GmbH	219 à 239	2'310	E-T	? - 2,5 Wh	Br	-	350	H	150	1,80
SEMI-TERSTARAMATIQUE de Appro-Techno	56,7 à 65,6	1'000	E-T	1,2 kWh - 1,2 Wh	BI Br D	P	300 à 600	M	300	1,42
CERAMATIC de CERATEC	135 à 158	2'400	E-T	2,8 kWh - 0,6 Wh	Br	-	700 à 1400	M+H	300	1,70
presse PACT 500 de ALTECH	91,8 à 114	800	E-T	1,5 kWh	Br	-	460	M	300	1,80
presse IMPACT 500 de Southwest Alternative	-	-	-	-	BI	-	120	H	-	-
presse PTC 240 de ESPACE 2001	-	2'000	E	11 kWh	BI Br	P	240	H	1000	1,70
unité DYNATERRE 01-4M des Ets RAFFIN	846 à 1'360	7'000	E/T	12 kWh	BI	P	360	H+V	350	2,00

EXW = prix départ usine, hors taxe et emballé (nov. 1994)

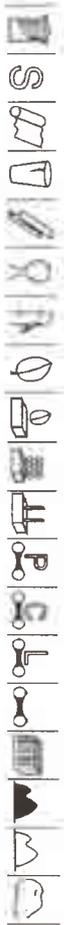
E = électrique; T = thermique (diesel ou essence)

BI = blocs (longueur sup. à 30 cm); Br = briques (longueur inf. à 30 cm); D = dalles;

T = tuiles; P = perforations; C = creux

En pratique la production réelle atteint rarement 80% de cette valeur, voire moins encore pour des équipements sophistiqués

M = mécanique; V = vibration; H = hydraulique



Equipements pour blocs creux en béton, tuiles et carreaux de dalage au ciment

	prix EXW* en FRF (x 1000)	pois emballé (kg)	source d'énergie**	consommation	sorte de produits***	type de produits***	production théorique****	mécanisme*****
- = info manquante / = sans objet x = variable								
<i>machine SENA</i>	-	-	M	/	Bl	C	-	D
<i>BLOKORAMA de Estructuras Desarmables</i>	-	-	E	-	Bl	C	-	V
<i>machine à blocs de Kathiawar & Tin Works</i>	-	-	M	/	Bl	C	-	D
<i>ELLSON-VIBRO</i>	-	-	E-T	-	Bl	C	-	V
<i>moule vibrant 80 B de ITW</i>	-	-	E	-	Bl	C	-	V
<i>MULTIBLOC de la CMS</i>	-	-	-	-	Bl	C	-	V+D
<i>MULTIVIBE de ITW/Parry</i>	-	10	E	-	/	/	/	V
<i>dame pneumatique de l'Atlas Copco</i>	X	X	E-T	-	/	/	/	D
<i>unité à tuiles HP 250 de ITW/Parry</i>	-	245	M	/	T	/	6 m ² /j	V
<i>unité à tuiles MV 1000 de ITW/Parry</i>	-	470	E	-	T	/	16 m ² /j	V
<i>unité à carrelages UCM 200 de ESPACE 2001</i>	-	-	E	-	D	/	200 m ² /j	V
<i>unité à carrelages FW 25 de ITW/Parry</i>	-	-	E	-	D	/	2,8 m ² /j	V

*: EXW = prix départ usine, hors taxe et emballé (nov. 1994)

** : E = électrique; T = thermique (diesel ou essence)

*** : Bl = blocs (longueur sup. à 30 cm); Br = briques (longueur inf. à 30 cm); D = dalles; T = tuiles; P = perforations; C = creux

**** : En pratique la production réelle atteint rarement 80% de cette valeur, voire moins encore pour des équipements sophistiqués

***** : V = vibration; H = hydraulique; D = damage

FACTEURS DE CONVERSION DES UNITÉS

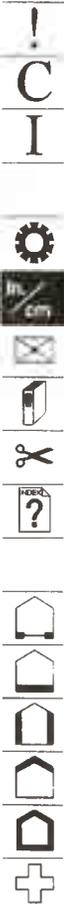
Généralités

Un des principaux objectifs de cet ouvrage est de fournir des informations pratiques aux constructeurs du monde entier. Il est certain que la diversité des unités de mesures, qui ont cours dans le monde, constitue un handicap et tous les ouvrages techniques rencontrent ce même problème.

Deux systèmes d'unités dominent: le Système Impérial (Anglais) et le Système Métrique. Des raisons historiques étaient principalement à l'origine de l'application d'un système de mesure. A présent, le Système Métrique est le système officiel, même dans la plupart des pays où anciennement le Système Impérial était d'application. Cependant dans le concret, le passage d'un système à l'autre est difficile et lent, car la population doit modifier sa manière de penser. L'universalisation du Système Métrique est également compliquée par le fait qu'en Amérique du Nord, le Système Impérial est encore le système officiel.

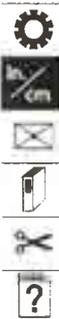
Les unités de base du Système Impérial sont le «foot» (pied), le «pound» (livre) et la «second» (seconde), alors que les unités de base du Système Métrique sont le mètre, le kilogramme, et la seconde (MKS). A ce système s'est ensuite ajouté l'ampère (MKSA). Par après, l'ajout du kelvin (unité de température thermodynamique), de la mole (quantité de matière) et de la candela (unité de mesure de l'intensité lumineuse) ont conduit à un nouveau système de mesure international appelé Système International d'Unités (SI-Units).

Cet ouvrage utilise principalement les unités du Système International, car elles sont les plus répandues. Cependant, pour rendre l'ouvrage utilisable par des lecteurs moins habitués à ces unités, les pages suivantes fournissent certains facteurs de conversion parmi les plus importants.



SYSTÈME IMPÉRIAL	FACTEURS DE CONVERSION	SYSTÈME INTERNATIONAL
Longueur		
<i>Unités:</i>		<i>Unités:</i>
inch (in)	1 in = 25.4 mm	millimètre (mm)
foot(ft)	0.39 in = 1 cm	centimètre (cm)
yard(yd)	1 ft = 30.48 cm	mètre (m)
mile(mile)	39.37 in = 1 m	kilomètre (km)
	1 yd = 91.44 cm	
12 in = 1 ft	0.6214 mile = 1 km	10 mm = 1 cm
3 ft = 1 yd	1 mile = 1.6093 km	100 cm = 1 m
1760 yd = 1 mile		1000 m = 1 km
Surface		
<i>Unités:</i>		<i>Unités:</i>
square in (sq in; in ²)	1 in ² = 6.4516 cm ²	mm carré (mm ²)
square ft (sq ft; ft ²)	10.76 ft ² = 1 m ²	cm carré (cm ²)
square yd (sq yd; yd ²)	1 ft ² = 0.0929 m ²	m carré (m ²)
square mile (sq mile)	1.196 yd ² = 1 m ²	hectare (ha)
	1 yd ² = 0.8361 m ²	km carré (km ²)
	1 acre = 4046.86 m ²	
144 in ² = 1 ft ²	2.471 acre = 1 ha	100 mm ² = 1 cm ²
9 ft ² = 1 yd ²	0.3861 mile ² = 1 km ²	10000 cm ² = 1 m ²
4840 yd ² = 1 acre	1 mile ² = 2.59 km ²	10000 m ² = 1 ha
640 acre = 1 sq mile		100 ha = 1 km ²
Volume		
<i>Unités:</i>		<i>Unités:</i>
cubic in (cu in; in ³)	1 in ³ = 16.3871 cm ³	cm cube (cm ³)
cubic ft (cu ft; ft ³)	1 ft ³ = 28.3 dm ³	décimètre cube (dm ³)
cubic yd (cu yd; yd ³)	35.31 ft ³ = 1 m ³	m cube (m ³)
	1.308 yd ³ = 1 m ³	
	1 yd ³ = 0.7646 m ³	
1728 in ³ = 1 ft ³		1000 cm ³ = 1 dm ³
27 ft ³ = 1 yd ³		1000 dm ³ = 1 m ³
100 ft ³ = 1 register ton		

SYSTÈME IMPÉRIAL	FACTEURS DE CONVERSION	SYSTÈME INTERNATIONAL
Capacité et volume des fluides		
<i>Unités:</i>		
fluid ounce (floz)	1 fl oz (UK) = 28.4 ml	millilitre (ml)
gill (UKgill, USgill)	0.035 fl oz = 1 ml	cm cube (cm ³ , ccm.cc)
pint (UKpt, USpt)	1 gill (UK) = 142 ml	litre (l)
quart (UKqt, USqt)	1 gill (US) = 118.3 ml	dm cube (dm ³)
gallon (UK gal, US gal)	1 pt (UK) = 568 ml	kilo litre (kl)
	1 pt (US) = 454 ml	m cube (m ³)
5 fl oz = 1 UK gill	1 qt (UK) = 1136 ml	1 ml = 1 cm ³
4 fl oz = 1 US gill	1 qt (US) = 909 ml	1000 ml = 1 l
4 gills = 1 pt (UK, US)	1 gal (UK) = 4.5461 l	1 l = 1 dm ³
2 pt = 1 qt (UK, US)	1 gal (US) = 3.7851 l	1000 l = 1 kl = 1 m ³
4 qt = 1 gal (UK, US)	0.22 gal (UK) = 1 l	
1 UK gal = 1.2 US gal	0.26 gal (US) = 1 l	
Masse		
<i>Unités:</i>		
ounce (oz)	1 oz = 28.3 g	<i>Unités:</i> milligramme(mg)
livre (lb)	0.035 oz = 1 g	gramme(g)
stone (stone)	1 lb = 0.454 kg	kilogramme(kg)
hundredweight(cwt)	2.205 lb = 1 kg	tonne(t)
ton (ton)	1 stone = 6.35 kg	
	1 UK cwt = 50.8 kg	1000 mg = 1 g
16 oz = 1 lb	0.98 long ton = 1 t	1000 g = 1 kg
14 lb = 1 stone	1 long ton = 1.016 t	1000 kg = 1 t
8 stone = 1 UKcwt (long)	1.1 short ton = 1 t	
112 lb = 1 UKton (long)	1 short ton = 0.907 t	
100 lb = 1 US ton (short)		
Densité		
<i>Unités:</i>		
lb/cu ft (lb/ft ³)	1 lb/ft ³ = 16.02 kg/m ³	<i>Unités:</i> kg/m ³
lb/UK gal	1 lb/UK gal = 100 kg/m ³	
lb/US gal	1 lb/US gal = 120 kg/m ³	



SYSTÈME IMPÉRIAL	FACTEURS DE CONVERSION	SYSTÈME INTERNATIONAL
<p>Force</p> <p>Unités: lbf tonf</p>	<p>1 lbf = 4.448 N 1 tonf = 9.964 kN</p>	<p>Unités: newton (N) kilonewton (kN)</p>
<p>Pression</p> <p>Unités: lbf/in² (psi) tonf/ft²</p>	<p>1 lbf/in² = 6895 Pa 145 lbf/in² = 1 MPa 1 UK tonf/ft² = 0.107 MPa 9.32 UK tonf/ft² = 1 MPa</p>	<p>Unités: pascal (Pa) mégapascal (MPa) newton/mm² (N/mm²) bar (bar) 1 Pa = 1 N/m² 1 MPa = 1 N/mm² 1 bar = 0.1 N/mm²</p>
<p>Energie, travail, chaleur</p> <p>Unités: British thermal unit (Btu)</p>	<p>1 Btu = 1055 J 0.948 Btu = 1 kJ 1 Btu = 0.000293 kWh 3413 Btu = 1 kWh</p>	<p>Unités: joule (J) kilojoule (kJ) calorie (cal) kilowatt heure (kWh) watt seconde (Ws) newton mètre (Nm) pascal m³ (Pa m³) 1 J = 1 Nm = 1 Ws = 1 Pa m³ 1 J = 0.239 cal 1 kWh = 3600 kJ</p>
<p>Puissance</p> <p>Unités: Btu/h ftlbf/s horsepower (hp)</p> <p>1 hp = 550 ftlbf/s 1 hp = 2545 Btu/h</p>	<p>1 Btu/h = 0.293 W 3.412 Btu/h = 1 W 1 ftlbf/s = 1.356 W 0.74 ftlbf/s = 1 W 1 hp = 745.7 W</p>	<p>Unités: watt (W) joules/seconde (J/s) cheval métrique 1 W = 1 J/s 1 cheval = 735.5 W</p>

SYSTÈME IMPÉRIAL	FACTEURS DE CONVERSION	SYSTÈME INTERNATIONAL
<p>Conductivité thermique Unité: Btu/ft²hdeg F</p>	<p>1 Btu/ft²hdeg F = 0.144 W/mdeg C 6.94 Btu/ft²hdeg F = 1 W/mdeg C 1 Btu/ft²hdeg F = 0.124 kcal/mhdeg C 8.06 Btu/ft²hdeg F = 1 kcal/mhdeg C</p>	<p>Unités: W/m deg C kcal/mh deg C 1 W/mdeg C = 0.861 kcal/mhdeg C 1 kcal/mhdeg C = 1.163 W/mdeg C</p>
<p>Vitesse Unités: ft/s miles per hour (mph)</p>	<p>1 ft/s = 0.305 m/s 3.28 ft/s = 1 m/s 1 mph = 1.609 km/h 0.62 mph = 1 km/h</p>	<p>Unités: m/s km/h</p>

FACTEURS DE CONVERSION DIVERS

Température

Équivalence:
1 degré Centigrade sur l'échelle Celsius (deg C)
= 1.8 degrés sur l'échelle Fahrenheit (deg F)

0°C = 32°F (pont de congélation de l'eau)
100°C = 212°F (point d'ébullition de l'eau)

Conversion
°C = 5/9 x (°F - 32)
°F = 9/5 x °C + 32

100°C	212°F
90°C	194°F
80°C	176°F
70°C	158°F
60°C	140°F
50°C	122°F
40°C	104°F
30°C	80°F
20°C	68°F
10°C	50°F
0°C	32°F
-10°C	14°F
-20°C	-4°F
-30°C	-22°F
-40°C	-40°F



Angles et pentes

La pente d'un versant incliné est fréquemment exprimée en degrés. Parce qu'il est difficile de mesurer des angles exprimés en degrés sur chantier, il est plus simple d'exprimer une pente par le rapport entre la hauteur et la longueur horizontale du versant (utiliser de préférence des nombres ronds). Le tableau suivant présente les équivalences d'inclinaison pour des pentes exprimées en rapports, en pourcentages et en degrés.

Rapport	Pourcentage	Degré
1:50	2%	= 1°
1:25	4%	= 2°
1:20	5%	= 3°
1:10	10%	= 5.5°
1:5	20%	= 11.5°
1:4	25%	= 14°
1:3	33.3%	= 18.5°
1:2	50%	= 26.5°
2:3	66.7%	= 33.5°
3:4	75%	= 37°
4:5	80%	= 38.5°
1:1	100%	= 45°
5:4	125%	= 51.5°
4:3	133.3%	= 53°
3:2	150%	= 56.5°
2:1	200%	= 63.5°
3:1	300%	= 71.5°
4:1	400%	= 76°
5:1	500%	= 78.5°
10:1	1000%	= 84.5°

ADRESSES UTILES

Afrique du Sud

Council for Scientific and Industrial Research
Division of Building Technology (BOUTEK)
P.O. Box 395
Pretoria 0001

Développement de diverses techniques nouvelles pour la construction économique; principalement constructions en adobe et en béton

Algérie

CNERIB
Centre d'Etude et de Recherches Intégrées du
Bâtiment
Cité Nouvelle El-Mokrani
Souidania
Wilaya de Tipaza

Argentine

Asociación Vivienda Económica
Centro Experimental de la Vivienda Económica
(CEVE)
Igualdad 3600 Villa Siburu
Estafeta 14
5000 Córdoba

Centre de recherche sur l'habitat économique; manuels et brochures sur la construction

CITAR
Centro de Investigacion en Tecnologia
Appropiada Y Restauracion
Casilla de Correo 165
Dr Sabin 1105
4600 San Salvadore de Jujuy

Australie

EBAA
Earth Building Association of Australia
The Owner Building Magazine
P.O. Box 974
Victoria 3550

National Building Technology Centre
P.O. Box 30
Chatswood, N.S.W. 2067

R & D en matière de matériaux et technologies de construction (principalement les ciments)



Autriche

UNIDO
United Nations Industrial Development
Organisation
Vienna International Centre
P.O. Box 300
1400 Wien

Financement et coordination de recherches, d'expertises, de publications et de conférences internationales

Bangladesh

Housing & Building Research Institute
Darus-Salam, Mirpur
Dhaka - 18

R & D en matière de technologies et de matériaux de construction locaux

Belgique

ATOL
Study and Documentation Centre on
Appropriate Technology in Developing
Countries
Blijde Inkomststraat 9
3000 Leuven

Centre pour la TA; bibliothèque; coordination de recherches et de publications; co-publication du journal en TA «AT Source» (précédemment «VRAAGBAAK»)

CIFCD
Centre International de Formation des Cadres
du Développement
112 avenue Emil de Béco
1050 Bruxelles

ONG vulgarisant le géobéton au travers de projets Formation / Production en appuyant la constitution de petites unités de briqueterie

COTA
Collectif d'échanges pour la Technologie Appropiée
18, rue de la Sablonnière
B - 1000 Bruxelles

Centre de documentation, d'information et de recherche; coopération avec des ONG (principalement dans les pays d'expression francophone et portugaise)

Katholieke Universiteit Leuven
Post Graduate Centre Human Settlements
Kasteel Arenberg
3030 Leuven (Heverlee)

Groupe de formation et d'étude; co-organisation de colloques internationaux sur «Les technologies appropriées pour la construction en terre dans les pays en développement» (Déc. 1984)

Terra-Morpho
Genootshop Gezond Bouwen en Wonen
Breughestraat 33
2018 Antwerpen

UNATA c.v. (Union for Adapted Technological Assistance)
Nieuwlandlaan B437
3220 Aarschot

Université Catholique de Louvain
Centre de Recherches en Architecture CRA
Place du Levant 1
1348 Louvain-la-Neuve

Bolivie

SEMTA
Servicios Múltiples de Tecnologías Apropriadadas
Casilla 15041
La Paz

Botswana

Botswana Technology Centre
Private Bag 0082
Gaborone

Rural Industries Promotions (RIP)
Private Bag 11
Kanye

Brésil

CEPED
Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
Km 0 da BA-536
Caixa Postal 09
42.800 Camaçari (BA)

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo S.A. (IPT)
P.O. Box 7141
05508 São Paulo, CEP 01051

Groupe de coopération technique; production de machines simples (p. ex. presses à blocs); périodique trimestriel «UNATA-PRESS».

Groupe de formation et d'étude; co-organisation du colloque international «Technologies appropriées pour la construction en terre dans les pays en développement» (Déc. 1984)

Centre d'information sur les TA; consultance; exécution de projets de coopération technique

Informations (réseau SATIS), conduite de projets de coopération technique

Centre d'innovation pour les industries rurales; coopération relative à diverses TA

Institution gouvernementale de recherche; développement de technologies pour la construction économique (projet THABA), principalement terre ciment, ferrociment et béton de fibres

Centre gouvernemental de recherche et de documentation; projets de coopération technique; publication du manuel UNIDO traitant de la construction de maisons en bois (Bibl. 14.22)



UNIMEP

Université Méthodiste de Piracicaba
Ecole d'Architecture / Centre de Technologie
B.P. 68 Cep 13400-000 Piracicaba Sp
Rua Rangel Pestana 762

Burkina Faso**ETSHER**

Ecole Inter-états des Techniciens Supérieurs
de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural
01 BP 594 Ouagadougou 01
Toronto M5R 1J

LOCOMAT

Ministère de l'Équipement
BP 717 Ouagadougou

Cameroun**ARTER**

Arter Sarl
B.P. 1904
CM - Yaoundé

APICA

Association pour la Promotion des Initiatives
Communautaires
P.O. Box 5946
CM - Douala-Akwa

ENSP

Ecole Nationale Supérieure Polytechnique
Département de Génie Civil et Urbanisme
BP 8390
CM - Yaoundé

Canada

Development Workshop (DW)
238 Davenport Road
P.O. Box 133
Toronto M5R 1J6

Groupe de coopération technique pour l'habitat
dans le Tiers Monde; vaste expérience en
matière de technologie de constructions éco-
nomiques

IDRC
International Development Research Centre
P.O. Box 8500
Ottawa K1G 3H9

Centre de recherche pour l'adaptation de la science et de la technologie aux besoins des pays en développement.

McGill University
School of Architecture
Minimum Cost Housing Group
3480 University Street
Montréal 101, Québec H3A 2A7

Recherche et développement de diverses technologies économiques pour l'habitat; expérience en matière de construction en béton de soufre, publications intéressantes

Chili

CET
Centro de Estudios de la Tierra
Carlos Antunez 2467
Providencia
Santiago

Centre de recherche et de documentation; coopération technique; plusieurs publications techniques

CETAL
Centro de Estudios en Tecnología
Apropiada para Latinoamérica
Subida Mackenna 1246 - Vinn
Apartado Postal 197 - V
Valparaíso

Institution de financement et de consultation internationale active dans le domaine de l'habitat à faible coût; publication de SELAVIP News

SELAVIP
Servicio Latinoamericano y Asiático
de Vivienda Popular
German Yungue 3825
Apartado Postal 871
Santiago

Chine

Beijing Institute of Architectural Design
62 South Lishi Road
Beijing

Une des principales institutions de conception du bâtiment, principalement concernée par des projets de nouvelles constructions (à Pékin il s'agit généralement de buildings)



<p>Building Research Institute No. 1 Construction Bureau China State Construction Engineering Corporation (CSCEC) Nan Yuan Beijing</p>	<p>Institution renommée; département spécialisé concernant tous les aspects de la recherche sur la construction et les matériaux de construction; coopération internationale: p. ex. à Daxin avec l'assistance de l'Allemagne sur un projet de maisons expérimentales à chauffage solaire passif.</p>
<p>China Building Technology Development Centre (CBTDC) 19 Che Gong Zhuang Street Beijing</p>	<p>Agence d'exécution du MURCEP; consultance en technologie et conduite de projets de coopération internationale</p>
<p>Dalian Institute of Technology Department of Civil Engineering Dalian 116 024</p>	<p>R&D en matière de matériaux; principalement utilisation de déchets industriels</p>
<p>MURCEP Ministry of Urban-Rural Construction and Environmental Protection Bureau of Science and Technology Bai Wan Zhuang, Westsuburb Beijing</p>	<p>Organisation gouvernementale; administration du développement dans les zones urbaines et rurales; coordination de la coopération internationale sur la R & D; (à la même adresse: Architectural Society of China; China National Waterproof Building Materials Corporation)</p>
<p>Shanghai Research Institute of Building Sciences 75 Wan Ping Road South Shanghai</p>	<p>R&D en matière de matériaux, principalement utilisation de déchets industriels</p>

Colombie

<p>ARIT arquitectura investigación en tierra cra. 3A no. 30 - 33 Bogotá</p>	<p>Groupe de coopération technique; promotion des technologies relatives à la construction en terre</p>
<p>ENDA AL Medio Ambiente y Desarrollo del Tercer Mundo c/o Naciones Unidas Apartado Aéreo 091369 Bogotá</p>	<p>Vulgarisation des TA et appui de projets d'auto-construction</p>

FEDEVIVIENDA
 Federación Nacional de
 Organizaciones de Vivienda Popular
 Diagonal 60 No. 15-69
 Bogotá A.A. 57059

Organisation appuyant des projets
 d'autoconstruction communautaires; appro-
 che sociale des TA

PROCO
 Fundación para la promoción de la
 comunidad y el mejoramiento del habitat
 Diagonal 60 No. 23 - 63
 Bogotá

Groupe de coopération technique appuyant
 des projets d'autoconstruction

SENA
 Servicio Nacional de Aprendizaje
 División de Desarrollo Tecnológico
 Apartado Aéreo 9801
 Bogotá

Développement de technologies économi-
 ques, p. ex. machines pour fabriquer des blocs
 creux en béton

Universidad Nacional de Colombia
 Facultad de Artes
 Apartado Aéreo 54118
 Bogotá

Faculté universitaire avec le Centro de
 Investigación de Bambú y Madera (CIBAM),
 renommée internationale; expé-rience consi-
 dérable en matière de constructions en bois et
 en bambou

Côte d'Ivoire

Art'Terre
 Centre Orstom de Petit-Bassam
 04 BP 293 Abidjan 04

LBTP
 Laboratoire du Bâtiment des Travaux Publics
 Département Matériaux de Construction
 04 BP 3 Abidjan 04

Cuba

CECAT
 Centro de Estudios de Construccion y
 Arquitectura Tropical
 Institut Superior Politechnico «Jose A.
 Echeverria»
 CP 19390, Marianao, Habana City



HABITAT-CUBA
5ta.A.N° 9007 e/90 y 92
Miramar la Havane

Danemark

Statens Byggeforskningsinstitut (SBI)
Dr. Neergaards Vej 15
Postboks 119
2970 Hørsholm

Institut gouvernemental de recherche; constructions économiques

Technological Institute - Wood Technology
Gregersensvej
Postboks 141
2630 Taastrup

Centre de recherche et de documentation; coopération technique

El Salvador

Fundación Salvadoreña de Desarrollo y
Vivienda Mínima
Apartado Aéreo 421
San Salvador

Centre de recherche et de documentation sur l'habitat économique; projets de coopération technique

Equateur

CATER
Centro Andino de Tecnología Rural
Universidad Nacional de Loja
Casilla 399
Loja

Centre universitaire de recherche et de documentation; projets de coopération technique

CITA-EC
Centro de Ingeniería para Tecnologías
Adecuadas
Casilla 1024
Cuenca

Centre pour la TA; information et coopération au développement; projets de coopération technique

FUNHABIT
Fundación Ecuatoriana del Habitat
Pedro de Texeira 273
Casilla 17-15-0086-C Sucursal 16
EC-Quito, Equateur

HABITIERRA

Centro de Estudios y Tecnologia Andina
 Calle Hermano Miguel 3-43 (E.)
 Casilla Postale 01011004
 Cuenca

Etats Unis d'Amérique

Agency for International Development (AID)
 Departement of State
 Washington, D.C. 20523

Organisation de coopération au développement des Etats Unis; coopération technique et financière; service d'information

AT International
 1828 L Street, N.W.
 Washington, D.C. 20036

Organisme de coopération au développement; promotion des petites entreprises par le biais d'évaluations et de transferts en TA

HUD, U.S. Departement of Housing and Urban Development Office of International Affairs
 Washington, D.C. 20410

Institution de coopération au développement; vaste documentation couvrant tous les aspects de l'habitat, de la construction et de la conception

International Council of Earth Builders (ICEB)
 419 North Larchmont Blvd., Ste. 72
 Los Angeles, California 90004

Organisation d'intervention rapide et de post-urgence sur des lieux de catastrophe; logement et habitat; „International News-letter: Earthen buildings in seismic areas“

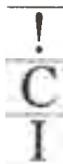
INTERTECT
 International Disaster Specialists
 P.O. Box 10502
 Dallas, TEX 75207

TRANET
 Transnational Network for Appropriate Technology
 P.O. Box 567
 Rangeley, ME 04970-0567

Organisation sans but lucratif (financée par les cotisations des adhérents); facilite les échanges d'informations et d'idées entre les membres de différents pays et de compétences diverses

VITA
 Volunteers in Technical Assistance
 1600 Wilson Bld, Suite 500
 P.O. Box 12438
 Arlington, VA 22209-8438

Coopération technique avec des groupes utilisant des équipements et des techniques économiques



Volunteers in Asia
Appropriate Technology Project
P.O. Box 4543
Stanford, CA 94305

Unité d'information et de documentation; publication du «Appropriate Technology Sourcebook» Bibl. 00.07 (en la matière, il s'agit de la référence la plus complète)

Ethiopie

Addis Ababa University
Faculty of Technology
P.O. Box 40874
Addis Ababa

Recherche et développement sur les matériaux de construction, p. ex. matériaux de couverture en béton de fibre

UN Economic Commission of Africa
Africa Mall
P.O. Box 3001
Addis Ababa

Organe des Nations Unies; coopération au développement en matière d'habitat économique

Finlande

LRT
The Research Unit for Nature Based Construction
Otakaari 24
02150 Espoo

France

BASIN-EAS
Earth Building Advisory Service
c/o CRATerre-EAG

Partenaire du Building Advisory Service and Information Network (BASIN), spécialisé en matière de construction en terre

CRATerre-EAG
International Centre for Earth Construction
Maison Levrat, Parc Fallavier
Rue du Lac B.P. 53
38092 Villefontaine Cedex

Centre renommé d'information et de recherche sur la construction en terre; consultation, coopération technique; nombreuses publications; formations professionnelles et cours post gradué sur la construction en terre

CSTB
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
24, rue Joseph Fourier
38400 St. Martin d'Herès

Institution gouvernementale de recherche sur la construction et les matériaux de construction

Development Workshop
B.P. 13
82110 Lauzerte

Groupe de coopération technique pour l'habitat dans le Tiers Monde; vaste expérience en matière de technologies de construction économiques

ENTPE
Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat /
Laboratoire Géomatériaux
Rue Maurice Audin
69518 Vaulx-en-Velin

Laboratoire de recherche sur les matériaux de construction; expérience en matière de technologies de construction en terre

GRET (Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques)
213, rue Lafayette
75010 Paris

R & D; information et assistance technique; plusieurs publications intéressantes

RILEM
International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures
12, rue Brancion
75700 Paris Cedex 15

Organisation d'ateliers et de conférences internationales sur les matériaux de construction économiques

Ghana

BRRRI
Building & Road Research Institute
P.O. Box 40 University
Kumasi

Institut de recherche renommé; vaste expérience concernant les latérites ainsi que la construction en terre; diverses publications

University of Science and Technology
Faculty of Architecture
Department of Housing and Planning
University Post Office
Kumasi

Institution pour la recherche et la formation (conception de la presse TEK-Block); coopération technique et vulgarisation au travers du Technology Consultancy Centre (TCC)

Guatemala

CEMAT
Centro de Estudios Mesoamericanos sobre Tecnología Apropriada
4a avenida 2-28, zona 1
Apartado Postal 1160
Guatemala Ciudad 01001

Organisation pour la TA; information et coopération au développement; expérience et publications sur les technologies de construction économiques; périodique trimestriel RED Newsletter



<p>Centro de Tecnología Apropriada «Manuel Guarán» Apartado 1779 Guatemala Ciudad</p>	<p>R&D en matière de TA et de matériaux de construction locaux</p>
<p>CETA Centro de Experimentación en Tecnología Apropriada Apartado 66-F Guatemala Ciudad</p>	<p>Centre de recherche en TA; conception de la presse à blocs CETA-Ram</p>
<p>ICAITI Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial Apartado Postal 1552 Guatemala Ciudad</p>	<p>Institut central de recherche industrielle d'Amérique Centrale; informations et co-opération technique; plusieurs publications</p>
<p>Inde</p>	
<p>Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology P.O. Box 115 Bangalore 560 052</p>	<p>Centre d'information en technologies de l'UN ESCAP; publication tous les 2 mois du bulletin «Asia-Pacific Tech Monitor»</p>
<p>ASTRA Indian Institute of Science Malleswaram Bangalore 560 012</p>	<p>Centre for the Application of Science & Technology to Rural Areas; R & D sur les techniques de construction économiques; conception de la presse à blocs ASTRAM</p>
<p>ATDA (Appropriate Technology Development Association) P.O. Box 311 Ghandi Bhawan Lucknow 226 001</p>	<p>Organisation pour la TA; information, formation et coopération au développement; expérience en matière de production de ciment à petite échelle; bulletin «ap-tech»</p>
<p>Auroville Building Centre (AV-BC) Earth Architecture Department Ind-605101 Auroshilpam Tamil Nadu</p>	<p>Centre de référence en TA pour la construction; cours et production d'équipements pour divers types de construction</p>
<p>CBRI Central Building Research Institute Roorkee 247 667</p>	<p>Institut Asiatique de premier plan pour la recherche en technologies et matériaux de construction; nombreuses publications intéressantes</p>

Regional Research Laboratory (C.S.I.R.)
Applied Civil Engineering Division
Jorhat 785 006, Assam

Institut de recherche sur les matériaux et technologies de construction; expérience en béton armé de bambou, ferrociment et déchets agricoles

SERC (Structural Engineering Research Centre)
CSIR Campus
Taramani
Madras 600 113

Institution de recherche spécialisée en matière de béton préfabriqué et de ferrociment

University of Roorkee
Department of Civil Engineering
Roorkee 247 667

Institution de recherche et de formation concernant diverses technologies de construction

Indonésie

Ceramic Research and Development Institute
Jalan Jenderal Ahmad Yani 392
Bandung

Institut gouvernemental de recherche; information et coopération pour l'amélioration de la production de briques en argile et de tuiles

Yayasan Dian Desa
P.O. Box 19
Bulaksumur
Yogyakarta

Organisation pour la TA; expérience en béton armé de bambou et en béton de fibre; bulletin mensuel «TARIK» et autres publications

Institute of Human Settlements (IHS)
Agency for Research and Development
Ministry of Public Works & UN Regional Centre for Human Settlements
84, Jalan Tamansari
Bandung

Institut renommé de recherche sur les matériaux et technologies de construction; information et coopération au développement; centre régional UN ESCAP

Italie

Facoltà di Architettura Politecnico di Torino
Viale Mattioli 39
Torino 10125

Département de la Polytechnique de Turin; recherche sur les technologies de construction (p. ex. coquilles conoïdes en plâtre-sisal)

FAO
Food and Agriculture Organization of the United Nations
Via delle Terme di Caracalla
00100 Rome

Organisation des NU; informations sur les matériaux de construction fabriqués à partir de déchets agricoles et forestiers

Jordanie

Yarmouk University
Department of Civil Engineering
Irbid

Recherche sur les ciments liants

Kenya

HABITAT
United Nations Centre for Human Settlements
(U.N.C.H.S.)
P.O. Box 30030
Nairobi

Coordination centrale concernant l'habitat, la construction et la conception; réalisation de projets; conférences internationales; nombreuses publications, dont «HABITAT News» publié 3 fois par an

HABRI
Housing and Building Research Institute
University of Nairobi
P.O. Box 30197
KE - Nairobi

Institution renommée de recherche traitant tous les aspects de l'habitat et des matériaux de construction économiques

Intermediate Technology Kenya
P.O. Box 39493
Nairobi

Projet travaillant sur: la production à petite échelle de matériaux en béton et de pierres pour la construction, l'habitat économique, l'information relative aux matériaux et normes pour la construction; diffusion d'informations, ainsi que de matériaux et création de réseaux locaux au travers du Shelter Forum

SF (Shelter Forum)
Shelter Advisory Service (SAS)
c/o IT Kenya
22 Chimoro Access Road Off River Side
PO Box 39493 Nairobi

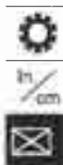
Malaisie

Ministry of Housing and Local Government
Jalan Cendensari
50646 Kuala Lumpur

Département de la planification technologique et de la recherche concernée par les matériaux et technologies de construction adaptés à l'habitat économique

University Technology Malaysia
Faculty of Built Environment
Karung Berkunci 791
80900 Johor Bahru

Institution de recherche et de formation; technologies relatives à l'habitat économique



Mali

ENI
Ecole Nationale d'Ingénieurs
BP 242
ML - Bamako

Maroc

LPEE
25 rue d'Azilal
BP 13389
Casablanca 2000

Mayotte

SIM
Société Immobilière à Mayotte
BP 91 97600 Mamoudzou
Mayotte (via la Réunion)

Mexique

Centro nacional de investigaciones de construcción con tierra y energías alternativas
M. Imaz Ferriz Alberto, Directeur Général
Saltillo N° 31, Col. Condesa
Mex-Mexico D.F.

COPEVI
Centro Operacional de Vivienda y Poblamiento
Tlaloc 40-2
Col. Tlaxpana
Mexico DF 11370

Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica A.C.
Camino Santa Teresa 187
Apartado Postal 70-227
Mexico DF 04510

Institution de recherche et de développement pour l'habitat; information et coopération technique

Centre d'information et de vulgarisation pour la construction antisismique

NBRI
National Building Research Institute
F - 40, S.I.T.E.
Hub River Road
Karachi

Institut gouvernemental de recherche; s'intéresse principalement aux ciments et matériaux à base de ciments; réalisation de la première maison utilisant comme liant un mélange de CBR et de chaux (Bibl. 24.16)

Palestine

RIWAQ
Centre for Earth Vernacular Architecture
Nablus Road, El Sharafeh
P.O. Box 212 Ramallah
West Bank, via Israel

Panama

CEDIFA
Centro de Investigaciones de la Facultad de
Arquitectura
Universidad de Panama, Estafeta Universitaria
Ciudad Universitaria

Grupo de Tecnología Apropriada
Apartado 8046
Panama 7

Organisation pour la TA; information et coopération technique

Papouasie Nouvelle Guinée

SPATF
South Pacific Appropriate Technology
Foundation
P.O. Box 6937
Boroko

Organisation pour la TA; expérience en matière de construction avec des blocs en terre et tuiles en fibromortier; publications: «Liklik Buk» et les périodiques trimestriels «Yumi Kirapim» et «SPATF NIUS»

Paraguay

Centro de Tecnología Apropriada Universidad
Católica «Ntra. Sra. de la Asunción»
Facultad de Ciencias y Tecnología
Casilla de Correos 1718
Asuncion

Organisation pour la TA; principalement les technologies de construction: conception de la presse CTA à trois blocs et de maisons en bois résistant aux inondations, et vastes projets de recherche pour l'amélioration de l'habitat rural en vue d'éviter les méfaits de la Trypanosomias Americana

Philippines

<p>CIAP Construction Industry Authority of the Philippines 6th Floor, Trade & Industry Centre Tordesillas St., Salcedo Village Makati, Metro Manila</p>	<p>Principale agence traitant des matériaux et technologies de construction; conduite d'un programme (Construction Technology Research and Development program) destiné à améliorer le fonctionnement de la R & D</p>
<p>FPRDI (Forest Products Research and Development Institute) Los Baños Laguna</p>	<p>Institut de recherche renommé; bois et matériaux de construction végétaux, ainsi qu'utilisation de déchets agricoles et forestiers; plusieurs publications</p>
<p>National Housing Authority Elliptical Road Diliman Querzon City</p>	<p>Institution gouvernementale; conception et construction de logements</p>
<p>PCATT (Philippine Centre for Appropriate Technology and Training) 224 Diego Silang Street Batangas City 4201</p>	<p>Centre d'information en TA; publications variées mais peu traitent des matériaux de construction (p. ex bambou, cocotier)</p>
<p>UNDP/UNIDO Regional Network in Asia for Low-Cost Building Materials Technology and Construction Systems (RENAS-BMTCS) Office of the Regional Secretariat 10th Floor, Allied Bank Building Ayala Avenue, Makati Metro Manila</p>	<p>Centre régional d'information; trait d'union relatif aux intérêts communs et promotion de la collaboration entre institutions de recherche en construction en Asie et dans le Pacifique; périodique trimestriel NETWORK MONITOR, ainsi que plusieurs monographies sur les matériaux de construction économiques</p>
<h3>République Dominicaine</h3>	
<p>CETAVIP (Centro de Tecnología Apropiada para la Vivienda Popular) Apartado Postal 20-328 Avenida 27 de Febrero Plaza Criolla, Local 10 Santo Domingo</p>	<p>Centre de recherche sur l'habitat économique, de développement, de formation et d'information; branche exécutive du CII-Viviendas (Consejo Interinstitucional para la Coordinación de Programas de Viviendas, Inc.)</p>

République Fédérale d'Allemagne

BASIN-WAS
Wall Building Advisory Service
c/o GATE

Partenaire du Building Advisory Service and Information Network (BASIN), spécialisé en matière de construction de murs

BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
Stilleweg 2
30655 Hannover 51

Centre de recherche et d'information sur les ressources minérales; vaste expérience concernant les latérites

BORDA
Bremer Arbeitsgemeinschaft für
Überseeforschung und Entwicklung
Breitenweg 55
28195 Bremen

Bremen Overseas Research and Development Association; projets de développement urbains et ruraux (p. ex. à Pune en Inde)

DESWOS
Deutsche Entwicklungshilfe für soziales
Wohnungs- und Siedlungswesen e.V.
Bismarckstrasse 7
50672 Köln

Petite association sans but lucratif; coopération en matière de recherche, de développement et de financement à des projets d'habitat coopératifs, principalement en Amérique Latine et en Asie du Sud

GATE-GTZ
German Appropriate Technology Exchange
Postfach 51 80
65726 Eschborn

Département du German Agency for Technical Cooperation; diffusion d'informations; conduite de recherches et de projets de développement dans le monde entier; nombreuses publications intéressantes

Gesamthochschule Kassel
Forschungslabor für Experimentelles Bauen
Menzelstrasse 13
34121 Kassel

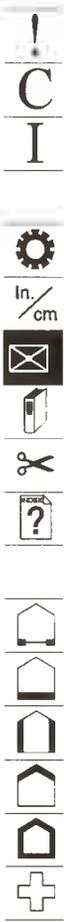
Laboratoire de recherche pour constructions expérimentales; centre alémanique renommé concernant la recherche sur la construction en terre et le développement de diverses autres techniques de construction nouvelles

Institute for Lightweight Structures (IL)
University of Stuttgart
Pfaffenwaldring 14
70569 Stuttgart 80

Institut de R & D traitant la question des fibres naturelles et synthétiques pour la réalisation de couvertures tendues légères; projet de recherche en Inde sur des constructions expérimentales en bambou

IRB (Informationszentrum Raum und Bau)
Fraunhofer-Gesellschaft München
Nobelstrasse 12
70569 Stuttgart 80

Centre de documentation et d'information concernant tous les aspects relatifs à la construction et à la conception.



KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau)
Palmengartenstrasse 5 - 9
60325 Frankfurt

Institution de financement; coopération au développement dans de nombreux domaines

Technische Universität Berlin
Planen und Bauen in Entwicklungsländern
Fachbereich 8, Institut II, Sekr. A 53
Strasse des 17 Juni 135
10623 Berlin

Institution de recherche et de formation concernée par tous les aspects de la conception et de la construction dans les pays en développement

Technische Hochschule Darmstadt
Fachgebiet Planen und Bauen
in Entwicklungsländern
Petersenstrasse 15
64287 Darmstadt

Institution de recherche et de formation concernée par tous les aspects de la conception et de la construction dans les pays en développement

TRIALOG
Vereinigung zur Wiss. Erforschung des
Planens und Bauens in Entwicklungsländern
e.V.,
Ploenniesstrasse 18
64289 Darmstadt

Association d'experts dont les compétences couvrent tous les aspects de la conception et de la construction dans les pays en développement; périodique trimestriel TRIALOG (essentiellement en allemand)

Royaume Uni

AHAS
Associated Housing Advisory Services
P.O. Box 397
London E8 1BA

Organisation faisant de la recherche; service d'information et de consultation couvrant tous les aspects de l'habitat économique et de l'autoconstruction

BASIN-CAS
Cements and Binders Advisory Service
c/o ITDG

Partenaire du Building Advisory Service and Information Network (BASIN); spécialisé en matière de ciment et liant

Cambridge Architectural Research Limited
Eden Centre
47 City Road
Cambridge CB1 1DP

Consultance spécialisée en diverses disciplines en rapport avec l'architecture, y compris la conception bioclimatique et les technologies de construction appropriées

National University of Singapore
Department of Civil Engineering
Kent Ridge
Singapore 0511

Institut de formation et de recherche; vaste expérience sur le ferrociment, le béton de fibres, l'utilisation de déchets, la consolidation des sols, etc.

Soudan

BRRI (Building and Road Research Institute)
Omdurman Islamic University
P.O. Box 1244
Khartoum

Institution gouvernementale de recherche; expérience en matière de construction en béton de fibres et autres technologies de construction économiques

Sri Lanka

National Building Research Organisation
99/1 Jawatta Road
Colombo

Institut gouvernemental de recherche; expérience en matière de construction en terre stabilisée au ciment, en briques d'argile et en béton

University of Moratuwa
Department of Civil Engineering
Moratuwa

Suède

HABITROPIC
Birkagatan 27
113 39 Stockholm

Entreprise développant des produits appropriés; conception de structures portantes économiques en treillis tridimensionnels

NFC - Natural Fibre Concrete AG
P.O. Box 1512
S - 172 29 Sundbyberg

Lund Centre for Habitat Studies
Lund University
P.O. Box 118
221 00 Lund

Groupe de coopération au développement et de recherche technique attaché à la Lund University; expérience en matière de construction économique en Tunisie

Swedish Cement and Concrete Research Institute
100 44 Stockholm

Institut de recherche (spécialisation en matière d'étude de la durabilité des fibres naturelles dans les bétons de fibres)

Suisse

BASIN-RAS
Roofing Advisory Service
c/o SKAT

Partenaire du Building Advisory Service and Information Network (BASIN), spécialisé en matière de toitures

ETH Hönggerberg
Institut für Hochbautechnik
8093 Zürich

Institut de recherche; spécialisation en matière de technologies touchant aux sols et au ferrociment

ILO
International Labour Organisation
4, route des Morillons
1211 Genève 22

Service des NU; coopération au développement dans le domaine des technologies de construction économiques; nombreuses publications

SKAT
Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management
Vadianstrasse 42
9000 St. Gallen

Organisation pour la TA; bibliothèque; coordination d'études et publications; service de vulgarisation technique (principalement en matière de toitures)

Tanzanie

Ardhi Institute
Centre for Housing Studies
P.O. Box 35124
Dar es Salaam

Institut de formation professionnelle et de recherche, doté d'une unité de documentation et d'information

Building Research Unit
Mpakani Road
P.O. Box 1964
Dar es Salaam

Institut gouvernemental de formation professionnelle et de recherche, doté d'une unité de documentation et d'information

Small Industries Development Association (SIDO)
P.O. Box 2476
Dar es Salaam

Promotion locale de petites industries, y compris celles produisant des matériaux de construction (p. ex. briques d'argile, tuiles en mortier et chaux)

Tchad

Arc-en-Terre
BP 748
N'Djamena



Thaïlande

AIT, Asian Institute of Technology
P.O. Box 2754
Bangkok 10501

Institution de recherche renommée avec la Human Settlements Division (système LOK BILD et autres technologies) et l'International Ferrociment Information Centre

Chulalongkorn University
Faculty of Architecture
Phya Thai Road
Bangkok 10500

Institut de formation et de recherche; expérience en matière de constructions économiques

ESCAP
Economic and Social Commission for Asian and the Pacific
The United Nations Building
Rajadamnern Avenue
Bangkok 10200

Service des NU avec une division spécialisée ESCAPE/UNIDO Division of Industry, Human Settlements and Technology; conduite de conférences internationales (p. ex. sur les matériaux de construction en 1987); études et séminaires de formation; nombreuses publications

National Housing Authority
905 Sukapibal 1
Bangkapi
Bangkok 10240

Institution gouvernementale responsable de la conception et de la construction de logements

Thaïlande Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)
196 Phahonyothin Rd.
Bangkhen
Bangkok 10900

Institution renommée de recherche; couvre tous les domaines des matériaux et technologies de construction économiques

Togo

Centre de la Construction et du Logement (CCL)
B.P. 1762
Lomé

Centre d'information et de recherche en construction; spécialisé en matière de matériaux de construction économiques

Vietnam

The Institute of Building Materials
Ministry of Construction
25 B Catlinh Street
Hanoi

R & D en matière de production et d'utilisation de matériaux de construction appropriés tels que ciment, chaux, briques cuites, panneaux et plaques et béton de fibres

Zimbabwe

Intermediate Technology Zimbabwe
 Gorlon House, 2nd Floor
 7 Jason Moyo Avenue
 Harare

Projet travaillant dans le secteur de l'habitat et de la production de matériaux de construction (briques en argile, blocs en terre stabilisée); création de réseaux entre organisations locales



BIBLIOGRAPHIE

Publication en langue: anglaise (A), française (F), espagnole (E), allemande (Al)

* = disponible à la bibliothèque du SKAT

00. GÉNÉRALITÉS

- 00.01 Andersson, L.A.; Amsby, L.; Johansson, B.; Pering, C.; Astrande, J.: **A Solution to Rural Housing Problems** - une solution aux problèmes de l'habitat rural, leçons tirées d'un projet pilote d'autoconstruction en Tunisie, LCHS, S-22100 Lund, Suède, 1986 (A)
- 00.02* Bery, Sunil (Ed.): **Compendium of New Construction Techniques and Materials**, National Building Organization, New Delhi, 1987 (A).
- 00.03* CIB/RILEM: **Appropriate Building Materials for Low Cost Housing**, African Region (Vol. I + II), actes d'un symposium international tenu à Nairobi (novembre 1983), E. & F.N. Spon, Londres, 1983 (A, F)
- 00.04 Dakhil, F. H.; Ural, O.; Tewfik, M. F. (Eds.): **Housing Problems in Developing Countries**, Vols. I et II, actes de la conférence internationale IAHS qui s'est tenue à la University of Petroleum and Minerals, Dharan, Arabie Saoudite, John Wiley & Sons, Chichester, 1978 (A)
- 00.05* Dancy, H. K.: **A Manual of Building Construction**, Publication IT, Londres, 1975 (A)
- 00.06* Darrow, Ken; Saxenian, Mike: **Appropriate Technology Sourcebook**, un répertoire des manuels de technologies adaptées aux villages et petites communautés, une publication des Volunteers in Asia, Stanford, CA 94305, USA, 1986 (A)
- 00.07 Denyer, Susan: **African Traditional Architecture**, Heinemann, Londres, 1978 (A)
- 00.08 Duly, Colin: **Houses of Mankind**, Thames and Hudson Ltd., Londres, 1979 (A)
- 00.09 Ebert, Wolfgang: **Home Sweet Dome - Traume vom Wohnen**, Dieter Fricke GmbH, Frankfurt am Main, 1978 (Al)
- 00.10 ESCAP: **Building Technology Series**, Matériaux et technologies de construction pour l'habitat économique dans les pays en développement où l'ESCAP est présent, Escap (IHT Div.), Bangkok, 1987 (A)
- 00.11 ESCAP, RILEM, CIB: **Building Materials for Low-income Housing**, Region Asie et Pacifique, actes d'un symposium international qui s'est tenu à Bangkok (janvier 1987), E. & F. N. Spon, Londres, 1987 (A)
- 00.12 Everett, Alan: **Materials**, Mitchell's Building Series, Batsford Academic and Educational Ltd., Londres, 1984 (A)
- 00.13 Fathy, Hassan: **Natural Energy and Vernacular Architecture Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates**, The University of Chicago Press, Chicago, 1986 (A)



- 00.14 GATE: **Building and Construction**, Issue No. 1/85 de «gate - questions, answers, information», Eschborn, 1985 (A)
- 00.15 Grasser, Klaus; Mukerji, Kiran; **Minimum Cost Housing in El Salvador**, rapport d'un projet de l'Institut für Tropenbau, Dr. Ing. G. Lippsmeier, Starnberg, en coopération avec FSDVM et CIG, San Salvador, tiré du travail du GATE, Eschborn, 1981 (A, AI, E)
- 00.16 Hale, R. P.; Williams, B. D.: **Liklik Buk**, manuel sur le développement rural en Papouasie Nouvelle Guinée, Liklik Buk Information Centre, P. O. Box 1920, Lae, PNG, 1977 (A)
- 00.17 Hedley, G.; Garrett, C.: **Practical Site Management**, manuel illustré, 2nd. Ed., George Godwin, Longman Group Ltd., Londres, 1983 (A)
- 00.18* Institution of Civil Engineers: **Appropriate Technology in Civil Engineering**, actes d'une conférence, avril 1980, Thomas Telford Ltd., Londres, 1981 (A)
- 00.19 Kahn, Lloyd (Editor): **Shelter**, Shelter Publications, Bolinas, Calif, 1973 (A)
- 00.20 Kahn, Lloyd (Editor): **Shelter II**, Shelter Publications, Bolinas, Calif, 1978 (A)
- 00.21 König, Holger: **Wege zum Gesunden Bauen**, Okobuch, Freiburg, 1985 (AI)
- 00.22 Koenigsberger, O. H.; Ingersoll, T. G.; Mayhew, A.; Szokolay, S. V.: **Manual of Tropical Housing and Building, Part 1: Climatic Design**, Longman Group Ltd., Londres, 1973 (A)
- 00.23 Kolb, Bernhard: **Beispiel Biohaus** (Maisons biologiques et solaires en région germanophone), Blok Verlag, München, 1984 (AI)
- 00.24 Krusche, P. U. M.; Althaus, D.; Gabriel, I.: **Ökologisches Bauen**, Bauverlag, Wiesbaden et Berlin, 1982 (AI)
- 00.25* Kur, Friedrich: **Bauen and Wohnen mit Naturbaustoffen**, Compact Verlag, München, 1987 (AI)
- 00.26 Mathéy, Kosta; Mrotzek-Sampat, Rita; Mukerji, Kiran: (Eds.) **TRIALOG 12: Angepasste Technologien**, TRIALOG, Darmstadt, 1987 (AI, A)
- 00.27 Mathéy, Kosta: **Angepasste Baumaterialien im Wohnungsbau für untere Einkommensgruppen in Entwicklungsländern**, Article paru dans TRIALOG 12, Darmstadt, 1987 (A)
- 00.28 Mathur, G. C. (Ed.): **Rural Housing and Village Planning**, actes d'un séminaire organisé par NBO, New Delhi, 1960 (a)
- 00.29 Minke, Gernot: **Alternatives Bauen**, compte-rendu de recherches du Research Laboratory for Experimental Building, University of Kassel, Okobuch Verlag, Grebenstein, 1980 (AI)
- 00.30 Mukerji, K.; Sulejman-Pasic, N.; Murison, H. S.; Hockings, J. E.; **Prefabrication for Low-Cost Housing in Tropical Areas**, I. F. T. Report 4, Institut für Tropenbau, Dr. Ing. G. Lippsmeier, Starnberg, 1975 (AI, A)

- 00.31 Oliver, Paul (Editor): **Shelther and Society**, Barrie and Jenkins Ltd., Londres, 1969 (A)
- 00.32 Oliver, Paul (Editor): **Shelther in Africa**, Barrie and Jenkins Ltd., Londres, 1971 (A)
- 00.33* Olive, Paul: **Dwellings - The House across the World**, Phaidon Press Ltd., Oxford, 1987 (A)
- 00.34 Pama, R. P.; Nimityongskul, P.; Cook, D. J. (Eds.): **Materials of Construction for Developing Countries**, Vols, I et II, actes d'une conférence internationale à l'AIT, Bangkok, 1978 (A)
- 00.35* Parry, John; Gordon, Andrew: **Shanty Upgrading**, manuel technique, Intermediate Technology Workshops, Cradley Heath, 1987 (A)
- 00.36 Piltz, H.; Häring, S.; Schultz, W.: **Technologie der Baustoffe**, 8th. Edición, Dr. Lüdecke-Verlagsgesellschaft mbh, Haslach i.K. 1985 (AI)
- 00.37* Rai, Mohan; Jaisingh, M. P.: **Advances in Building Materials and Construction**, Central Building Research Institute, Roorkee, 1986 (A)
- 00.38 Rapoport, Amos: **House Form and Culture**, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1969 (A)
- 00.39 Riedijk, W. (Editor): **Appropriate Technology for Developing Cuntries**, Delft University Press, Delft, 1984 (A)
- 00.40 Rudofsky, Bernard: **Architecture without Architects**, The Museum of Modern Art, New York, 1965 (A)
- 00.41 Rudofsky, Bernard: **The Prodigious Builders**, Secker + Warburg, Londres, 1977 (A)
- 00.42 Rybczynski, Witold: **Paper Heroes**, Prism Press, Dorchester, 1980 (A)
- 00.43 Schreckenbach, Hannah; Abankwa, Jackson G. K.: **Construction Technology for a Tropical Developing Country**, GTZ, Eschborn, 1983 (A)
- 00.44 Spence, R. J. S.; Cook, D. J.: **Building Materials in Developing Countries**, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 1983 (A)
- 00.45 Tutt, P.; Adler, D.: **New Metric Handbook**, The Architectural Press, Londres, 1979 (A)
- 00.46 UNIDO: **Appropriate Industrial Technology for Construction and Building Materials**, , No. 12, Nations Unies, New York, 1980 (A)
- 00.47* van Lengen, Johan: **Manual del Arquitecto Descalzo**, J.v. Lengen, Av. Eugenio Sue 45, México 5, D.F. México, 1981 (E)
- 00.48 van Winden, John; et al: **Rural Building**, cours d'enseignement technique en 4 volumes (références, connaissances de base, construction, tracé de plan), TOOL, Amsterdam, 1986 (A)



- 00.49 Vonhauer, Klaus: **Low Cost/Self Help Housing** , GATE-Modul 6/6, Eschborn, 1979 (A)
- 00.50 Wendehorst, R.: **Baustoffkunde**, Curt R. Vincentz Verlag, Hannover, 1986 (AI)
- 00.58 Willkomm, Wolfgang: **Selbstbau in Entwicklungsländern**, Ph. D. Thesis (IB 3), University of Hanover, 1981 (AI)

ADDENDUM 1993

- Andrews, V. & R.: **Tge Owner Building magazine**, Bendigo, Australia (A)
- Alsayyad, Nezar, ed.: **The Design and Planning of Housing** , College of Environmental Design, University of Petroleum and Minerals, Dhahran, 1984 (A)
- Baker, N.V.: **Passive and Low Energy Building Design for Tropical Island Climates**, Commonwealth Secretariat Publications, London, 1987 (A)
- Brown, G.Z.: **Sun, Wind and Light**, John Wiley & Sons, New York, 1985 (A)
- Golany, Gideon S., ed.: **Design for Arid Regions**, van Nostrand Reinhold Company, New York, 1983 (A)
- Golany, Gideon S., ed.: **Urban Planning for Arid Zones**, John Wiley & Sons Ltd., New York, 1978 (A)
- Gut, Paul; Ackemecht, Dieter: **Climate Responsive Building** , SKAT, St. Gallen, 1993 (A)
- Hillmann, G.; Nagal, J.; Schreck, H.: **Kilmagerechte und Energiesparende Architektur**, Verlag C. F., Muller, Karlsruhe, 1983 (AI)
- Konya, Alan: **Design Primer for Hot Climates**, The Architectural Press, Londres, 1980 (A)
- Lechner, Norbert: **Heating, Cooling, Lighting**, John Wiley & Sons Ltd., New York, 1991 (A)
- Mazria, Edward: **The Passive Solar Energy Book**, Rodale Press, Emmaus Penn., 1978 (A)
- Niles, Philip; Haggard, Kenneth: **Passive Solar Handbook**, California Energy Commission, Sacramento, 1980 (A)
- Olgay, Victor: **Design with Climate**, Pricenton University Press, Priceton, 1963 (A)

ADDENDUM 1996

- Adrat, A.; Sommier, D.: **Guide du constructeur en bâtiment**, Hachette technique, Paris, 1979 (F)

Buchi, Alban: **Le constructeur: initiation pratique à la technique des différents corps de métier du bâtiment**, 2 tomes, éd. SPES Lausanne, Paris, 1978 (F)

Chareyre, R.: **La maison autonome**, éd. Librairies Alternatives et parallèles, Paris, 1978 (F)

Chareyre, R.: **La maison autonome n°2**, éd. Librairies Alternatives, coll. AnArchitecture, Paris, 1980 (F)

Charneau; Trebbi, J.C.: **Maisons creusées, maisons enterrées**, éd. Alternatives, Coll. AnArchitecture, Paris, 1981 (F)

Espitallier, G.: **Notions sur la construction des bâtiments**, éd. Eyrolles, coll. des cours de l'école chez soi, Paris, 1980 (F)

Minke, Gernot: **Alternatives Bauen**, Ökobuch, Staufen bei Freiburg, Allemagne, 1995 (A)

Mollison, Bill: **Permaculture - A Designers' Manual**, Tagari Publications, Tyalgum, NSW, Australie, 1988 (A)

Montagnier, R.: **Cours de résistance des matériaux**, Eyrolles, Collection des cours de l'école chez soi, Paris, 1957 (F)

Neufert, Ernst: **Les éléments des projets de construction**, 2 tomes, DUNOD, 6ème éd., 1978 (F)

Nortier, I.: **La construction**, éd. DELTA et SPES, 1983 (F)

Pearson, David: **The Natural House Book**, Fireside Book, Simon & Schuster Inc., New York, USA, 1989 (A)

Röttgers, Heinrich: **The Dwelling House in the Gambia**, Ministère du Local Government and Lands, Department of Physical Planning and Housing, The Quadrangle, Banjul / Gambie, 1994 (A)

01. LA PIERRE

01.01 Carayon, B.; Gardet, J.; Berthoumieux, G. L.: **La Pierre**, GRET, Paris, 1984 (F)

01.02 CBRI: **Precast Stone Mansory Block Walling Scheme**, Building Research Note N° 7, CBRI, Roorkee, 1986 (A)

01.03 Everett, Alan: **Stones**, chapitre 4 de «Materials», Bibl. 00.14 (A)

01.04 Holmes, Stanford: **Stone - A Local Building Resource**, Appropriate Technology Vol. II, N° 3, IT Publications, Londres, 1984 (A)

01.05 Ortega, Alvaro: **Basic Technology: Stone**, Mimar 21, Concept Media, Singapour, 1986 (A)



- 01.06 Rural Water Supply Nepal: **Stone Masonry Course**, Technical Training Manual N° 2, Remote Area and Local Development Department, HMG; SATA; UNICEF, Kathmandu, 1977 (A)
- 01.07 Spence, R. J. S.; Cook, D. J.: **Stone and Stone Masonry**, chapitres 4 et 5 de «Building Materials in Developing Countries», Bibl. 00.50 (A)
- 01.08 United Nations: **Stone in Nepal**, compilé par Asher Shadmon, UNDP et Gouvernement du Nepal, Kathmandu, 1977 (A)

ADDENDUM 1993

Shadmon, Asher: **Stone - An Introduction**, IT Publications, Londres, 1989 (A)

ADDENDUM 1996

Grasser, Klaus; Minke, Gernot: **Building with Pumice**, tiré du travail du GATE, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, Allemagne, 1990 (A)

The Dry Stone Walling Association of Great Britain: **Dry Stone Walling**, une vidéo BASIN GTZ-GATE, Eschborn, Allemagne, 1991 (A)

02. TERRE, SOLS ET LATÉRITES

- 02.01 Agarwal, Anil: **Bâtir en terre. Le potentiel des matériaux à base de terre pour l'habitat du Tiers Monde**, Earthscan, Londres, 1981 (F, A, E)
- 02.02 Andersson, Lars-Anders; Johansson, Bo; Astrand Johnny: **Torba stabilisée au ciment. Etude expérimentale d'un sol d'origine local et développement de techniques pour sa mise en œuvre comme matériau de construction**. Université de Lund, Lund, Suède, 1982 (F, A)
- 02.03 Architectural Society of China: **Proceedings of the International Symposium on Earth Architecture**, ASC, Beijing, 1985 (A)
- 02.04 Arrigone, Jorge Luis: **Appropriate Technology Adobe Construction**, un projet de recherche et de démonstration sur l'utilisation de l'adobe pour la construction d'habitats économiques, National Building Research Institute, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, 1986 (A)
- 02.05 Bardou, P.; Arzoumanian, V.: **Archi de Terre**, Parantheses, Marseille, 1978 (F)
- 02.06* CRATerre - Doat, P.; Hays, A.; Houben, H.; Matuk, S.; Vitoux, F.: **Construire en terre**, L'Harmattan, Paris, 1995 (F, A, E)
- 02.07* CRATerre (H. Houben, P. E. Verney), ENTPE (M. Oliver, A. Mesbah, Ph. Michel): **Raw Earth Construction: The French Equipment**, CRATerre, Grenoble, 1987 (A)

- 02.08 CRA Terre; GAI Terre: **Marrakech 83 Habitat en Terre**, (Marrakesh 83 Earth Housing), Rexcoop - Plan Construction, Paris, 1983 (F)
- 02.09 CRA Terre (Alain Hays, et al): **Técnicas mixtas de construcción con tierra**, Rexcoop - Plan Construction, Paris, 1986 (E)
- 02.10 Department of Housing and Urban Development: **Handbook for Building Homes of Earth**, HUD, Washington, D. C., année de publication inconnue (A)
- 02.11 Dethier, Jean: **Down to Earth: Mud Architecture - an old idea, a new future**, Thames and Hudson Ltd., Londres, 1982 (A)
- 02.12 Dye, John R.: **Assembly Manual for the Tek-Block Press**, Department of Housing & Planning Research, Faculty of Architecture, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana, 1975 (A)
- 02.13 Enteiche, G.; Augusta, A.: **Soil Cement: Its Use in Building**, Nations Unies, New York, 1964 (A)
- 02.14 Fathy, Hassan: **Architecture for the Poor**, une expérience en Egypte rurale, The University of Chicago Press, Chicago, 1973 (A)
- 02.15 GATE (Ed.): **Lehmarchitektur**, Rétrospective - Perspectives, actes d'un symposium tenu à Frankfurt en mars 1982, tiré du travail du GATE, Eschborn, 1982 (Al)
- 02.16 Gieth, Thomas: **Construction of Low-Cost Dwelling with Compacted Soil Blocks** (Prototipo «A»). C. T. A., Catholic University, Asunción, 1984 (A)
- 02.17 Guérin, Laurent: **Principes directeurs pour l'emploi de la terre crue**, ILO, Genève, 1985 (F)
- 02.18 Hammond, A. A.: **Prolonging the Life of Earth Buildings in the Tropics**, Building Research and Practice (mai/juin 1973), Building and Road Research Institute, UST Kumasi, 1973 (A)
- 02.19 Houben, Hugo; Guillaud, Hubert: **Earth Construction I**, Bruxelles, 1984 (A)
- 02.20 Jagadish, K. S.; Venkatarama, Reddy, B. V.: **A Manual of Soil Block Construction**, Alternative Building Series - 1, Centre for Application of Science and Technology for Rural Areas (ASTRA), Indian Institute of Science, Bangalore, janvier 1981 (A)
- 02.21 Lander, Helmut; Niermann, Manfred: **Lehm-Architektur in Spanien und Afrika**, Karl Robert Langewiesche Nachfolger Hans Köster, Königstein im Taunus, 1980 (Al)
- 02.22 Lola, Carlos R.: **Research Efforts on Soil Cement Stabilization for Low-Cost Housing in Nicaragua**, University of Tennessee, Knoxville, décembre 1981 (A)
- 02.23 Lola, Carlos R.: **ADAUA Earthen Construction Techniques**, AT International, Washington, D. C., 1983 (A)



- 02.24 Lou Má, Roberto E.: **La Ceta-Ram**, une presse pour produire des blocs creux en terre stabilisée au ciment et s'inspirant de la conception de la CINVA-Ram, CETA, Guatemala, février 1977 (E, A)
- 02.25* Lou Má, Roberto E.: **Two Manually Operated Block Presses CETA-Ram and CETA-Ram II**, CETA, Guatemala, 1984 (A)
- 02.26 McHenry jr., P. G.: **Adobe and Rammed Earth Buildings**, Conception et réalisation, John Wiley & Sons Ltd., New York, 1984 (A)
- 02.27 Minke, Gernot: **Lehmbauforschung**, développement et tests de méthodes partiellement mécanisées de damage de la terre et de techniques utilisant la terre humide, Schriftenreihe Heft 8, Fachbereich Architektur, Gesamthochschule Kassel, 1984 (A)
- 02.28* Minke, Gernot y (Ed.): **Bauen mit Lehm**, ouvrage sur la construction en terre, comprenant de nouveautés, de recherches et de réalisations, Ökobuch-Verlag, Grebenstein/Freiburg, 1984/1987 (A)
- 02.29 Mukerji, K.; Bahlmann, H. ; **Laterite for Building**, I. F. T. Reporte 5, Institut für Tropenbau, Dr. Ing. Georg Lippsmeier, Starnberg, 1978 (A, AI)
- 02.30 Mukerji, K. ; **Soil Block Presses**, aperçu général, GATE, Eschbom, 1986 (A)
- 02.31 Niemeyer, Richard: **Der Lehm und seine praktische Anwendung**, réimpression de l'exemplaire original datant de 1946, Ökobuch-Verlag, Grebenstein 1982 (AI)
- 02.32* Norton, John: **Building with Earth**, guide, IT Publications Ltd., Londres, 1986 (A)
- 02.33 Odul, Pascal: **Case Studies on Earth Construction: Synthesis** , PGC-HS, Katholieke Universiteit Leuven, 1984 (A)
- 02.34 Odul, Pascal; et al: **Exhibition on Earth Construction Technologies Appropriate to Developing Countries- The Technical Issue**, AGDC/UNCHSPGC-HD-KUL/CRA-UCL/CRATerre, disponible chez ATOL, Leuven, 1984 (A)
- 02.35 Popposwamy (alias Reinhold Pingel): **Village Houses in Rammed Earth - an Indian Experiment**, Reihe dü scriptum, Dienste in übersee, Stuttgart, 1980 (AI, A, F)
- 02.36 Schneider, Jürgen: **Am Anfang die Erde - Sanfter Baustoff Lehm**, Das Buch zur ZDF-Sendung im Februar 1985, Edition Fricke, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 1985 (AI)
- 02.37* SKAT: **Soil Block Making Equipment**, compilation de quelques systèmes, machines et équipement très répandus, Working Paper 05/84, SKAT, St. Gallen, novembre 1984 (A, F, E)
- 02.38 Stulz, Roland: **Earth for Construction**, Appropriate Technology Vol. 11, N°3, IT Publications, Londres, 1984 (A)

- 02.39 Venkatarama, Reddy, B. V.; Jagadish, K. S.; Nageswara Rao, M.: **The Design of a Soil Compaction Ram for Rural Housing**, Alternative Building Series - 4, ASTRA, Indian Institute of Sciences, Bangalore, April 1981 (A)
- 02.40* VITA: **Making Building Blocks with the CINVA-Ram Block Press**, Mt. Rainier, 1977 (A)
- 02.41 Volhard, Franz: **Leichtlehm**, alter Baustoff - neue Technik, Verlag C. F. Muller, Karlsruhe, 1983 (AI)
- 02.42 Wolfskill, L. A.; Dunlap, W. A.; Gallaway, B. M.: **Earthen Home Construction**, compilation d'ouvrages avec références bibliographiques, Texas Transportation Institute, College Station, 1962 (A)

ADDENDUM 1993

AGDC, ABOS, UNCH- Habitat, **Earth construction technologies appropriate to developing countries**, actes d'une conférence, Bruxelles, 1984 (A)

Bourgeois, J. L.; Pelos, C.: **Spectacular venacular. The adobe tradition**, Aperture Foundation, New York, USA, 1989 (A)

CRATerre: Houben, H.; Guillaud, H.: **Traité de construction en terre**. In: *L'encyclopédie de la construction en terre. Vol. 1*, Editions Parenthèses, Marseille, France, 1989 (F, A)

CRATerre: Guillaud, H.: **Modernité de l'architecture de terre en Afrique. Réalisations des années 80**, CRATerre, Grenoble, France, 1989 (F)

CRATerre- EAG, ICCROM: **5th. International Meeting of Experts on the Conservation of Earthen Architecture**, Grenoble, France, 1988 (F)

CRATerre- EAG: **Marrakech 87, Habitat en Terre**, Grenoble, France, 1987 (F)

CRATerre- EAG, Doat, P.; Hays, A.; Houben, H.; Matuk, S.; Vitoux, F.: **Building with earth**, Rakmo Press Pvt. Ltd., New Delhi, 1991 (en vente seulement en Asie du Sud) (A)

CRATerre- EAG: **Compressed Earth Block Production**, Video (25 min.), Eschborn, Allemagne, 1991 (A)

CRATerre- EAG: **Basics of Compressed Earth Blocks**, GATE, Eschborn, Allemagne, 1991 (A)

Development Workshop - pour UICN/WWF: «Conservation et Gestion des Ressources Naturelles dans l'Air et le Tenéré», **Les toitures sans bois**, Lauzerte, France, 1990 (F)

Houben, H.; Guillaud, H.: **Earth Construction Technology**, - 4 volumes, UNCHS (Habitat), Nairobi, 1986 (A)



Middleton, G. F.; Schneider, L. M.: **Earth-wall construction**. bulletin n° 5, 4ème éd., National Building Technology Centre, Chatswood, Australie, 1987 (A)

Mukerji, K.; CRATerre-EAG: **Soil Block Presses, Product Information**, GATE, Eschborn, Allemagne, 1988 (A)

Mukerji, K.; Wörner, H.; GATE; CRATerre-EAG; **Soil Preparation Equipment - Product Information**, Eschborn, Allemagne, 1991 (A)

Tibbets, J. M.: **The earthbuilder's encyclopedia**, Southwest Solaradobe School, New Mexico, USA, 1988 (A)

ADDENDUM 1996

BASIN Wall: **Wall Building - Technical Brief: Building with Interlocking Blocks**, par Karl Weinhuber, GATE, Eschborn, Allemagne, 1995 (A)

BASIN Wall: **Construction de murs - Etude de cas**, par le Development Workshop, Lauzerte, France

La construction sans bois - 1: Vue d'ensemble

La construction sans bois - 2: la formation de formateurs et de maçons: étude de cas à Filingué, Niger

La construction sans bois - 3: Evolution et adaptation aux besoins locaux: étude de cas à Mopti, Mali

GATE, Eschborn, Allemagne, 1995 (F, A)

Bauluz del Rio G., Bárcena Barrios P.: **Bases para el diseño y construcción con tapial**, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, Espagne, 1992 (E)

CRATerre: Guillaud H. **La terre crue, des matériaux, des techniques et des savoir-faire au service de nouvelles applications architecturales. Encyclopédie du bâtiment. N° 46**; Editions Techniques; éditions Eyrolles; Paris; France; 1990; ISBN : 14 14723. (F)

CRATerre: Guillaud H., Joffroy Th.; CECTech: Gella Y., Ogunsusi V., Kolawole P. **Centre for Earth Construction Technology CECTech** (centre pour la technologie de la construction en terre) Ministry of Foreign Affairs, Section for Development and Scientific, Technical and Educative Cooperation Cultural, Scientific and Cooperation Section of the French Embassy; National Commission for Museums and Monuments; Jos; Nigeria; 1994 (A)

CRATerre : Guillaud H., Joffroy Th. ; CECTech : Ogunsusi V. **Earth construction technology. Materials, techniques & know-how for new architectural achievements** (technologies de construction en terre, matériaux, techniques et savoir-faire pour nouvelles pratiques architecturales); CECTech, CRATerre-EAG, Jos / Grenoble, Nigeria / France, 1995 (A)

CRATerre : Houben H., Guillaud H. **Earth construction. A comprehensive guide** (la construction en terre - un manuel de vulgarisation) IT Publications; Londres; Royaume-Uni; 1994; ISBN 1 85339 193 X. (A)

CRATerre-EAG: **Earth Building Materials and Techniques: Select Bibliography** (techniques et matériaux pour la construction en terre: bibliographie); GATE; Eschborn; Allemagne; 1991 (A)

CRATerre-EAG: **Blocs de terre comprimée - choix du matériel de production**; CDI; Bruxelles; Belgique; 1994 (F, A)

CRATerre-EAG. **Blocs de terre comprimée. Manuel de conception et de construction**; GATE; Eschborn; Allemagne; 1995; (F, A)

CRATerre-EAG. **Blocs de terre comprimée. Manuel de production**. GATE, Eschborn, Allemagne, 1995 (F)

Easton D. **Dwelling on earth. A manual for the professional application of earthbuilding techniques** (maisons en terre - un manuel pour l'application professionnelle des techniques de construction en terre); Napa; Etats-Unis; 1991 (A)

Edwards R. **Basic rammed earth. An alternative method to mud brick building** (pisé - une alternative à la construction en adobe); The Rams Skull Press; Kuranda; Australie; 1988; ISBN 0 90990 1 80 5; (A)

Edwards R. **Mud brick techniques** (la technique de l'adobe); The Rams Skull Press; Kuranda; Australie; 1990; ISBN : 0 90990 1 98 8; (A)

Edwards R., Lin Wei-Hao. **Mud brick and earth building. The Chinese way** (adobe et construction en terre - la technique chinoise); The Rams Skull Press; Kuranda; Australie; 1984; ISBN 0909901-341; (A)

Fathy, H.: **Construire avec le peuple. Histoire d'un village d'Egypte : Gournia**; Editions Jérôme Martineau; Paris; France; 1970 (F)

Font, F.; Hidalgo, P.: **El tapial. Una tècnica constructiva millenària**. Fermín Font; Pere Hidalgo; Barcelone; Espagne; 1991 (Catalan).

Hernández, Ruiz, L.E., Márquez, Luna, J.A. **Cartilla de pruebas de campo para la selección de tierras en la fabricación de adobes**; CONESCAL; Mexico; Mexique; 1983; ISBN 968-29-0055-7; (E)

Iterbeke, M.; Jacobus, P.: **Soil-cement technology for low-cost housing in rural Thailand. An evaluation study** (technologie terre-ciment pour l'habitat économique en milieu rural thaïlandais); PG-CHS-KULeuven; Leuven; Belgique; 1988; ISBN 97-43200-53-1; (A)



Jeannet, J.; Pignal, B.; Pollet, G.; Scarato, P.: **Le pisé. Patrimoine, restauration, technique d'avenir. Les cahiers de construction traditionnelle**; Editions CREER; Nonette; France; 1993; ISBN 2-902894-91-0; (F)

McHenry, P.G.: **Adobe and rammed earth buildings. Design and construction** (constructions en adobe et pisé - conception et construction); Wiley-Interscience; New York; Etats-Unis; 1984; ISBN 0-8165-1124-1; (A)

Medellin, Anaya, A.; Renero, J.L.; Ipiña, F.; Castro de la Rosa, S.: **La casa de tierra**; Instituto Tamaulipeco de vivienda y Urbanización; Mexico; Mexique; 1990 (E)

Middleton, G.F.; Schneider, L.M.: **Earth-wall construction** (la construction de murs en terre); *Bulletin n° 5 Fourth edition*, National Building Technology Centre; Chatswood; Australie; 1987; ISBN 0-642-12289X; (A)

Minke, Gernot: **Lehmbau. Handbuch. Der Baustoff Lehm und seine Anwendung.** (construire en terre - manuel - le matériau terre et son utilisation), Ökobuch, Staufen bei Freiburg, Allemagne, 1994; ISBN 3-922964-56-7; (AI)

Olivier, M.: **Le matériau terre, compactage, comportement, application aux structures en blocs de terre**; INSA; Lyon; France; 1994 (F)

Pearson, G.T.: **Conservation of clay & chalk buildings** (conservation des constructions en terre et en calcaire); Donhead; Londres; Royaume Uni; 1992; ISBN 1 873 394 00 4; (A)

Pudeck, Jörgen; Stillefors, Björn: **Adobe school furniture handbook - A manuel on construction of furniture from mud** (manuel traitant des aménagements intérieurs en terre), SIDA, Stockholm, Suède, 1993 (A)

Rodriguez, E.; Martinez, R.: **Suelo cemento. Fundamentos para la aplicación en Cuba**; Instituto nacional de la Vivienda; Ciudad Habana; Cuba; 1991 (E)

Schillberg, K.; Knieriemen, H.: **Naturbaustoff Lehm. Moderne Lehm-bau-technik in der Praxis - bauen und sanieren mit Naturmaterialien** (la terre matériau de construction naturel - techniques modernes - construire et restaurer avec des matériaux naturels); AT Verlag; Aarau; Suisse; 1993; ISBN 3 85502 466 9; (AI)

Smith, R.G.; Webb, D.J.T.: **Small-scale manufacture of stabilised soil blocks** (petites unités de production de blocs en terre stabilisée); *Technology series, Technical memorandum n° 12*; BIT; Genève; Suisse; 1987; ISBN 92-2-105838-7; (A)

Stedman, M. et W.: **Adobe architecture**; The Sunstone Press; Santa Fe; Etats-Unis; 1987; ISBN 0-86534-111-7; (A)

Tibbets, J.M.: **The earthbuilders' encyclopedia**; Southwest Solaradobe School; Albuquerque; Etats-Unis; 1988; ISBN 0-9621885-0-6; (A)

- 03.09 Webb, Davis J. T.: **Stabilized Soil Construction in Kenya**, actes de la conférence internationale «Economical housing in developing countries: materials, construction techniques, components», RILEM, Paris, 1983 (A)

ADDENDUM 1993

- Itebeke, M.; Jacobus, P.: **Soil-cement technology for low-cost housing in rural Thailand. An evaluation study**, PG-CHS-KULeuven, Belgique, 1988 (a)
- Ingles, O. G.; Metcalf, J.B.: **Soil Stabilization - Principles and Practice**, Butterworths, Sydney, Australie, 1972 (A)
- Smith, R. G.; Webb, D.J.T.: **Small-scale manufacture of stabilised soil blocks**, *Technology Series, Technical memorandum n°12*, International Labour Office, Genève, Suisse, 1987 (A)
- Vénuat, Michel: **Le traitement des sols à la chaux et au ciment**, CERILH, Paris, France, 1980 (F)

ADDENDUM 1996

- CRATerre: Houben, H.; Guillaud, H.: **Stabilisation**; Chapitre 4 de „Traité de construction en terre“; Bibl. 02. Add. 1996 (F, A)
- CRATerre-EAG: **Stabilisation**. Chapitre 3 de «Blocs de terre comprimée. Manuel de production»; Bibl. 02. Add. 1996 (F, A)
- CRATerre; Mukerji, K.: **Stabilizers and Mortars for compressed earth blocks** (stabilisants et mortiers pour blocs en terre comprimée); GATE; Eschborn; Allemagne; 1994 (A)
- Davis M. **How to make low-cost building blocks. Stabilized soil block technology**. IT Publications, Londres, Royaume-Uni, 1994. Manuel : 210x297 mm, 27 pages, graph. (A)

04. LES PRODUITS EN ARGILE CUITE

- 04.01 Bogahawatte, V. T. L.: **Non Mechanized Brickmaking in Sri Lanka**, National Building Research Organization, Colombo, 1986 (A)
- 04.02 Gallegos, et al: **Construyendo con Ladrillo**, INIAVI, Lima, Perou, 1977 (E)
- 04.03 Hill, Neville R.: **A clamp can be Appropriate for the Burning of Bricks**, Appropriate Technology Vol. 7, N° 1, IT Publications, Londres, 1980 (A)
- 04.04* ILO/UNIDO: **Small-scale Brickmaking**, Memorandum Técnico N° 6, International Labour Office (ILO), Genève, Suisse, 1984 (A)

- 04.05 Keddie, James; Cleghorn, William: **Least Cost Brickmaking**, Appropriate Technology Vol. 5, N° 3, IT Publications, Londres, 1978 (A)
- 04.06 Keddie, James; Cleghorn, William: **Brick Manufacture in Developing Countries**, Scottish Academic Press Ltd., Edinburgh, 1980 (A)
- 04.07 Marciano, Michel: **Dossier Presses à Briques**, GRET, Paris, août 1985 (F)
- 04.08* Mestiviers, Bernard: Le point sur **Briques et Tuiles**, Dossier N° 6, GRET, Paris, novembre 1985 (F)
- 04.09 Parry, John: **The Brick Industry**, Conservation de l'énergie et stades de production, Appropriate Technology Vol. 2, N° 1, IT Publications, Londres, 1975 (A)
- 04.10 Parry, John: **Better Brickmaking for Developing Countries**, Appropriate Technology Vol. 5, N° 1, IT Publications, Londres, 1978 (A)
- 04.11 Parry, John: **Brickmaking in Developing Countries**, document préparé pour l'Overseas Division, Building Research Establishment, Watford, 1979 (A)
- 04.12 Smith, Ray: **Improved Moulding Devices for Hand-made Bricks**, Appropriate Technology Vol. 7, N° 4, IT Publications, Londres, 1981 (A)
- 04.13 Spence, Robin: **Brick Manufacture using the Bull's Trench Kiln**, Appropriate Technology Vol. 2, N° 1, IT Publications, Londres, 1975 (A)

ADDENDUM 1996

BASINWall: **Buiding Wall - Technical Briefs** (La construction des murs - lettres techniques), GATE, Eschborn, Allemagne, 1995 (A)

Brick Clamps by Tim Jones (Les fours de campagnes)

The Vertical Shaft Brick Kiln by Tim Jones (Le four vertical)

Hoffmann Kilns by Tim Jones (Les fours Hoffmann)

Bull's Trench Brick Kiln by Henrik Norsker (Le four à tranchée de Bull)

Beamish, Anne; Donovan, Will: **Village-Level Brickmaking** (production villageoise de briques), tiré du travail du GATE, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, Allemagne, 1989 (A)

Jones, Tim: **The Basics of Brick Kiln Technology** (éléments de base de la technologie des fours à briques), GATE, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, Allemagne, 1996 (A)

Merschmeyer, Gerhard: **Basic know-how for the making of burnt bricks and tiles - Handbook for Village brickmakers in Africa** (méthodologie de production de briques et carreaux cuits - manuel pour les briquetiers villageois d'Afrique), Misereor, Aachen, Allemagne, 1989 (A)



Mukerji, K.; Wörner, H.; Merschmeyer, G.: **Product Information: Clay Brick and Tile Moulding Equipment** (informations sur les produits: équipements pour le moulage de briques et carreaux en argile), tiré du travail du GATE, Eschborn, Allemagne, 1991 (A)

05. LES LIANTS

(voir aussi *Chaux, Ciment et Matériaux pouzzolaniques*)

- 05.01 Apers, Jef: **Binders: Alternatives to Portland Cement**, Technisch Dossier, ATOL, Leaven, 1983 (A)
- 05.02 Bardin, F.: **Le Plâtre: production et utilisation dans l'habitat**, GRET, Paris, 1982 (F)
- 05.03 CBRI: **Gypsum as a Building Material**, Building Research Note N°14, CBRI, Roorkee, 1983 (A)
- 05.04 CBRI: **Mechanical Pan Calcination System for Gypsum Plaster and Plaster Boards**, Project Proposal N°61, CBRI, Roorkee, 1986 (A)
- 05.06 Everett Alan: **Bituminous Products**, chapitre 11 de «Materials», Bibl. 00.14 (A)
- 05.07 Kinniburgh, William: **Bitumrn Coverings for Flat Roofs**, Overseas Building Notes N° 180, BRE, Watford, 1978 (A)
- 05.08 Ortega, Alvaro: **Basic Technology: Gypsum, its production and uses**, Mimar 18, Concept Media, Singapour, 1985 (A)
- 05.09 Smith, Ray: **Small-Scale Production of Gypsum Plaster for Building in the Cape Verde Islands**, Appropriate Technology Vol. 8, N°4, IT Publications, Londres, 1982 (A)
- 05.10 Spence, Robin: **Small-Scale Production of Cementitious Materials**, IT Publications Ltd., Londres, 1980 (A)
- 05.11 Spence, R. J. S.; Cook, D. J.: **Gypsum, lime and pozzolanas**, chapitre 6 de «Building Materials in Developing Countries», Bibl. 00.50 (A)

ADDENDUM 1993

Coburn, A.; Dudley, E.; Spence, R.: **Gypsum Plaster- Its manufacture and use**, IT Publications, Londres, 1989 (A)

Hill, N.; Holmes, S.; Mather, D.: **Lime and Other Alternative Cements**, IT Publications, Londres, 1992 (A)

ADDENDUM 1996

BASIN Cements: **Low-cost Cements** (ciments économiques), série de lettres techniques traitant de divers types de liants, de leur production et de leur emploi, ITDG, Rugby, UK, 1995 (A, E)

Verhasselt, André: **Sable-cendre volante: influence de la nature du granulat**, Bulletin n°30 de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, Paris, 1984 (F)

Verhasselt, A.: **Etude des matériaux et des réactions pouzzolaniques par voie chimique**, Centre de Recherche Routière, n° 760 - 3/86 de Ciments, bétons, plâtres et chaux, Bruxelles, Belgique, 1986 (F)

06. LA CHAUX

(voir aussi Matériaux pouzzolaniques)

06.01 CBRI: **Building Material from Lime Kiln Rejects**, Building Materials Note N° 21, CBRI, Roorkee, 1978 (A)

06.02 CBRI: **Manufacture of Lime and Lime Products**, Project Proposal N° 56, CBRI, Roorkee, 1985 (A)

06.03* Chantry, G.: **La Chaux: production et utilisation dans l'habitat**, GRET, Paris, 1981 (F)

06.04 Everett Alan: **Limes and Cements**, chapitre 7 de «Materials», Bibl. 00.14 (A)

06.05 Ortega, Alvaro: **Basic Technology: Lime and its production**, Mimar 17, Concept Media, Singapour, 1985 (A)

06.06 Spence, Robin: **Lime in Industrial Development**, un guide UNIDO sur ses utilisations et sa production dans les pays en développement, Sectoral Studies Services N° 18, (et Vol. II: Directory), UNIDO, Vienne, 1985 (A)

06.07 Spiropoulos, John: **Small Scale Production of Lime for Building**, tiré du travail du GATE, Eschborn, Vieweg Verlag, Braunschweig, 1985 (A)

06.08* Wingate, Michael: **Small-Scale Lime-Burning. A Practical Introduction**, IT Publications Ltd., Londres, 1985 (A)

ADDENDUM 1993

Spiropoulos, J.: **Chenkumbi Lime**, IT Publications Ltd., Londres, 1992 (A)



ADDENDUM 1996

Choquet, F.; Huet, J.: **Les chaux: classification et terminologie**, revue des matériaux de construction n° 706 -3/77, Centre de Recherches Routières, Bruxelles, Belgique, 1977 (F)

Van Ganze, R.: **Quelques aspects théoriques et pratiques de la stabilisation à la chaux - Effets immédiats de la chaux**, La technique routière vol. XVI - n°3/1971, Centre de Recherches Routières, Bruxelles, Belgique, 1971 (F)

Verhasselt, André: **Le traitement des sols à la chaux: point de la question**, La technique routière vol. XX - n°1/1975, Centre de Recherches Routières, Bruxelles, Belgique, 1975 (F)

07. LE CIMENT

07.01 CBRI: **Magnesium oxychloride cement based materials**, Project Proposal N° 57, CBRI, Roorkee, 1982 (A)

07.02 CBRI: **Cement Paints**, Building Research Note N° 21, CBRI, Roorkee, 1986 (A)

07.03 Everett Alan: **Limes and Cements**, chapitre 7 de «Materials», Bibl. 00.14 (A)

07.04 Sigurdson, Jon: **Small Scale Cement Plants**, IT Publications Ltd., Londres, 1977 (révision en 1979) (A)

07.05 Spence; Cook: **Portland and other cements**, chapitre 7 de «Building Materials in Developing Countries», Bibl. 00.50 (A)

ADDENDUM 1993

Sinha, S.: **Mini-cement - a review of Indian experience**, IT Publications Ltd., Londres, 1990 (A)

08. LES MATÉRIAUX POUZZOLANIQUES

08.01 Apers, J.; Pletinck, M.: **A Lime-Pozzolana Cement Industry in Rwanda**, Appropriate Technology Vol. 11, N° 4, IT Publications, Londres, 1985 (A)

08.02 CBRI: **Proportioning of Fly Ash Concrete Mix**, Building Digest Note N° 79, CBRI, Roorkee, 1970 (A)

08.03 Metha, P. K.: **Rice hull ash cement - high quality, acid resistings**, Journal of the American Concrete Institute, Vol. 72, N° 5, Detroit, 1975 (A)

08.04* Regional Centre for Technology Transfer -RCTT: **Rice Husk Ash Cement**, actes d'un atelier organisé conjointement par UNIDO, ESCAP, RCTT, PCSIR, Bangalore, 1979 (A)

- 08.05 Smith, Ray: **Rice Husk Ash Cement**, progrès dans les développements et applications, IT Publications Ltd., Londres, 1984 (A)
- 08.06 Spence, Robin: **Lime and Surkhi Manufacture in India**, Appropriate Technology Vol. 1, N° 4, IT Publications, Londres, 1974 (A)
- 08.07* Swamy, R. N. (Ed.): **Cement Replacement Materials**, Concrete Technology and Design, Vol. 3, Surrey University Press, Blackie & Son Ltd., Londres, 1986 (A)
- 08.08 UNIDO: **Rice-Husk Ash Cements - their development and applications**, Vienne, 1984 (A)
- 09. LE BÉTON**
- 09.01 Arrigone, Jorge Luis: **Low-cost roof building technology - Three case studies using locally manufactured building components**, National Building Research Institute, Pretoria, 1983 (A)
- 09.02 CBRI: **Deterioration of Concrete in Sulphate and Soft Waters**, Building Digest Note N° 36, CBRI, Roorkee, 1965 (A)
- 09.03 CBRI: **Precast R. C. Plank Flooring/Roofing Scheme**, Building Research Note N° 4, CBRI, Roorkee, 1982 (A)
- 09.04 CBRI: **Thin R. C. Ribbed Slab for Floors and Roofs**, BRN N° 5, CBRI, Roorkee, 1987 (A)
- 09.05 CBRI: **Concrete Floor Hardness**, BRN N° 27, CBRI, Roorkee, 1984 (A)
- 09.06 CBRI: **Autoclaved Cellular Concrete**, BRN N° 48, CBRI, Roorkee, 1986 (A)
- 09.07 CTRD (Construction Technology Research and Development Program): **Lightweight Concrete and High Strength Concrete in the Philippines**, Construction Industry Authority of the Philippines, Makati, Metro Manila, (pas de date) (A)
- 09.08 Everett Alan: **Concretes**, chapitre 8 de «Materials», Bibl. 00.14 (A)
- 09.09 Lu Xihong; Yan Ziliang: **Cold drawn low-carbon steel wire prestressed concrete technology** (Engineers of Jiangsu Research Institute of Building Constructio, China), Network Monitor, Vol. 3, N° 1, UNDP/UNIDO (RENAS-BMTCS), Manila, 1986 (A)
- 09.10 Maher, A.; Makhdoomi, S. A.: **Appropriate Concrete Mix Proportions for Lower Cost and Higher Quality**, S. M. Report N° 2, National Building Research Institute, Karachi, 1984 (A)
- 09.11 Spence, R. J. S.; Cook, D. J.: **Concrete**, chapitre 8 de «Building Materials in Developing Countries», Bibl. 00.50 (A)
- 09.12* Swamy, R. N. (Ed.): **New Concrete Materials**, Concrete Technology and Design, Vol. 1, Surrey University Press, Blackie & Son Ltd., Londres, 1983 (A)



- 09.13* Swamy, R. N. (Ed.): **New Reinforced Concretes**, Concrete Technology and Design, Vol. 2, Surrey University Press, Blackie & Son Ltd., Londres, 1984 (A)

ADDENDUM 1993

Simonnet, J. LBTP. **Recommandations pour la conception et l'exécution de bâtiments en géobéton**, LBTP. Abidjan, Côte d'Ivoire, 1979 (F)

ADDENDUM 1996

Mukerji, K.; Wörner, H.; Ruskulis, O.: **Product Information: Concrete Block Producing Equipment**, GATE, Eschborn, Allemagne, 1991 (A)

10. LE FERROCIMENT

- 10.01 BOSTID (Board on Science and Technology for International Development): **Ferrocemento: Applications in Developing Countries**, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1973 (a)
- 10.02 International Ferrocement Information Center - IFIC (Ed.): **Housing Applications of Ferrocement**, Journal of Ferrocement, Vol. 11, N° 1, IFIC, Bangkok, 1981 (A)
- 10.03 International Ferrocement Information Center - IFIC (Ed.): **Prefabricated Ferrocement Housing**, Journal of Ferrocement, Vol. 13, N° 1, IFIC, Bangkok, 1983 (A)
- 10.04 International Ferrocement Information Center - IFIC (Ed.): **Ferrocement Prefabrication & Industrial Applications**, Journal of Ferrocement, Vol. 16, N° 3, IFIC, Bangkok, 1986 (A)
- 10.05 Shah, S. P.; Balaguru, P. N.: **Ferrocement**, tiré de «New Reinforced Concretes», Bibl. 09.13 (A)
- 10.06 Spence, R. J. S.; Cook, D. J.: **Ferrocement**, chapitre 9 de «Building Materials in Developing Countries», Bibl. 00.50 (A)
- 10.07* Watt, S. B.: **Ferrocement Water Tanks** and their construction, Intermediate Technology Publications, Londres, 1978 (A)
- 10.08* Watt, S. B.: **Septic Tanks and Aqua-privies from Ferrocement**, Intermediate Technology Publications, Londres, 1984 (A)

ADDENDUM 1996

Unal, Joël: **Pratique du voile de béton en autoconstruction**, éd. Alternatives, Coll. AnArchitecture, Paris 1981 (F)

11. LE MORTIER DE FIBRES

- 11.01 Aziz, M. A.; Paramasivam, P.; Lee, S. L.: **Concrete reinforced with natural fibres**, tiré de «New Reinforced Concretes», Bibl. 09.13 (A)
- 11.02 Baradyana, J. S.: **Sisal fibre concrete roofing sheets**, tiré de «Building Materials for Low-income Housing», Bibl. 00.13 (A)
- 11.03* Beck, V.; Gram, H. E.; Wehrle, K.: **Fibre Concrete Roofing: Towards a mature technology**, FCR-News, SKAT, St. Gallen, 1987 (A)
- 11.04 Berhane, Z.: **Durability of mortar roofing sheets reinforced with natural fibres: A review of the present state-of-the-art**, tiré de «Building Materials for Low-income Housing», Bibl. 00.13 (A)
- 11.05 Evans, Barrie: **Understanding Natural Fibre Concrete**, son emploi comme matériau de construction, IT Publications Ltd., Londres, 1986 (A)
- 11.06 Fageiri, O. M. E.: **Use of kenaf fibres for reinforcement of rich cement-sand corrugated sheets**, tiré de «Appropriate Building Materials for Low-Cost Housing», Bibl. 00.04 (A)
- 11.07 Gram, H. E.; Persson, H.; Skarendahl, A.: **Natural Fibre Concrete**, SAREC Report R2: 1984, Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries, S-10525 Stockholm, 1984 (A)
- 11.08* Gram, H. E.; Parry, J. P. M.; Rhyner, K.; Schaffner, B.; Stulz, R.; Wehrle, K.; Wehrli, H.: **FCR - Fibre Concrete Roofing**, SKAT, St. Gallen, 1986 (A)
- 11.09 Gram, H. E.; Nimityongskul, P.: **Durability of natural fibres in cement-based roofing sheets**, tiré de «Building Materials for Low-income Housing», Bibl. 00.13 (A)
- 11.10 Guimarães, S. da S.: **Some experiments in vegetable fibre-cement composites**, tiré de «Building Materials for Low-income Housing», Bibl. 00.13 (A)
- 11.11 Kerr, J. G.: **Fibre reinforced concrete**, en «New Reinforced Concretes», Bibl. 09.13 (A)
- 11.12 Lola, Carlos R.: **Fibre Reinforced Concrete Roofing Sheets**, Technology Appraisal Report, AT International, Washington, D. C., 1985 (A)
- 11.13 Mawenya, A. S.: **Developments in sisal fibre reinforced concrete**, tiré de «Appropriate Building Materials for Low-Cost Housing», Bibl. 00.04 (A)
- 11.14 Mwamilla, B. L. M.: **Characteristics of natural fibrous reinforcement in cement-based matrices**, tiré de «Building Materials for Low-income Housing», Bibl. 00.13 (A)
- 11.15 Parry, John: **Fibre Concrete Roofing**, Intermmediate Technology Workshops, Cradley Heath, 1985 (A)



- 11.16 Spence, R. J. S.; Cook, D. J.: **Composites**, chapitre 10 de «Building Materials in Developing Countries», Bibl. 00.50 (A)
- 11.17 Swift, D. G.; Smith, R. B. I.: **Sisal-cement composites as Low-Cost Construction Materials**, Appropriate Technology Vol.6, N°3, IT Publications, Londres, 1979 (A)

ADDENDUM 1993

Gut, Paul; Gram, Hans-Erik et al: **FCR/MCR Toolkit**, présentation des différents éléments de cette technologie, SKAT, St, Gallen, 1991 (A)

Macwhinnie, Ian: **An Introduction to FCR/MCR Production**, Une video de BASIN, ITDG/GTZ-GATE, Eschborn, 1990 (A)

SKAT: The Basics of Concrete Roofing Elements, Fundamental Information on the Micro Concrete Roofing (MCR) and Fibre Concrete Roofing (FCR) Technology for Newcomers, Decisionmakers, Technicians, Field Workers and all those who want to know more about MCR and FCR, SKAT, St. Gallen, 1989 (A)

ADDENDUM 1996

Klein, Michel: **Charpentes et toitures en tuiles de mortier vibré au Burkina Faso - Dossier photo et mode opératoire pour la préfabrication artisanale de fermettes**, série Technologie et construction, Rapport Technique n°5, Bureau International du Travail, Genève, Suisse, 1994 (F)

Mukerji, K.; Wörner, H.; SKAT: **Product Information: Fibre Concrete / Micro Concrete Roofing Equipment** (information sur les produits: équipements pour la production d'éléments de couverture en fibro- et microbéton), tiré du travail du GATE, Eschborn, Allemagne, 1991 (A)

SKAT: **FCR/MCR Toolkit Series** (outils pédagogiques FCR/MCR), SKAT, St Gallen, Suisse 1991-1996 (A,F)

12. FIBRES NATURELLES, HERBES, FEUILLES

- 12.01 Bombard, Miriam L.: **Palms - Their Use in Building**, Development of Housing and Urban Development, Division of International Affairs, Washington, D. C. 20410, 1969 (A)
- 12.02 Hall, Nick: **Has Thatch a Future?**, Appropriate Technology Vol. 8, N° 3, IT Publications, Londres, 1981 (A)
- 12.03 Hall, Nick: **Durable Thatching with Grasses**, Appropriate Technology Vol. 9, N° 1, IT Publications, Londres, 1982 (A)
- 12.04 Inter Pares (Richard Kerr): **Jute - a substitute for fibreglass in Bangladesh**, Appropriate Technology Vol. 7, N° 4, IT Publications, Londres, 1981 (A)

- 12.05 Pillai, C. K. S., et al: **A Simple Process for Extending the Life of Coconut Leaf Thatch**, Appropriate Technology Vol. 12, N°1, IT Publications, Londres, 1985 (A)
- 13. LE BAMBOU**
- 13.01 Cornelius, Lorraine: **Bamboo and Rattan**, The IDRC Reports, Vol. 13, N° 4, International Development Research Centre, Ottawa, 1985 (A)
- 13.02 Dunkelberg, Klaus: **Bambus als Baustoff**, Koldewey-Gesellschaft, Rudolf Habelt Verlag, Born, 1978 (AI)
- 13.03 Faralley, David: **The Book of Bamboo**, Sierra Club Books, P.O. Box 3886, San Francisco CA 94 115, USA, 1984 (A)
- 13.04 Hidalgo Lopez, Oscar: **Nuevas técnicas de construcción con bambú**, Centro de Investigación de Bambú (CIBAM), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1978 (E)
- 13.05* Institute for Lightweight Structures: **IL 31 Bamboo**, Karl Kramer Verlag, Stuttgart, 1985 (AI, A)
- 13.06 Janssen, Jules J. A.: **Bamboo: its use in the construction of Roofs and Bridges**, Appropriate Technology Vol. 10, N° 2, IT Publications, Londres, 1983 (A)
- 13.07* Janssen, Jules J. A. (Compilation): **Bamboo**, CICA Publication 82.03, University of Technology, Eindhoven, 1982.1985 (A)
- 13.08 Liese, Walter: **Bamboo - Methods of Treatment and Preservation**, GATE 1/81, German Appropriate Technology Exchange, Eschborn, 1981 (A)
- 13.09 McClure, F. A.: **Bamboo as a Building Material**, Development of Housing and Urban Development, Office of International Affairs, Washington, D. C., 1953 (réimprimé en 1972) (A)
- 13.10* Siopongco, Joaquín O.; Munandar, Mundiati: **Technology manual on bamboo as building material**, RENAS-BMTCS, UNDP/UNIDO, Manila, 1987 (A)
- 13.11 Subrahmanyam, B. V.: **Bamboo reinforcement for cement matrices**, tiré de «New Reinforced Concretes», Bibl. 09.13 (A)
- 13.12 Taylor, Brian Brace: **Bamboo City - A Refugee Camp**, Mimar 20, Concept Media, Singapur, 1985 (A)
- 13.13 United Nations: **The Use of Bamboo and Reeds in Building Construction**, United Nations, New York, 1972 (A)



14. LE BOIS

- 14.01 Alcachupas, Pablito L.: **Sawmilling of Coconut Trunks into Lumber in the Philippines**, Network Monitor, Vol. 2, N° 1, UNDP/UNIDO (RENAS-BMTCS), Manila, 1985 (A)
- 14.02 Campbell, P. A.: **Some Developments in Tropical Timber Technology**, Appropriate Technology Vol. 2, N° 3, 1975 (A)
- 14.03 CBRI: **Woodwool Board**, Building Research Note N° 38, CBRI, Roorkee, 1985 (A)
- 14.04 CBRI: **Particle Board and its Use in Buildings**, BRN N° 55, CBRI, Roorkee, 1986 (A)
- 14.05 CBRI: **Making Woodwool Boards at Small Scale Level**, Project Proposal N° 33, CBRI, Roorkee, 1985 (A)
- 14.06 CTRD (Construction Technology Research and Development Program): Leaflets on **Coco Timber, Glue Laminated Wood, Manufacturing Considerations in Wood Gluing, Mechanical and Related Properties of Locally-Made Fibreboards (Lawanit), Particle Board, Wood Treatment/Preservation, Woodwool Cement Boards**, Construction Industry Authority of the Philippines, Makati, Metro Manila, (pas de date) (A)
- 14.07* Doernach, Rudolf: **Natürlich bauen** (Construire naturel - avec des poteaux en bois), Wolfgang Kruger Verlag, Frankfurt/Main, 1986 (AI)
- 14.08 Everett Alan: **Timber**, chapitre 2 de «Materials», Bibl. 00.14 (A)
- 14.09 Forest Products Laboratory: **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**, Agriculture Handbook n° 72, US Department of Agriculture, Washington, D. C., 1974 (A)
- 14.10 Herbert, M. R. M.: **Structural connections for indigenous pole timbers**, actes de la conférence internationale «Economical housing in developing countries: materials, construction techniques, components», RILEM, Paris, 1983 (A)
- 14.11 Informationsdienst Holz: **Baulicher Holzschutz** (La protection du bois pendant la construction), Entwicklungsgemeinschaft Holzbau i. d. Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Munchen, 1986 (AI)
- 14.12 Keenan, F. J.; Tejada, Marcelo: **Tropical Timber for Building Materials in the Andean Group Countries of South America**, IDRC-TS 49e, International Development Research Centre, Ottawa, 1987 (A)
- 14.13 Killmann, Wulf: **Coconut wood - the potential of an agricultural by-product**, GATE 4/83, German Appropriate Technology Exchange, Eschborn, 1983 (A)
- 14.14 NBO: **Special Issue on Timber**, Journal of the National Buildings Organization, Vol. XXX, N° 1, Nueva Delhi, 1985 (A)
- 14.15 Paskaran, N.: **Timber as a Engineering Material in Developing Countries**, Appropriate Technology Vol. 8, N° 4, IT Publications, Londres, 1982 (A)

- 15.03 Overseas Building Note N° 124 **Corrosion of Metals**, et N° 148 **The Durability of Metals in Building**, Building Research Establishment, Watford, 1968/1973 (A)
- 15.04 Piltz; Harig; Schulz: **Baumetalle**, chapitre 7 de «Technologie der Baustoffe», Bibl. 00.40 (AI)
- 15.05 Qiu Zhichang; Shao Bozhou: **Research and Application of Prestressed Concrete Reinforced with Cold-Drawn Low-Carbon Steel Wire in Zhejiang Province**, document présenté au «Workshop on Low-Cost Building Materials Technology and Construction Systems» (21.10. - 4.11.1982, Beijing-Hangzhou), China Building Information Centre, Beijing, 1983 (A)
- 15.06 Wendehorst: **Eisen - und Stahlwerkstoffe**, chapitre 10, et **Nichteisenmetalle**, chapitre 11 de «Baustoffkunde», Bibl. 00.57 (AI)

16. LE VERRE

- 16.01 Everett Alan: **Glass**, chapitre 12 de «Materials», Bibl. 00.14 (A)
- 16.02 Piltz; Harig; Schulz: **Bauglas**, chapitre 6 de «Technologie der Baustoffe», Bibl. 00.40 (AI)
- 16.03 Wendehorst: **Glas**, chapitre 14 de «Baustoffkunde», Bibl. 00.57 (AI)

17. LES PLASTIQUES

- 17.01 CBRI: **Plastics and Their Applications in Building**, Building Digest N° 134 (révisé), CBRI, Roorkee, 1979 (A)
- 17.02 Everett Alan: **Plastics and Rubbers**, chapitre 13 de «Materials», Bibl. 00.14 (A)
- 17.03 Overseas Building Note N° 134 **Plastics for Building in Developing Countries**, Building Research Establishment, Watford, 1970 (A)
- 17.04 Piltz; Harig; Schulz: **Kunststoffe**, chapitre 10 de «Technologie der Baustoffe», Bibl. 00.40 (AI)
- 17.05 Rai, Jaisingh: **Polymers and Plastics**, chapitre 4 de «Advances in Building Materials and Construction», Bibl. 00.41 (A)
- 17.06 Wendehorst: **Kunststoffe**, chapitre 13 de «Baustoffkunde», Bibl. 00.57 (AI)

18. LE SOUFRE

- 18.01 Alexander, Christopher; et al: **Houses Generated by Patterns**, Center for Environmental Structure, Berkeley, California, 1969 (a)
- 18.02 Dale, J. M.; Ludwig, A. C.: **Fire-retarding elemental sulphur**, SWRI Report, Southwest Research Institute, San Antonio/Texas, 1967 (A)

- 18.03 Fike, H. L.: **Some Potential Applications of Sulphur**, The Sulphur Institute, Washington, D.C., 1972 (A)
- 18.04 Ludwig, A. C.: **Utilization of Sulphur and Sulphur Ores as Construction Materials in Guatemala**, Nations Unies, New York, 1969 (A)
- 18.05 Malhotra, V. M.: **Sulphur concrete and sulphur-infiltrated concrete**, tiré de «New Concrete Materials», Bibl. 09.12 (A)
- 18.06 Ortega, A.; Rybczynski, W.; Ayad, S.; Ali, W.; Acheson, A.: **The Ecol Operation**, Ecology + Building + Common Sense, Minimum Cost Housing Group, School of Architecture, McGill University, Montreal, 1972 (A)
- 18.07 Ortega, Alvaro; Lefèbvre, Bernard: **The Use of Sulphur as a Building Material in Deserts**, United Nations Mission on Housing, Building and Planning to the United Arab Emirates, Dubai, 1977 (A)

ADDENDUM 1993

ACI Committee 548: **Guide for Mixing and Placing Sulphur Concrete in Construction**, American Concrete Institute, Report N° ACI 548.2R-88, 1988 (A)

19. DÉCHETS

(voir aussi matériaux pouzzolaniques)

- 19.01 CBRI: **Use of Coal Ash in Building Industry**, Building Materials Note N° 1 (révisé), CBRI, Roorkee, 1979 (A)
- 19.02 CBRI: **Utilization of By-Product Phosphogypsum for Building Materials**, BRNN° 9, CBRI, Roorkee, 1983 (A)
- 19.03 CTRD (Construction Technology Research and Development Program): **Composite Roofing and Panelling Materials from Wood Waste and Agricultural Fibrous Residues for Low-Cost Housing**, Construction Industry Authority for Low-Cost Housing, Construction Industry Authority of the Phillipines, Makati, Metro Manila, (pas de date) (A)
- 19.04* Lauricio, Feliciano M.: **Technology manual on rice husk ash cements**, RENAS-BMTCS, UNDP/UNIDO, Manila, 1987 (A)
- 19.05 Maher, A.: **Utilization of waste brick bats as coarse aggregate for structural concrete**, en «Building Materials for Low-Income Housing», Bibl. 00.13 (A)
- 19.06 NBO: **Directory of Industrial and Agricultural Wastes, Utilization in Construction Industry**, National Buildings Organization, New Delhi, 1985 (A)



- 19.07 Network Monitor: **Building Materials from Agro-Residues**, Vol. 1, N° 3, Newsletter of the Regional Network in Asia for Low-Cost Building Materials Technologies and Construction Systems (RENAS-BMTCS), UNDP/UNIDO, Manila, 1984 (A)
- 19.08 Network Monitor: **Industrial Residues**, Vol. 2, N° 2, Newsletter of RENAS-BMTCS, UNDP/UNIDO, Manila, 1985 (A)
- 19.09 Pawley, Martin: **Garbage Housing**, Architectural Design 12/73, Londres, 1973 (A)
- 19.10 Ramaswamy, S. D.; Murthy, C. K.; Nagaraj, T. S.: **Use of waste materials and industrial by-products in concrete construction**, tiré de «New Concrete Materials», Bibl. 09.12 (A)
- 19.11 RENAS-BMTCS: **Building Materials from Agro-Residues**, Low-Cost Building Materials Technologies and Construction Systems, Monograph Series N° 1/1984, UNDP/UNIDO, Manila, 1984 (A)
- 19.12 Schmidt-Brümmer, Horst: **Alternative Architektur**, DuMont Buchverlag, Köln, 1983 (AI)
- 19.13 Tay Joo Hwa: **Utilization of sludges as building material**, tiré de «Building Materials in Low-Income Housing», Bibl. 00.13 (A)
- 19.14 United Nations: **Use of Agricultural and Industry Wastes in Low-Cost Construction**, United Nations, New York, 1976 (A)
- 19.15* Vogler, Jon: **Work from Waste**, le recyclage des déchets et la création d'emplois, It Publications, Londres, et Oxfam, Oxford, 1981 (A)

20. FONDATIONS

- 20.01 Aziz, M. A.; Ramaswamy, S. D.: **Bamboo technology for low cost constructions**, tiré de «Appropriate Technology in Civil Engineering», Bibl. 00.21 (A)
- 20.02 De, P.L.: **Foundations in poor soils including expansive clays**, Overseas Building Notes, N° 179, Building Research Establishment, Watford, 1978 (A)
- 20.03 Longworth, T.I.; Driscoll, R.; Katkhuda, I.E.D.: **Guidelines for Foundations Design of Low-Rise Buildings on Expansive Clay in Northern Jordan**, Overseas Building Notes, N° 191, Building Research Establishment, Watford, 1984 (A)
- 20.04 Schreckenbach, H.; Abankwa, J. G. K.: **Foundations and Retaining Structures**, section 5.3 de «Construction Technology for a Tropical Developing Country», Bibl. 00.49 (A)
- 20.05 Volhauer, Klaus: **Foundation**, tiré de «Low Cost/Self Help Housing», Bibl. 00.56 (A)

21. PLANCHERS ET PLAFONDS

- 21.01 CBRI: **Precast R. C. plank flooring/roofing scheme**, Building Research Note N° 4, CBRI, Roorkee, 1986 (A)
- 21.02 CBRI: **Thin R. C. ribbed slab for floors and roofs**, BRN N° 5, CBRI, Roorkee, 1987 (A)
- 21.03 CBRI: **Reinforced brick and reinforced brick concrete slabs for floors and roofs**, BRN N° 42, CBRI, Roorkee, 1985 (A)
- 21.04 CBRI: **Channel unit for floor/roof**, BRN N° 52, CBRI, Roorkee, 1986 (A)
- 21.05 CBRI: **Clay flooring and terracing tiles from alluvial soils**, Building Materials Note N° 22, CBRI, Roorkee, 1978 (A)
- 21.06 CBRI: **Waffle unit floor/roof**, Building Digest N° 105, CBRI, Roorkee, 1973 (A)
- 21.07 CBRI: **Prefabricated floor/roof using structural clay units**, (Esquema de llenado y vigas), Building Digest N° 105, CBRI, Roorkee, 1973 (I)
- 21.08 Hausmann, Ulrich. **The small-scale production of reinforced concrete floor slabs**, Appropriate Technology Vol. 11, N° 1, IT Publications, Londres, 1984 (A)
- 21.09 Lukkunaprasit, P.: **Reinforced concrete-brick composite beams for low-cost construction**, tiré de «Materials of Construction for Developing Countries», Bibl. 00.38 (A)
- 21.10 Minke, Gernot: **Zeitgemabe Lehmfußboden für den Selbstbau**, tiré de «Bauen mit Lehm, N° 2 (1985)», Bibl. 02.28 (AI)
- 21.11 Schreckenbach, H.; Abankwa, J. G. K.: **Floors and Floor Finishes**, section 5.4.2 de «Construction Technology for a Tropical Developing Country», Bibl. 00.49 (A)

22. MURS

- 22.01 CBRI: **Precast stone masonry block walling scheme**, Building Research Note N° 7, CBRI, Roorkee, 1986 (A)
- 22.02 CBRI: **Non-erodable mud plaster for mud walls**, BRN N° 12, CBRI, Roorkee, 1986 (A)
- 22.03 CBRI: **Improved method of brick laying**, BRN N° 36, CBRI, Roorkee, 1985 (A)
- 22.04 Chatsiri, Thanmarom; Etherington, A. Bruce: **Verbreitung von Verbundsteinen für das Ländliche Wohnungs- und Siedlungswesen in Thailand**, Article dans DESWOS_Brief (périodique), Vol. 13, N° 3, DESWOS, Köln, 1986 (AI)



- 22.05 Minke, Gernot; Lau, Adolfo; Asturias, José: **A Low-Cost Housing System in Guatemala - Sistema de Vivienda de Bajo Costo para Guatemala**, Laboratory for Experimental Construction, Kassel University (Alemania), Facultad de Arquitectura, Universidad Francisco Marroquin (Guatemala) et CEMAT (Guatemala), 1978 (A, E)
- 22.06* North, John: **Introduction of earthquake resistant building techniques in the Koubia area, N. W. Guinea**, Development Workshop, Fumel, 1985 (A)
- 22.07 Schreckenbach, H.; Abankwa, J. G. K.: **Walls and Wall Finishes**, section 5.4.3 de «Construction Technology for a Tropical Developing Country», Bibl. 00.49 (A)
- 22.08 SERC: **Zipbloc System**, document préparé par le Structural Engineering Research Centre, Madras, (pas de date) (A)
- 22.09 Volhauer, Klaus: **Wall Construction**, tiré de «Low Cost/Self Help Housing», Bibl. 00.56 (A)

23. TOITURES

- 23.01 Ambacher, P.: **Framed Ferrocement**, tiré de «Prefabricated Ferrocement Housing», Bibl. 10.03 (A)
- 23.02 Arrigone, Jorge Luis: **Low Cost Roof Building Technology - Three Case Studies Using Locally Manufactured Building Components**, National Building Research Institute, Pretoria, 1983 (A)
- 23.03 Baris, Daniele (Ed.): **Toitures en zones tropicales arides**, Dossier Technologies et Développement, GRET, Paris, 1984 (F)
- 23.04 BOSTID (Board on Science and Technology for International Development): **Roofing in Developing Countries**, Research for New Technologies, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1974 (A)
- 23.05 CBRI: **Doubly curved tile roof**, Building Digest N° 43, CBRI, Roorkee, 1966 (A)
- 23.06 CBRI: **Improved method of making thatch roof**, Building Research Note N° 37, CBRI, Roorkee, 1985 (A)
- 23.07 CBRI: **Water-proofing of flat in situ RCC roofs**, BRN N° 54, CBRI, Roorkee, 1986 (A)
- 23.08 CBRI: **Corrugated roofing sheets from coir waste or wood wool and portland cement**, Project Proposal N° 53, CBRI, Roorkee, 1985 (A)
- 23.09 Eygelaar, J.: **Roof structures for low-cost housing - cost comparison for various roofing materials**, Housing Research and Development Unit, Nairobi, 1975 (A)
- 23.10 Habitropic: **Low cost space frame roof structures**, Birkagatan 27, S-113 39 Stockholm, Suède, 1983 (A)
- 23.11* Hall, Nicolas: **Thatch - A Handbook**, IT Publications, Londres, 1988 (A)

Gut, Paul: **FCR/MCR Toolkit Element 24, Roof Structure Guide**, SKAT, St. Gallen, 1993 (A)

ADDENDUM 1996

CRATerre-EAG: **Éléments de base pour la construction en arcs, voûtes et coupoles**, SKAT, St. Gallen, Suisse, 1994 (F, A)

Minke, Gernot: **Vaults and Domes from Earth**, une vidéo BASIN, GTZ-GATE, Eschborn, Allemagne, 1994 (A)

Minke, Gernot; Mukerji, Kiran: **Structurally Optimized Domes: A handbook of Design and Construction**, tiré du travail du GATE, Eschborn, Allemagne, 1995 (A)

Mukerji, Kiran: **Global Review of Traditional Roof Constructions and General Discussion of Roof Types and Design Guidelines, and Survey of Roofing Materials and Alternative Construction Methods Suitable for Developing Countries**, travail présenté à la conférence UNIDO sur les matériaux de couverture alternatifs et leurs technologies de mise en oeuvre, Pékin, Chine, 1988 (A) (non publié).

24. SYSTÈMES DE CONSTRUCTION

- 24.01 ARCO Grasser and Partner: **Building Instruction for an Adobe Brick House**, un projet par GATE, Eschborn, 1982 (A), (F), (AI), (E)
- 24.02 ARCO Grasser and Partner: **Building Instruction for a Panel House**, un projet par GATE, Eschborn, 1982 (A), (F), (AI), (E)
- 24.03 Cain, A.; Afshar, F.; Norton, J.: **Indigenous Building and the Third World**, Architectural Design 4/75, Londres, 1975 (A)
- 24.04 CBRI: **Prefabricated Timber Hut**, Building Digest N° 17 (révisé), CBRI, Roorkee, 1981 (A)
- 24.05 Etherington, A. B.: **The LOK-BILD Construction System - An Introduction**, tiré de «Building Materials in Low-Income Housing», Bibl. 00.13 (A)
- 24.06 Gieth, Thomas: **Construction of lacustrine housing with Caranday palms for zones that can be inundated (Prototype «B»)**, Technical Bulletin N° 5, Centro de Tecnología Apropiada, Asunción, Paraguay, 1985 (A)
- 24.07 Hidalgo López, Oscar: **Manual de Construcción con Bambú**, Construcción rural 1, Estudios Técnicos Colombianos Ltda., Apartado Aéreo 50085, 1981 (E)
- 24.08 Hillrichs, Behrend: **Bauen in Überschwemmungszonen - Entwurf eines einfachen Haustyps für die La Plata und Parana-Region Südamerikas**, 1984 (AI)

- 24.09 Holloway, Richard: **Ferrocement Housing Units in Dominica**, Appropriate Technology Vol. 5, N° 3, IT Publications, Londres, 1978 (A)
- 24.10 Janssen, Jules: **Using Bamboo as a Reinforcement**, Appropriate Technology Vol. 14, N° 2, IT Publications, Londres, 1987 (A)
- 24.11 Kalita, U. C.; Khanzanchi, A. C.; Thyagarajan, G.: **Bamboocrete Wall Panels and Roofing Elements for Low Cost Housing**, tiré de «Materials of Construction for Developing Countries», Bibl. 00.38 (A)
- 24.12 Mukerji, Kiran: **Regenwasser-Sammeltanks in Indien**, tiré de «TRIALOG 12: Angepasste Technologien», Bibl. 00.30 (A)
- 24.13 Norton, John: **Introduction of Earthquake Resistant Building Techniques in the Koumbia Area, N. W. Guinea**, Development Workshop, Fumel, France 1985 (F)
- 24.14 Norton, John: **Limitations on Improving Earthquake Resistance: The Exploitation of Local Materials**, un cas d'étude en Guinée-Conakry, tiré de «TRIALOG 12: Angepasste Technologien», Bibl. 00.30 (A)
- 24.15 de Rivero D'Angelo, M. I.: **Fibracreto - A Peruvian Non-Conventional Construction System**, tiré de «Prefabricated Ferrocement Housing», Bibl. 10.03 (A)
- 24.16 Sulaiman, M.; Mansoor, N; Khan, K.: **Experimental and Demonstration Low-Cost House Built with Rice Husk Ash and Lime as Cement**, National Building Research Institute, Karachi, (pas de date) (A)
- 24.17 Willkomm, Wolfgang; Wemhöner, Antje: **Angepasste Technologien und Zusammenarbeit - einige Beispiele**, tiré de «TRIALOG 12: Angepasste Technologien», Bibl.00.30 (A)
- 25. MESURES DE PROTECTION**
- 25.01 CBRI: **A cheap and effective fire retardant treatment for paddy/coconut leaves/ reeds/palmyrach thatch**, Building Research Note N° 13, CBRI, Roorkee, 1986 (A)
- 25.02 CBRI: **Termite control in building**, BRNN° 50, CBRI, Roorkee, 1986 (A)
- 25.03 CBRI: **Termite and rodent resistance of plastic pipes**, Building Digest N° 140, CBRI, Roorkee, 1980 (A)
- 25.04 CTRD: **Building to resist effects of wind**, Construction Industry Authority of the Phillipines, Makati, Metro Manila, (pas de date) (A)
- 25.05 Davis, Ian: **Shelter after disaster**, Oxford Polytechnic Press, Oxford, 1978 (A)
- 25.06 Eathon, Keith J.: **Making Buildings to Withstand Strong Winds**, Appropriate Technology Vol. 7, N° 3, IT Publications, Londres, 1980 (A)



- 25.07 Janssen, Jules: **How to Protect Bamboo Building from Rat Infestation**, Appropriate Technology Vol. 8, N°3, IT Publications, Londres, 1981 (A)
- 25.08 Moody, Tony: **Drying Maize for Storage in the Humid Tropics**, Appropriate Technology Vol. 7, N° 1, IT Publications, Londres, 1980 (A)
- 25.09 NBRI: **The Prevention of Fires in Thatched Roofs**, NBRI Information Sheet, National Building Research Institute, Pretoria, 1971 (A)
- 25.10 Norton, John: **Manuel de construction parasismique en Guinée**, Development Workshop, Fumel, 1986 (F)
- 25.11* Rauch, Egon: **Rodent and Termite Proofing of Buildings**, Working Paper WP01/84, SKAT, St. Gallen, 1984 (A)
- 25.12 Soe, Thorkil: **STOP Termite Attacks on Buildings**, ERLA Publishers, Svenstrup, 1982 (A)
- 25.13 Teodoru, G.; Beuter-Famili, K.: **Wood Durability and Termites**, tiré de «Building Materials for Low-Income Housing», Bibl. 00.13 (A)
- 25.14 UNDRO: **Guidelines for disaster prevention**, une série de 3 volumes, Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator, Genève, 1976 (A)
- 25.15 UNDRO: **Disaster Prevention and Mitigation**, une série de 12 volumes, UNDRO, Genève, 1976-1987 (A)
- 25.16* UNDRO: **Shelter after Disaster**, instructions pour l'assistance, UNDRO, Genève, 1982 (A)
- 25.17* Wijkman, A.; Timberlake, L.: **Natural Disasters - Acts of God or acts of Man?**, Earthscan, Londres, 1984 (A)

26. LA BIOCLIMATISATION

- 26.01 Baker, N.V.: **Passive and Low Energy Building Design for Tropical Island Climates** (conception bioclimatique à faible consommation d'énergie pour climats tropicaux insulaires), Commonwealth Secretariat Publications, Londres, 1987 (A)
- 26.02 Bansal, N.K.: **Passive Building Design - A Handbook of Natural Climatic Control** (conception bioclimatique - un manuel pour une climatisation naturelle), Elsevier Science B.V., Amsterdam, Pays-Bas, 1994 (A)
- 26.03 Building Research Establishment: **Building in Hot Climates** (construire dans les régions chaudes), une sélection des Overseas Building Notes, BRE, Garston, 1980 (A)
- 26.04 Brizard, Ch.; Renaud, H.: **Isolation thermique**, collection Métiers du Bâtiment, éditions Foucher, Paris, 1995 (F)

- 26.05 Brown, G.Z.: **Sun, Wind and Light** (soleil, vent et lumière), John Wiley & Sons, New York, 1985 (A)
- 26.06 Doswald, Fritz: **Plannen und Bauen in heissen Zonen** (concevoir et construire dans les régions chaudes), Baufachverlag, Zürich, Suisse, 1977 (AI)
- 26.07 Fullerton, R.L.: **Building Construction in Warm Climates** (Construire dans les régions chaudes), Vol 1, 2 & 3 Oxford Tropical Handbooks, Oxford University Press, Oxford, 1979 (A)
- 26.08 Golany, Gideon S., ed.: **Design for Arid Regions** (conception pour régions arides), van Nostrand Reinhold Company, New York, 1983 (A)
- 26.09 Golany, Gideon S., ed.: **Urban Planning for Arid Zones** (conception urbaine en zones arides), John Wiley & Sons, New York, 1978 (A)
- 26.10 Gut, Paul; Ackerknecht, Dieter: **Climate Responsive Building** (construire selon le climat), SKAT, St. Gallen, Suisse, 1993 (A)
- 26.11 GRET: **Bioclimatisme en zone tropicale - construire avec le climat**, Ministère de la Coopération, Paris, 1986 (F)
- 26.12 Hillmann, G.; Nagel, J.; Schrek, H.: **Klimagerechte und Energiesparende Architektur** (climat adapté et architecture à faible consommation d'énergie), Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1983 (AI)
- 26.13 Konya, Allan: **Design Primer for Hot Climates** (éléments de base pour la conception en régions chaudes), The Architectural Press, Londres, 1980 (A)
- 26.14 Lavigne, Pierre; Brejon, Paul: **Architecture climatique-une contribution au développement durable**, EDISUD, Aix-en-Provence, 1994 (F)
- 26.15 Lechner, Norbert: **Heating, Cooling, Lighting** (chauffage, refroidissement, éclairage), John Wiley & Sons, New York, 1991 (A)
- 26.16 Lippsmeier, Georg: **Tropenbau - Building in the Tropics** (construire sous les tropiques), Callwey Verlag, München, 1980 (AI, A)
- 26.17 Mazria, Edward: **The Passive Solar Energy Book** (le livre de l'énergie solaire passive), Rodale Press, Emmaus Penn., 1978 (A)
- 26.18 Niles, Philip; Haggard, Kenneth: **Passive Solar Handbook** (manuel du solaire passif), California Energy Commission, Sacramento, 1980 (A)
- 26.19 Olgyay, Victor: **Design with Climate** (concevoir avec le climat), Princeton University Press, Princeton, 1963 (A)
- 26.20 Saini, B.S.: **Building Environment** (la construction et l'environnement), une analyse illustrée de la problématique en pays chaud, Angus and Robertson Pty. Ltd., Sydney, 1973 (A)



- 26.21 Saini, B.S.: **Building in Hot Dry Climates** (construire en climat chaud et sec), John Wiley & Co., Brisbane, 1982 (A)
- 26.22 Stulz, Roland: **Elements of Solar Architecture** (éléments d'architecture solaire), publication du SKAT, St. Gallen, Suisse, 1980 (A)

ADDENDUM 1996

Frenot, M.; Sawaya, N.: **L'isolation thermique, le répertoire des solutions pratiques pour l'habitat existant**, EDISUD, 1979 (F)

Watson, D.: **Le livre des maisons solaires**, éd. L'étincelle, Montréal, Paris, 1979 (F)

Chouard, P.; Michel, H.; Simon, M.F.: **Bilan thermique d'une maison solaire - méthode de calcul rapide**, éd. Eyrolles, Paris, 1977

Roux, D.; Mandineau, D.; Chateauiminois, M.: **Calcul des planchers solaires directs**, coll. de l'école supérieure d'ingénieurs de Marseille, EDISUD, 1983 (F)

INDEX DES ABRÉVIATIONS ET DES NOMS

A

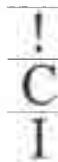
ac	asbeste ciment
AIT	Asian Institute of Technology, Bangkok (Thaïlande)
Al	aluminium
ALTECH	Embrun (France)
Ambacher	France
Appro-Techno	Couvin (Belgique)
ARCO	Munich (Allemagne)
ASTRA	Centre for Application of Science and Technology, Bangalore (Inde)
ATC	Aachen Technical College, Aachen (Allemagne)
ATLAS COPCO	

B

BA	béton armé
BASIN	Building Advisory Service and Information Network
BLOKORAMA	
BRCEEU	boues résiduelles de centrales d'épuration des eaux usées
BRE	Buildind Research Establishment, Garston, Royaume Uni
BREPAK	

C

CaCO_3	carbonate de calcium
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	dolomie
CaO	oxyde de calcium (chaux vive)
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	hydroxyde de calcium (chaux éteinte)
CaSO_4	sulfate de calcium (gypse anhydre)
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	dihydrate de sulfate de calcium (gypse)
$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	hémihydrate de sulfate de calcium (plâtre)
CAT	Centre for Appropriate Technology, Asunción, Paraguay
CBR	cendres de balle de riz
CBRI	Central Building Research Institute, Roorkee, Inde



ccp	cendres de combustible pulvérisé
Cd	cadmium
CEMAT	Guatemala
CERAMAN	
CERAMATIC	
CERATEC	Ploegsteert (Belgique)
CETA	Centro de Experimentación en Tecnología Apropriada (Guatemala)
CFI	Commonwealth Forestry Institute, Royaume Uni
CH ₄	méthane
C ₃ H ₈	propoane
C ₄ H ₁₀	butane
CIBAM	Centro de Investigación de Bambú y Madera, Bogotá, (Colombie)
CINVA	Centro Interamericano de Vivienda, Bogotá, (Colombie)
CL	courte longueur d'onde
CLU	
CMS	Bristol (R.U.)
cphf	ciment portland de haut fourneau
CO ₂	dioxyde de carbone
CPO	ciment portland ordinaire
Cr	chrome
CRATerre-EAG	Centre International de la Construction en Terre - Ecole d'Architecture de Grenoble
CRDI	Ceramic Research and Development Institute, Bandung (Indonésie)
CRI	Ciment Research Institute, Inde
CTA	Centro de Tecnología Apropriada, Asunción (Paraguay)
Cu	cuivre
CU	Chulalongkorn University, Bangkok
CU	Catholic University, Asunción, Paraguay
CWPC	béton précontrain à fils d'acier à faible teneur en carbone et étiré à froid

D

DDT	dichloro-diphéno-trichloroéthane
DESWOS	Deutsche Entwicklungshilfe für soziales Wohnungs- und Siedlungswesen e. V., Köln (Allemagne)
DUT	Delft University of Technology, Delft (Pays-Bas)
DW	Development Workshop, Toronto, Canada, Lauzerte, France
DYNATERRE	

E

ELLSON	
ESPACE 2001	(Grand Duché de Luxembourg)
EUT	Eindhoven University of Technology, Eindhoven (Pays-Bas)

F

FCR	Fibroconcret roofing
FIBRACRETO	(Pérou)
FM	fibromortier
FPRC	Forest Products Research Centre, Boroko (Nouvelle Guinée)
FPRDI	Forest Products Research and Development Institute, Laguna (Philippines)

G

GATE	German Appropriate Technology Exchange, Eschborn, Allemagne
GL	grande longueur d'onde

H

Ha	humidité absolue
Habitropic	Stockholm (Suède)
HBRI	Housing Buiding Research Institut, Dhaka (Bangladesh)
Hr	humidité relative
H ₂ O	eau



I

IFIC	International Ferrociment Information Centre, Bangkok (Thaïlande)
IIS	Indian Institute of Science, Bangalore (Inde)
ILS	Institute of Lightweight Structures, Stuttgart (Allemagne)
IMPACT	
INTREX	Radevormwald (Allemagne)
Ip	indice de plasticité
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo (Brésil)
IR	infra rouge
IRCL	infra rouge de courte longueur d'onde
IRGL	infra rouge de grande longueur d'onde
IT	Intermediate Technology
ITDG	Intermediate Technology Development Group, Rugby / Londres (R.U.)
ITB	Institute for Tropical Building, Starnberg (Allemagne)
ITP	Intermediate Technology Publications
ITW	Intermediate Technology Workshop, Royaume Uni
ITW/Parry	Intermediate Technology Workshop / Parry, (Royaume Uni)

K

KTC	Kassel College of Technology, Kassel, Allemagne
KVIC	Khadi Village Industries Commission, Bombay (Inde)

L

lbhf	laitier broyé de haut fourneau
LCHS	Lund Centre for Habitat Studies (ex SADEL), Lund, Suède
LI	limite de liquidité
LOK BILD	Montreal (Canada)
Lp	limite de plasticité

M

MB	microbéton
METALIBEC	Bogotá (Colombie)
MULTIBLOC	
MULTIVIBE	

N

NBO	National Building Organisation, New Delhi (Inde)
NBRI	National Building Research Institute, Pretoria (Afrique du Sud)
NBRI	National Building Research Institute, Karachi (Pakistan)
Ni	nickel
NTI	Nanyang Technological Institute, Singapore

P

PACT	
Pb	plomb
PCP	pentachlorophénol
PCSIR	Pakistan Council of Scientific and Industrial Research, (Pakistan)
ph	
PREVI	Proyecto Experimental de Vivienda, (Pérou)
PTC	
PTI	
PVC	chlorure de polyvinyle

R

RAFFIN BERGER	Tremblay en France (France)
RAS	Service-Conseil sur les Toitures
Rc	résistance à la compression
RCNC	résine de coquille de noix de cajou
RRL	Regional Research Laboratory, Jorhat, Inde
RU	Royaume Uni



S

SADEL	voir LCHS
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje, Bogotá (Colombie)
SERC	Structural Engineering Research Centre, Roorkee, Inde
SHAM	Housing Society for the Amazon State, São Paulo (Brésil)
SKAT	Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management, St. Gallen (Suisse)
Sn	étain
Stramit	

T

TA	technologie appropriée
TARA	Technology and Action for Rural Advancement, New-Delhi (Inde)
TERSTARAM	
TFM	tuiles en fibromortier
TMB	tuiles en microbéton
tog	tôle ondulée galvanisée
TVM	tuiles en vibromortier

U

UH	University of Hanover, Hanovre (Allemagne)
UN	University of Nairobi, Nairobi (Kenya)
UNATA	Union for Adapted Technological Assistance, Aarschot (Belgique)
UNC	Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombie)
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization, Vienne (Autriche)

Z

ZCT	zone de confort hygrothermique
Zn	zinc

Ce manuel qui est la traduction de "Appropriate Building Materials", passe en revue les développements et publications les plus récents dans le domaine des matériaux de construction appropriés.

Rédigé pour les architectes, ingénieurs, institutions d'enseignement, producteurs et fournisseurs de matériaux de construction, mais aussi pour les constructeurs impliqués dans le secteur de l'habitat économique, cet ouvrage vise plusieurs objectifs. Il résume des données techniques et des informations pratiques d'un grand nombre de publications. Il fait un inventaire des matériaux et méthodes traditionnels ainsi que de nouvelles méthodes prometteuses pour le futur. Il fournit une information théorique de base, associée à de nombreuses illustrations pratiques de l'utilisation de matériaux de construction. Il contribue à l'échange d'informations et d'expériences dans le monde entier, entre tous ceux qui sont impliqués dans la recherche, le développement et l'application de la construction de bâtiments dans les pays en développement.



ISBN 3-908001-54-4